



Ríos en Riesgo de Venezuela 2

Douglas Rodríguez Olarte
Editor



Los ríos tienen una relación vital con los árboles, ellos son fundamento para las aguas y la vida. Felices los Pueblos con aguas y árboles para disfrutar y conservar (fotografía de D. Rodríguez-Olarte).

Ríos en Riesgo de Venezuela 2

Edición a cargo de

Douglas Rodríguez Olarte

Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado
Barquisimeto. Venezuela

2018

Información



Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. UCLA

RIF G200000775 / www.ucla.edu.ve

Rectora (E)

Nelly Velásquez

Vicerrectora Académica

Nelly VELÁSQUEZ

Vicerrector Administrativo

Edgar ALVARADO

Secretario General

Edgar RODRÍGUEZ

Decano de Agronomía

Nerio NARANJO

Museo de Ciencias Naturales UCLA

Colección Regional de Peces

Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela

Serie

Ríos en Riesgo de Venezuela (Volumen 2)

Editor

Douglas RODRÍGUEZ OLARTE

Revisión de textos y estilo

Douglas RODRÍGUEZ OLARTE, Crispulo J. MARRERO y Donald C. TAPHORN

Diseño y diagramación

Douglas RODRÍGUEZ OLARTE

Sugerencias de cita. Obra completa: Rodríguez-OlarTE, D. (Editor). 2018. *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.

Capítulo: Monente, J. 2018. Las plumas fluviales al Mar Caribe de Venezuela. Capítulo 7 (pp: 141-157). En: Rodríguez-OlarTE, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2.* Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.

Primera edición digital: 15 Mayo 2018

© los autores, 2018

196 p. Incluye bibliografías, figuras y tablas

Depósito Legal. Biblioteca Nacional de Venezuela: LA2016000137

ISBN Obra completa: 978-980-12-9274-6

ISBN Volumen 1 2017 digital: 978-980-12-9350-7

ISBN Volumen 2 2018 digital: 978-980-18-0103-0

ISBN: 978-980-12-9274-6



9 789801 292746

1. Ecosistemas fluviales. 2. Geografía y clima. 3. Calidad de aguas. 4. Insectos acuáticos. 5. Ictiofauna. 6. Vegetación. 7. Perturbaciones. 8. Conservación. 9. Venezuela.

Esta publicación y su contenido no representan necesariamente la expresión de opinión o juicio por parte de las instituciones de adscripción de los autores, incluyendo denominaciones, opiniones, inclusión de nombres, registros, datos o información complementaria proporcionada por los autores. Así, todos los aportes y opiniones expresadas son de la entera responsabilidad de los autores correspondientes.

Contenidos

Autorías y equipo de evaluación / 4

Agradecimientos / 8

Introducción / 9

Sección I

Coberturas regionales y casos especiales

- 1 El relieve terrestre y la historia paleoclimática en la hidrografía fluvial de Venezuela / 13-29

Luis E. RENGEL-AVILÉS

- 2 Ríos en riesgo en la costa oriental del Lago de Maracaibo / 31-46

Margenny BARRIOS GÓMEZ, Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE
y Pedro RODRÍGUEZ BUENO

- 3 Condición ecológica de los ecosistemas fluviales en la cuenca del Río Capaz, Sierra de la Culata, Andes de Venezuela / 47-69

José Elí RINCÓN, Leyda MEJÍA y Heberto PRIETO

- 4 Ríos en riesgo al Mar Caribe y al Golfo de Venezuela / 71-102

Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE, Crispulo J. MARRERO y Donald C. TAPHORN

- 5 Estatus de los tributarios de la depresión del Lago de Valencia. Un caso de estudio en el río Los Guayos / 103-120

Belkys PÉREZ GARCÍA, Vincenzo STORACI KOSCHELOW, Liliana NIETO CAICEDO
y Rafael FERNÁNDEZ DA SILVA

- 6 Ríos en riesgo en el oriente de Venezuela: caracterización y conservación del río Manzanares / 121-138

Sinatra K. SALAZAR, Carmen Y. ALFONSI, Bladimir GÓMEZ,
Jesús A. BELLO, William SENIOR y Luis TROCCOLI

Sección II

Valor de patrimonio y eventos transversales

- 7 Las plumas fluviales al Mar Caribe de Venezuela / 141-157

José Antonio MONENTE

- 8 La pluma del río Orinoco en el Océano Atlántico y el Mar Caribe / 159-170

José Antonio MONENTE

- 9 Las sequías meteorológicas y su influencia sobre el régimen hídrico de los ríos en Venezuela / 171-184

Franklin PAREDES-TREJO, Humberto BARBOSA-ALVES,
María Alejandra MORENO-PIZANI y Asdrúbal FARÍAS-RAMÍREZ

- 10 Coberturas de bosques y desembocaduras fluviales: relaciones espacio-temporales en Venezuela / 185-195

Pedro RODRÍGUEZ BUENO y Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE

Autorías

- Carmen Y. ALFONSI** Dr. Zoología (Universidad Central de Venezuela). Interés: biodiversidad, genética, evolución, conservación e integridad ecológica. Laboratorio de Genética. Departamento de Biología Marina. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Cumaná, Sucre, Venezuela. calfonsir@hotmail.com
- Humberto BARBOSA-ALVES** Dr. en Ciencias, Mención Ciencias del Suelo y Percepción Remota (Universidad de Arizona). Interés: percepción remota y meteorología. Laboratório de Processamento de Imagens de Satélites. Instituto de Ciências Atmosféricas. Universidade Federal de Alagoas. Macció, Alagoas. Brasil. barbosa33@gmail.com.
- Margenny BARRIOS GÓMEZ** Ing. Agronómica (Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado). Interés: ecología de ecosistemas acuáticos, taxonomía y ecología de insectos acuáticos. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Postgrado de Ecología. Instituto de Investigaciones Científicas de Venezuela (IVIC). Caracas. Venezuela. margennybarrios@ucla.edu.ve
- Jesús A. BELLO** Lic. en Biología, Mención Botánica (Universidad de Oriente). Interés: Botánica y ecología vegetal. Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayacán. Vicerrectorado Académico. Universidad de Oriente. Cumaná, Sucre. Venezuela. E. mail. jesusantoniobello@gmail.com
- Asdrúbal FARÍAS-RAMÍREZ** MSc. en Ingeniería Agrícola (Universidad Central de Venezuela). Interés: hidrología, riego y drenaje, aprovechamiento de los recursos hídricos, modelaje de cultivos, evaluación de sistemas de riego. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Aragua. Venezuela. ajfara@gmail.com.
- Rafael FERNÁNDEZ DA SILVA** Dr. en Ciencias, Mención Botánica (Universidad Central de Venezuela). Interés: biodiversidad de hifomicetos acuáticos, calidad microbiológica de las aguas corrientes, biotecnología de plantas. Centro de Biotecnología Aplicada. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela. rafaelfer2103@hotmail.com
- Bladimir GÓMEZ** MSc. en Ciencias Marinas, Mención Biología Marina (Universidad de Oriente). Interés: biología y ecología de poblaciones, conservación de especies amenazadas e introducción de especies exóticas. Museo del Mar de. Laboratorio de Genética del Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente (UDO) Cumaná, Sucre, Venezuela. bladimirgomez@gmail.com
- Crispulo J. MARRERO** Dr. en Zoología (Universidad Central de Venezuela). Interés: ecología de ecosistemas acuáticos y sus biotas, bioindicadores. Laboratorio de Ecología de Insectos. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora (UNELLEZ). Guanare, Venezuela. krispulom@gmail.com
- Leyda MEJÍA** MSc. en Microbiología (Universidad del Zulia). Interés: microbiología y toxicología acuática. Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Maracaibo, Zulia. Venezuela. leydamejia06@gmail.com.
- José Antonio MONENTE** MSc. en Ciencias (Universidad de Puerto Rico). Interés: Mar Caribe venezolano, influencia del río Orinoco en el Caribe. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Museo de Historia Natural La Salle. Caracas. jose.monente@fundacionlasalle.org.ve
- María Alejandra MORENO-PIZANI** Dr. en Ingeniería, Mención Ingeniería de Sistemas Agrícolas (Universidad de São Paulo). Interés: manejo de los recursos hídricos, evaluación de sistemas de riego, eficiencia del uso del agua en la agricultura. Departamento de Ingeniería Agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Aragua. Venezuela. morenom76@gmail.com.

- Liliana NIETO CAICEDO** Lic. en Química (Universidad de Carabobo). Interés: ecología de comunidades de macroinvertebrados bentónicos, calidad fisicoquímica de las aguas corrientes. Centro de Estudios en Zoología Aplicada. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela. linieto78@gmail.com
- Franklin PAREDES-TREJO** Dr. en Ingeniería, Mención Ambiente (Universidad de Carabobo, Venezuela). Interés: valoración de sequías en macroescalas con sensores remotos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Los Llanos Occidentales 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, Cojedes, Venezuela. franklinparedes75@gmail.com
- Belkys PÉREZ GARCÍA** Dr. en Ciencias, Mención Entomología (Universidad Central de Venezuela). Interés: ecología de comunidades de macroinvertebrados bentónicos, taxonomía de Ephemeroptera, calidad biológica de las aguas corrientes. Centro de Estudios en Zoología Aplicada. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela. belperezster@gmail.com
- Heberto PRIETO** MSc. en Ciencias Biológicas, mención Ecología Acuática (Universidad del Zulia). Interés: ecología del paisaje, conservación y manejo de ecosistemas acuáticos. Programa de Formación de Grado en Gestión Ambiental, Universidad Bolivariana de Venezuela. hprieto@gmail.com
- Luis RENGÉL AVILÉS** MSc. en Geografía (Ball State University). Interés: análisis de nomenclatura y cartografía fisiográfica, índices geotécnicos en sedimentos. Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. luisrengelaviles@gmail.com
- José Elí RINCÓN RAMÍREZ** Dr. en Ciencias, Mención Ecología (Universidad Central de Venezuela). Interés: ecología, procesamiento de materia orgánica fluvial, conservación e integridad ecológica, macroinvertebrados bentónicos. Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias. Universidad del Zulia. Maracaibo, Zulia. Venezuela. jerincon04@gmail.com
- Pedro RODRÍGUEZ BUENO** Ing. Agronómica (Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado). Interés: usos de la tierra e impactos en las cuencas hidrográficas, impacto ambiental y recursos hidrobiológicos. Postgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Yacambú, Barquisimeto. Lara, Venezuela. pedroarodriguezb@hotmail.com
- Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE** Dr. en Biología de la Conservación (Universidad Complutense de Madrid). Interés: biogeografía, integridad y conservación de la ictiofauna y los recursos hidrobiológicos continentales. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela. douglasrodriguez@ucla.edu.ve
- Sinatra K. SALAZAR** Dr. en Ciencias Marinas (Universidad de Oriente). Intereses: biología evolutiva, genética de poblaciones, biodiversidad, especies invasoras. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Departamento de Biología Marina. Laboratorio de Genética. Universidad de Oriente (UDO). Cumaná, Sucre. Venezuela. ssalazar@udo.edu.ve
- William SENIOR** Dr. en Química Marina (Universidad de Bretaña Occidental). Interés: contaminación de ecosistemas costeros, estudios ambientales. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Departamento de Oceanografía. Núcleo Sucre. Universidad de Oriente (UDO). Venezuela. senior.william@gmail.com
- Vincenzo STORACI KOSCHELOW** MSc. en Ingeniería Ambiental (Universidad de Carabobo). Interés: ecología y biodiversidad de hifomicetos acuáticos, calidad microbiológica de las aguas corrientes. Centro de Biotecnología Aplicada. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Carabobo. Venezuela. vincenzostoraci@gmail.com

**Donald
C. TAPHORN**

Ph.D en Zoología (Universidad de Florida). Intereses: taxonomía y ecología de peces continentales, conservación de recursos hidrobiológicos. Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad Nacional Experimental de Los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Portuguesa, Venezuela. taphorn@gmail.com

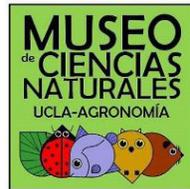
**Luis
TROCCOLI**

Dr. en Ciencias, Mención Ciencias Marinas (Cinvestav-IPN). Intereses: ecología marina y del plancton. Instituto de Investigaciones Científicas Universidad de Oriente (UDO) Venezuela y Facultad de Ciencias del Mar, Universidad Estatal Península de Santa Elena. Ecuador. luis.troccoli@gmail.com

Instituciones



Universidad Centroccidental
Lisandro Alvarado



Museo de Ciencias Naturales
UCLA



Universidad Nacional Experimental
de los Llanos Ezequiel Zamora



Universidad del Zulia



Universidad de Carabobo



Universidad de Oriente



Fundación La Salle
de Ciencias Naturales



“Aprender Haciendo”
Universidad Yacambú



Instituto Venezolano de
Investigaciones Científicas



Universidad Bolivariana
de Venezuela



Universidad Central de Venezuela



Instituto Oceanográfico
de Venezuela



Centro de Investigaciones
Ecológicas Guayacán



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

Universidade Federal
de Alagoas. Brasil



Universidad Estatal Península
de Santa Elena. Ecuador



Red Iberoamericana para la
aplicación de protocolos de evaluación
del estado ecológico, manejo y
restauración de ríos

Equipo de evaluación y asesoría

En la serie Ríos en Riesgo de Venezuela las diferencias entre las ciencias y disciplinas abarcadas en cada capítulo han sugerido y convenido el empleo de un lenguaje técnico, que es propio de una especialidad académica pero que se expresa en un vocabulario concreto y cercano a la experiencia del lector promedio de una obra de consulta; esto a diferencia del lenguaje científico, que es más específico y abstracto. Los capítulos han sido evaluados mediante un arbitraje por comunes, el cual fue desarrollado por un equipo de evaluación que ha colaborado en gran medida para mejorar y refinar los contenidos. Además, se recibió el apoyo para las revisiones de estilo. El editor, los colaboradores y los autores de este volumen agradecen sobremanera la disposición para la cooperación y el extenso trabajo desarrollado por parte del equipo de evaluación y asesoría.

Abrahan Mora. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. México

Alfred Zinck. University of Twente Enschede. Países Bajos

Alcides Mondragón Izquierdo. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Aristide Márquez. Universidad de Oriente. Venezuela

Belkys Pérez. Universidad de Carabobo. Venezuela

Blanca Ríos Touma. Universidad de Las Américas, Ecuador

Carlos Méndez. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

Críspulo J. Marrero. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Venezuela

Donald C. Taphorn. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Venezuela

Franco Teixeira de Mello. Universidad de la República. Uruguay

Franklin Paredes Trejo. Universidad Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Venezuela

Giuseppe Colonnello. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela

Jairo Mojica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

José Iván Mojica. Universidad Nacional de Colombia. Colombia

José Antonio Monente. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Venezuela

José Vicente Montoya. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas. Venezuela

José Elí Rincón. Universidad del Zulia. Venezuela

Lué Merú Marcó. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Margenny Barrios Gómez. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Pedro Jiménez Prado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas. Ecuador

Roberto Hidalgo. Ministerio del Poder Popular para Educación Universitaria, Ciencia y Tecnología. Venezuela

Sergio Foghin-Pillín. Universidad Politécnica Experimental Libertador. Venezuela

Teresa Elena Vegas. Universidad de Barcelona. España

Tula Inés Denis. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela

Agradecimientos

La serie editorial RÍOS EN RIESGO DE VENEZUELA es dedicada a quienes divulgan sobre el reconocimiento, valoración, conservación y resguardo de los recursos naturales patrimoniales. Agradecemos a los autores, por su disposición a generar y reunir un cuerpo de datos e información actualizada que ahora se presenta en el segundo volumen de los Ríos en Riesgo de Venezuela.

La COLECCIÓN RECURSOS HIDROBIOLÓGICOS DE VENEZUELA y su serie editorial RÍOS EN RIESGO DE VENEZUELA son iniciativas y proyectos de divulgación de la Colección Regional de Peces del Museo de Ciencias Naturales de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA) con base en la línea de investigación sobre la biogeografía, integridad y conservación de la ictiofauna continental. Las bases históricas de estas iniciativas provienen en gran medida de los proyectos subvencionados por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico (CDCHT-UCLA) y el Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FONACIT). Agradecemos la representación institucional por parte del Departamento de Ciencias Biológicas del Decanato de Agronomía en la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado.

Los tiempos convulsos e impredecibles en los que transcurre el desarrollo de este proyecto común han transfigurado sus alcances iniciales. Hoy tenemos un compromiso vital, una misión personal y dilatada que apuesta en sobrellevar los desconuelos. Por eso, la verdad, el bien común y la academia han signado y encauzado esa apuesta, pero también el bastión de los amigos y la familia, donde la ventura de Sebastián Tomás se entevera conmigo para conocer y dibujar montañas, ríos y peces; para trazar destinos por la naturaleza y caminos para la humanidad en un país que es suyo -y nuestro- para siempre.

Los ríos son el patrimonio vital

*...pero sé lo que dicen
todos los ríos.*

Tienen el mismo idioma que yo tengo.

En las tierras salvajes

el Orinoco me habla

y entiendo, entiendo

historias que no puedo repetir.

El Río. Pablo Neruda

1. LOS RÍOS Y EL ORO

Sobre las ya certificadas y portentosas reservas de petróleo que tiene Venezuela se añaden las del oro y los diamantes con un valor inusitado, pero sospechado tiempo atrás. La minería de oro y diamantes tiene una larga y terrible historia sobre los recursos hidrobiológicos del país. Los ríos que drenan el sur, unos al río Orinoco (ej. Caroní y Caura) y otros al río Esequibo, están siendo progresivamente transformados por la minería legal e ilegal, donde se elimina totalmente la cobertura natural de bosques y se generan enormes volúmenes de sedimentos que van a parar a los cauces. La paradoja del multimillonario negocio de la minería es que a su vera se crean asentamientos humanos precarios y que son más conocidos por la injusticia, la pobreza y el contrabando que por los avances tecnológicos en la extracción, el control de fiebres palúdicas o la retribución de los servicios ecosistémicos.

Cualquier visualizador geográfico disponible en internet puede dar cuenta de los más recónditos lugares del país, sus relieves y sus ríos, pero también de los impactos humanos; todo esto desde la aséptica comodidad de una computadora. Pruebe, podrá observar y estimar el insolente efecto de la minería de oro y diamantes en el Escudo de Guayana, donde nacen los mayores ríos de Venezuela. Por ejemplo, al examinar el lugar dado por las coordenadas 4°50'48" N y 62°23'52" O, destacarán manchas claras en la enorme cubierta boscosa a los pies del Macizo de Chimantá: son campos mineros instalados en las márgenes del río Caroní y que han devastado todo en su predio. La ribera derecha del río está dentro del Parque Nacional Canaima. En 2012 esta área de destrucción tenía un poco más de 800.000 m². Hay

muchos otros cordones mineros como este, a menudo con mayor extensión. Al inspeccionar la región se notará también que los típicos ríos de “aguas negras” (naturalmente muy oscuras y con una carga muy baja de sedimentos) a menudo se convierten o confluyen con conspicuos ríos de “aguas blancas”, son los ríos del Antropoceno asociados con la minería. En estos nuevos ríos lodosos la pérdida del hábitat por la sedimentación es seguida por la desaparición generalizada de la biota acuática; ahí persiste sólo una fracción de la extraordinaria riqueza de especies regionales, en su mayoría endémicas. Lo anterior es el escenario habitual en los afluentes de los grandes ríos al sur, como el Caura, el Ventuari o el Caroní, este último encierra un caso paradójico: en su cuenca, protegida parcialmente por el Parque Nacional Canaima, nacen los ríos que sustentan un sistema de represas que genera cerca del 70% de la electricidad que consume Venezuela. La minera dentro y fuera del área protegida elimina los suelos y luego los sedimentos son transportados por los ríos; de esta manera se colmatan los embalses y erosionan las turbinas. Además, esos ríos llevan una carga de mercurio que se bioacumula en los peces y enferma, sin distinción política ni económica, a los pueblos originarios y criollos.

No se conoce el número y extensión de esos cordones mineros, pero una inspección rápida sobre las coberturas de bosques y el color de las aguas fluviales aporta una idea sobre la extensión de esta tragedia ambiental. Ahora, las minerías artesanales de oro se extienden solapadas al norte del Orinoco y ya se advierten en las planicies de los ríos Buría y Chirgua, entre otros. De usual, estas minerías, incluyendo las de gravas, no cuentan con el aval de estudios adecuados de impacto ambiental, requeridos según la Constitución Nacional. Acaso tampoco se dispone de una ordenación territorial que aplique controles apropiados y programas de biomonitorio y restauración para los hábitats fluviales y ribereños.

2. LOS RÍOS Y LAS AGUAS

Imagine que frente a usted pasan “cada segundo” unos 1.000 camiones cisternas y que cada uno contiene unos 35 metros cúbicos de agua dulce. Ese

portento es -más o menos- el promedio de agua dulce que genera Venezuela: 35.000.000 litros por segundo. Casi todo ese caudal corresponde al río Orinoco, mientras que unos 1.300 m³/s son aportados por el Lago de Maracaibo. A menor escala las cifras son de interés: la ciudad de Caracas, con cerca de 5.000.000 de habitantes, es cruzada y drenada por el río Guaire. Este río tiene sus aguas condenadas por la contaminación y estas luego condenan todo a su paso, pues el Guaire afluye al río Tuy y este último desemboca al Mar Caribe unos 70 m³/s de agua dulce, degradada y nociva.

Es difícil imaginar un río urbano que se escape a esta crisis ambiental. Mientras tanto, municipios enteros, urbanizaciones y barrios en las ciudades tienen un servicio eventual de agua, a menudo en deshoras o por medio de cisternas y con una potabilidad cuestionada. Este es un mal arraigado en varios países a lo largo de América. Así, mientras unas sociedades trazan los rumbos de su desarrollo administrando sus aguas patrimoniales con criterio de escasez, salubridad y justicia, otras desestiman la conservación de sus recursos hidrobiológicos, los sobreexplotan, los contaminan y los extenuan para luego medrar según avatares climáticos o deidades ancestrales.

3. LOS RÍOS Y LOS PECES

En Venezuela muchas de especies de peces continentales son comercializadas y más de cien tienen interés como alimento. En la dieta nacional se han ganado un espacio los grandes bagres, las cachamas, los bocachicos y hasta las guabinas y corronchos. En este siglo la flota artesanal continental se ha incrementado en gran medida, al igual que el volumen de peces capturados. Sin embargo, la demanda y verdadero consumo nacional no parece tener un crecimiento tal que justifique la intensidad actual de explotación. Se esgrimen consideraciones variadas: acaso no todos los registros pesqueros se adecúan al análisis, puede que la distribución del pescado es limitada e irregular o quizá las cosechas de las aguas cruzan fronteras hacia mercados más rentables.

Por otro lado, las tallas mínimas de captura son transgredidas en todas las instancias, desde los pescadores hasta los consumidores; esto es, se venden los peces juveniles que no han podido reproducirse por lo menos una vez. A esto se suman los preceptos religiosos y las propagandas gubernamentales que, desdeñando los tiempos de veda, promueven el consumo masivo de pescado (fresco o salado) en el momento más delicado del ciclo vital: al final del

periodo de sequía y cuando la madurez gonadal es máxima, previa a la reproducción. Acaso el conjunto de todo lo anterior explica por qué varias especies tienen poblaciones escasas y otras (antes desdeñadas por la menor calidad de su carne) han emergido circunstancialmente en la oferta pesquera. Mientras tanto, la promoción de buenas alternativas piscícolas aún es limitada por la carencia de recursos para la investigación o la consolidación de sistemas de producción, por ejemplo, pero también por el manejo inadecuado de organismos, propiciando su introducción en los ambientes naturales y generando efectos negativos sobre las biotas locales.

4. LOS RÍOS EN RIESGO, NUEVAMENTE

En este segundo volumen de los Ríos en Riesgo se presentan diez capítulos, donde concurren autores de diferentes instituciones académicas, agencias gubernamentales y grupos organizados. En la Sección I (Coberturas regionales y casos especiales) el Capítulo 1 describe los ríos de Venezuela y las relaciones de sus cuencas y cauces como consecuencia del relieve terrestre y los paleoclimas. En el Capítulo 2 se caracterizan los ríos en la costa oriental del Lago de Maracaibo, una región en donde más de un siglo de minería petrolera y expansión agrícola han legado impactos sobre los ríos. Una pormenorizada descripción de la condición ecológica del río Capaz, en los Andes de Venezuela, es presentada en el Capítulo 3, donde los gradientes ambientales y antrópicos son manifiestos. En los siguientes capítulos se incluyen los ríos al norte del país, desde la caracterización de cuencas y la valoración del estado de conservación de ríos que drenan al Golfo de Venezuela y Mar Caribe occidental (Capítulo 4), pasando por una evaluación del estado de los ríos que corren al depauperado Lago de Valencia (Capítulo 5), hasta la descripción minuciosa del río Manzanares al oriente del país (Capítulo 6). En la Sección II (Valor de patrimonio y eventos transversales), cuatro aportes dan cuenta de fenómenos comunes a la mayoría de los ríos. En los Capítulos 7 y 8 se caracterizan las diferentes plumas fluviales al Mar Caribe, así como la del enorme río Orinoco; en el Capítulo 9 se describe plenamente la influencia de las sequías sobre el régimen hídrico de los mayores ríos del país, mientras que en el Capítulo 10 se valoran los cambios en las coberturas y usos de la tierra y su relación con la morfología de las desembocaduras fluviales en el Lago de Maracaibo y el Mar Caribe.

Continúan en riesgo los ríos de Venezuela.

Douglas Rodríguez Olarte



Sección I Coberturas regionales y casos especiales

Nuestra relación con los ríos es de compañía y sobrevivencia. Aquí el río Yaracuy antes de su tragedia...

HOYA DEL GOLFO DE MARACAIBO.

El lago de Maracaibo tiene 214 leguas de circunferencia, calculando solamente sus ensenadas principales; y 120 si estas se excluyen; ocupa una superficie de 700 l. c. En el gran valle cuyo centro ocupa se recogen las aguas que caen de las serranías de Ocaña y Perijá por la parte occidental; de Mérida y Trujillo por la del sur, de Jirajara y Empalado por la del este. Estos terrenos pertenecientes a la provincia de Pamplona en la Nueva-Granada, de Mérida, Trujillo y Maracaibo en Venezuela, están circuidos de montañas que les dan la forma de una herradura.

Tres declives bien pronunciados del oeste, sur y este envían por medio de 120 ríos y 400 riachuelos, todas las aguas de una extensión de 2.900 l. c. de Venezuela y de 400 de la Nueva-Granada. Si a estas se reúnen las que descargan sobre el mismo lago, se tendrá que las aguas que caen en una superficie igual a 4.000 l. c. desembocan al golfo de Maracaibo. Efectuase este desagüe por tres bocas; dos pequeñas, que son los caños de Pajjana y Olibor, y otra grande de dos millas de anchura situada, entre Zapara y la isla de San Carlos.

Los principales tributarios del lago son el Catatumbo, que lleva las aguas de una extensión de 750 l. c, el Zulia de 400, el Matatan de 250 y el Escalante de 500. Caen además en el golfo, que es el extremo septentrional de esta hoya, las aguas de una superficie de 200 l. c. de la península Goajira y las de 550 l. c. de la provincia de Coro: lo que hace ascender todos los terrenos que vierten en la hoya a 4.550 l. c.

Debe tenerse presente que en las tierras más meridionales caen anualmente 86 1/2 pulgadas de agua, y en las del septentrión 52, y como estas son menores que aquellas, se pueden calcular 78 pulgadas por término medio, que es tres veces más de lo que llueve en España.

Agustín Codazzi. Resumen de la geografía de Venezuela, 1841
(vocablos actualizados, excepto los nombres geográficos)

El relieve terrestre y la historia paleoclimática en la hidrografía fluvial de Venezuela

Luís RENGEL-AVILÉS

Museo de Ciencias Naturales Guanare. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, UNELLEZ. Guanare, estado Portuguesa, Venezuela. lrengel@hotmail.com

Venezuela presenta una variada historia geológica y climática evidente en sus regiones fisiográficas, lo que se expresa en el relieve terrestre como marco de sus cuencas fluviales. En este capítulo se describen las regiones fisiográficas del Escudo Guayanés, las cordilleras Cenozoicas y coberteras sedimentarias; igualmente, se reconocen relaciones funcionales entre las mismas y sus ejes fluviales. Se agruparon 48 cuencas fluviales mayores en siete conjuntos según la vecindad fisiográfica considerando: a) Escudo Guayanés; b) Hoya de Maracaibo y Golfo de Venezuela; c) subregión Lara-Falcón al Caribe; d) Cordillera Central de la Costa Caribe; e) Cordillera Oriental a la Costa Caribe y Golfo de Paria; f) Llanos Meridionales y cuenca del Apure; g) Llanura Central-Oriental de afluentes del Orinoco y cuenca del Unare. Mediante índices se expresó una gradación de cuencas considerando la influencia de su superficie y la longitud del canal principal con relación al caudal. Para detectar herencias paleoclimáticas en las cuencas se calcularon los índices: Relación Superficie Cuenca sobre caudal ($Sup.Cc/caudal$) y relación Longitud Canal Principal sobre caudal ($Long.Fl/caudal$). Los conjuntos de cuenca con vecindad fisiográfica mostraron ser independientes de factores determinantes en el conjunto fisiográfico. Diez cuencas tendieron a mostrar en su desarrollo una mayor influencia de las condiciones de humedad actuales y en las cuencas restantes se proponen diversos grados de influencia paleoclimática predominante. Así, las herencias de paleoclimas tienen influencia en la conformación actual de la red hidrográfica continental.

Palabras Clave: regiones fisiográficas, ejes fluviales, paleoclimas, cuencas de Venezuela

1. INTRODUCCIÓN

Los ejes de agua dulce aportan el recurso principal para el desarrollo de los países, ya sea para usos urbanos o agrícolas, el potencial energético para la hidroelectricidad o fuentes de alimento, entre otros. El aprovechamiento de las redes fluviales depende de las condiciones de sus cuencas, tanto de su extensión como también de las características existentes en su superficie de acopio. De ahí viene la necesidad de caracterizar y evaluar los ríos y sus áreas de drenaje e influencia.

Los ríos expresan caracteres particulares según las regiones fisiográficas, extensas superficies de afloramiento de la estructura profunda de la corteza terrestre que a su vez contienen paisajes donde destacan las cuencas hidrográficas. Estas regiones y sus paisajes son producto de una serie de antiguos procesos genéticos, tanto de orden geodinámico interno, explicados por la tectónica de placas y evolución de los sistemas de fallas, como de orden geodinámico externo, explicados por los paleoclimas y sus acciones erosivas conexas. Estos paleoclimas son un conjunto de condiciones climáticas pasadas (radiación, temperatura, precipitación, presión, masas de aire, etc.) que actuaron sobre una región específica y que reflejan condiciones ambientales particulares no existentes actualmente; por ejemplo, los periodos glaciares e interglaciares constituyeron variaciones paleoclimáticas muy influyentes sobre el relieve actual. Se entiende entonces que una cuenca hidrográfica es producto de diferentes eventos asociados con una estructura del subsuelo bajo condiciones hidroclimáticas específicas, tanto pasadas como presentes; de ahí que la superficie de una cuenca será más amplia en la medida que haya existido una acción hidráulica más prolongada en el tiempo (Richards 1982), según el material litológico ahí predominante y las estructuras geológicas presentes. La longitud del canal fluvial principal también puede indicar un largo trabajo fluvial. Los ejes fluviales tienen un comportamiento específico de acuerdo a su ubicación en diferentes sectores continentales y sus cuencas asociadas.

La conformación de las cuencas fluviales se asocia con fenómenos geológicos que afectaron a la superficie de la corteza terrestre, por lo que su hidrografía continental se expresa en grandes regiones fisiográficas diferenciadas y según la morfogénesis que explica la diversidad de paisajes fisiográficos y relieves. Aquí se presenta una revisión y actualización de información sobre los procesos terrestres asociados a las principales cuencas y ríos del país, con el interés de aportar una explicación complementaria al comportamiento de las aguas en movimiento.

2. MÉTODOS

Se seleccionaron cuencas fluviales según su representatividad regional y magnitud. De cada cuenca se registraron la superficie, altitud y toponimia, así como la longitud y caudales de los principales ríos (Marrero 1978, MARNR 2001, 2006). Se utilizó como índice el coeficiente de correlación (r de Pearson) para reconocer las relaciones funcionales entre estas variables (Navidi 2006) y como elementos explicativos del relieve terrestre sobre la dinámica fluvial. Para esto se consideró el caudal de cada río (C_i) como variable dependiente y como variables independientes a la Longitud del canal principal (L_i) y a la Superficie de la cuenca (S_i). Por otro lado, en cada cuenca se procedió a calcular los índices empíricos: La relación superficie respecto al caudal ($Sup.Cc/ caudal$) y la relación longitud de canal principal respecto al caudal ($Long.Fl/ caudal$). Ambos índices calculados para cada una de las 48 cuencas fueron analizados dentro de sus respectivos siete conjuntos de vecindad fisiográfica, aplicando el test X^2 a objeto de reconocer si dentro de cada conjunto fisiográfico existió algún factor de influencia determinante sobre estos índices. Así, de apreciarse diferencias significativas los índices pueden considerarse independientes de factores determinantes en su respectivo conjunto regional. Finalmente se asumió como índices “patrones de referencia” a ambas relaciones calculadas para toda la Cuenca del Orinoco.

Estos dos patrones de referencia se contrastaron con cada uno de los índices individuales de las 48 cuencas. Con esto se pudo apreciar en cada una de las cuencas el grado de influencia relativa de las condiciones climáticas que determinaron su caudal actual sobre el desarrollo aproximado de las superficies de cada cuenca y desarrollo de longitudes de sus canales principales. Mientras mayor es el índice en cada cuenca se puede afirmar que las condiciones hidroclimáticas actuales tienen menor influencia en la ampliación de su superficie y desarrollo de su canal principal, lo que factiblemente puede responder a condiciones previas de mayor humedad (paleoclimas). Mientras estos índices son menores en cada cuenca, tienden a señalar que las condiciones actuales de humedad expresadas en el caudal tienen una mayor influencia en el desarrollo de éstas cuencas que las condiciones pasadas.

3. RESULTADOS

3.1. LAS REGIONES FISIOGRÁFICAS

En Venezuela se detectan tres grandes regiones: el Escudo Guayanés, las cordilleras de ascenso Cenoico y las coberteras sedimentarias (Rengel-Avilés 2005). Dentro de cada una de estas regiones los paisa-

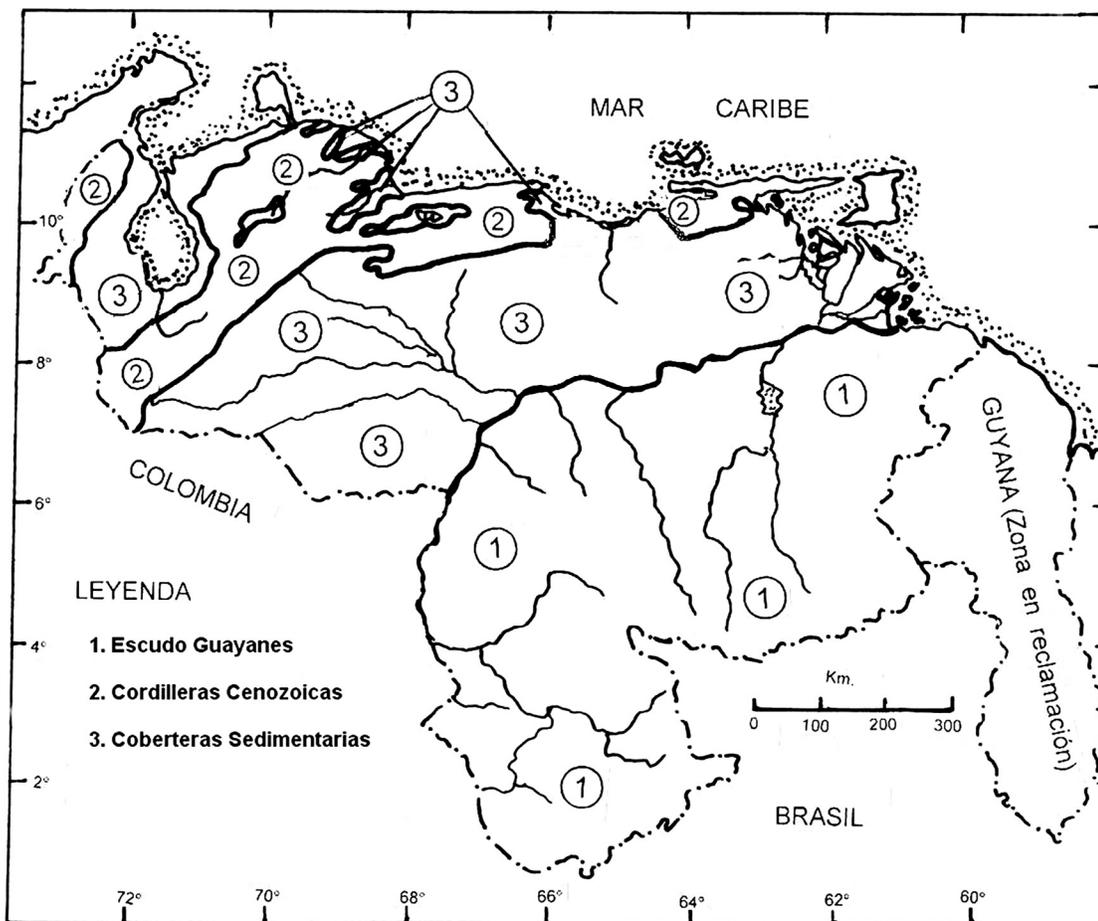


Figura 1. Regiones Fisiográficas de Venezuela. Modificado de MARNR (2001).

jes fisiográficos enmarcan las cuencas fluviales (Figura 1). En la conformación de las cuencas fluviales actuales fueron relevantes las fluctuaciones paleoclimáticas del Pleistoceno, entre 2.500.000 y 10.000 años antes del presente (AP). Al final de esta época y en el último período glacial la temperatura general disminuyó entre 3-7 °C, lo que en las zonas de baja altitud se expresó en cambios progresivos, como los procesos de desertización que implicaron la erosión hídrica torrencial y eólica, generando grandes abanicos de explayamiento en las salidas fluviales a las planicies y dunas en los llanos centrales y meridionales del país.

A la par, hubo procesos de endorreísmo fluvial en el centro del Escudo Guayanés y, posteriormente, durante los períodos interglaciares y finalmente en el inicio del Holoceno (últimos 10.000 años) el clima tropical húmedo propició el desarrollo de vegetación densa (bosques), elevados caudales fluviales y los niveles marinos sobrepasaron del actual nivel oceánico (Van Der Hamen 1974, cit. por González de Juana et al. 1980, Schubert y Briceño 1987, Schubert 1988, Rull 2000).

3.1.1. El Escudo Guayanés: Un escudo es conformado por cuerpos rocosos con más antigüedad (sobre todo metamórficos) que el resto circundante; estos son derivados de antiguos continentes (Pangea, Gondinia) y de donde provinieron los primeros volúmenes de sedimentación para el relleno de las coberteras sedimentarias. El Escudo Guayanés se ubica entre el sur y sureste de país y ocupa unos 433.400 km². Venezuela comparte el escudo con Brasil, Guayana, Colombia y Surinam, incluyendo la provincia francesa de Guayana (Marrero 1978). Aquí el relieve es muy variado, siendo una inmensa estructura de rocas muy deformadas con edad precámbrica, unos ~3.400 millones de años (Ma), expuestas principalmente como penillanuras y cerros testigos (viejos afloramientos de rocas plutónicas y volcánicas) y formas metasedimentarias muy antiguas (paisaje de tepuyes), afectadas ancestralmente por compresión tectónica (Schubert y Briceño 1987). Estas acciones tectónicas no son tan intensas en el presente, así que las penillanuras se muestran como extensas superficies de litología antigua muy erosionada y bajo

relativa estabilidad estructural. Sus elevaciones varían desde los mayores altiplanos, al sureste entre 2.300 y 3.200 msnm hasta los terrenos más bajos de las penillanuras al norte y noroeste entre 100 y 200 msnm.

Las rocas plutónicas (granito de Parguaza, San Pedro y Santa Rosalía) son el basamento cristalino que, junto a antiguas rocas metamórficas (formación Cinaruco), conforman el complejo basal, solidificado a varios kilómetros de profundidad (González de Juana et al. 1980). En el cauce del río Orinoco afloran estas rocas graníticas (islas e islotes) sobre todo en los raudales (Rengel-Avilés 1996). Este complejo basal se prolonga hacia el norte y noroeste debajo de las capas de las coberteras sedimentarias de los llanos (Zinck 1980) y formó parte del gran supercontinente Proterozoico de Gondinia (750 Ma), donde el Escudo Guayanés estaba unido al Escudo Canadiense (Grande et al. 2007) y posteriormente sería parte del supercontinente Pangea a inicios de la Era Mesozoica (200 Ma) y luego del continente de Gondwana (170 Ma), con los escudos Africano, Amazónico y Patagón (González de Juana et al. 1980).

3.1.2. Las cordilleras de ascenso Cenozoico: Una cordillera Cenozoica es un sistema montañoso que inició su ascenso a partir de coberteras sedimentarias durante la era Cenozoica (Rengel-Avilés 2005). En Venezuela estas cordilleras están conformadas por bloques anticlinorios todavía en ascenso. En el país cubren unos 89.180 km² de superficie continental y 3.910 km² de superficie insular. Estas cordilleras conforman una zona en la cual hubo previamente coberteras sedimentarias que fueron intensamente deformadas por orogénesis, con metamorfismo y penetración magmática. Los plegamientos y fracturas existentes se aprecian como depresiones tectónicas en valles profundos de alta montaña (Zinck 1980). El ascenso fue y es causado por el roce cortical entre placas de la litósfera, que es origen de sistemas de fallas activas de los sistemas de Boconó, San Sebastián (Morón) y El Pilar, los cuales marcan zonas de máxima actividad sísmica con amplias depresiones estructurales que determinan la ubicación de algunas cuencas fluviales.

Estas cordilleras son frontera entre las placas del Caribe y de Sudamérica (Schubert 1982, Schubert y Vivas 1993, Audemar 1996). Este cinturón tectónico está integrado por tres grandes subregiones fisiográficas, como son las cordilleras de Los Andes y de la Costa Central y la Serranía del Interior en la cordillera de la Costa Oriental. Estas cordilleras tienen alturas desde los 150 msnm en los piedemontes hasta cerca de 5.000 msnm en la Cordillera de Mérida.

Tabla 1. Principales ríos del Escudo Guayanés, Hoya de Maracaibo, Golfo de Venezuela, drenajes al Caribe (sub-región Falcón-Lara, cordilleras Central y Oriental) y Golfo de Paria (Marrero 1978, MARNR 2006).

Ríos	Cuenca (km ²)	Longitud (km)	Caudal (m ³ /s)
Escudo Guayanés			
Caroní	94.000	850	2.487
Caura	45.000	770	2.818
Ventuari	43.100	510	2.085
Aro	14.700	280	207
Cuchivero	11.700	280	710
Suapure	8.590	90	251
Sipapo	11.360	220	159
Atabapo	8.860	260	700
Cuyuní	38.100	240	483
Brazo Casiquiare	38.400	326	1.864
Hoya de Maracaibo			
Catumbo	24.416	450	633
Limón	5.310	200	85
Palmar	2.830	150	28
Santa Ana	5.560	180	306
Escalante	4.440	170	100
Chama	3.520	190	49
Motatán	5.600	130	33
Golfo de Venezuela			
Mitare	4.360	120	8
Lara-Falcón al Caribe			
Tocuyo	17.650	370	58
Aroa	2.150	110	12
Yaracuy	1.800	100	15
Cordillera Central al Caribe			
Tuy	6.750	240	11
Aragua	490	50	3
Turmero	240	30	2
Cordillera Oriental al Caribe			
Neverí	5.120	100	37
Manzanares	1.066	90	10
Golfo de Paria			
San Juan	8.200	170	73

El sistema montañoso de las Cordilleras de la Costa Central y Oriental, junto con las penínsulas de Paraganá, la Guajira y las islas del Caribe, inició su ascenso con la orogénesis Laramidiana de Norte América (65 Ma) a finales del Cretáceo (González de Juana et al. 1980). La presión de la placa del Caribe influyó en la conformación del norte de América del Sur (Pindell y Tabbutt 1995). El roce entre estas placas

hacia el Paleoceno-Eoceno (55 Ma) inició el arco insular antillano, el ascenso del macizo de Santa Marta y finalmente las cordilleras de la costa. La conformación orográfica definitiva de la cordillera Caribe se dio en el Mioceno superior, hace unos 14 Ma (Pindell et al. 1998).

El ascenso de la gran cordillera de los Andes sudamericanos al este y, posteriormente, de las cordilleras andinas del noreste (cordilleras Oriental de Colombia, de Mérida y Perijá) dividieron y enrumbaron los ejes fluviales. El paleo-Orinoco durante el Mioceno temprano (24 Ma) se dirigía entonces hacia un gran delta septentrional que desembocaba en el Mar Caribe y que recibía los drenajes de las vertientes orientales de los Andes de Colombia y las occidentales del Escudo Guayanés, pero el último ascenso andino (cordilleras de Mérida y Perijá) en el Mioceno tardío (15 Ma) definió su tendencia actual, donde el Amazonas estableció su desembocadura en el Atlántico, cerrando la conexión con el paleo-Orinoco. Los remanentes de una antigua sedimentación deltaica del Plioceno al Pleistoceno (últimos 2.000.000 años) se ven en el paisaje de las Mesas (Hoorn et al. 1995, Potter 1997).

El levantamiento de los Andes en Venezuela en el Mioceno (entre 20 y 15 Ma) fue posterior al de las cordilleras Caribes. La cuenca fluvio-lacustre de Maracaibo quedó aislada de las cuencas vecinas desde el Mioceno tardío (16 Ma), conformándose a medida que las cordilleras vecinas continuaban su ascenso por rotación de la microplaca de Maracaibo (Guzmán y Fisher 2006). El sistema de colinas de Falcón-Lara, una cobertera sedimentaria afectada por intenso plegamiento, sufrió inversión estructural entre el Mioceno y Plioceno (Kiser 1992). En el Pleistoceno, últimos dos millones de años, las fluctuaciones paleoclimáticas generaron típicas formas cordilleras, como las terrazas aluviales, en cuyo modelado actuaron alternancia de fases de acumulación sedimentaria y de entalle fluvial (Zinck 1980), así como de realce tectónico (Tricart y Millies-Lacroix 1962). Las pendientes pronunciadas, acciones hidroclimáticas inesperadas, variedad litológica e intensa sismicidad han generado procesos de vertiente violentos en los valles fluviales. Existe gran interés para evaluar estos fenómenos y determinar sistemas de alerta dentro de los planes de ordenación territorial (Briceño et al. 2007, Dugarte y Ferrer 2007, Laffaille et al. 2007; Morales et al. 2007; Rengel-Avilés 2007).

3.1.3. Las coberteras sedimentarias: Las coberteras sedimentarias son grandes depresiones en la zona continental de la corteza terrestre y que tienen un relleno continuo de sedimentos, principalmente alu-

viales. Su parte superior está cubierta por sedimentos sueltos, presentando conformación de planicie (llanuras) y su parte interna está hundida por el peso de acopio de sedimentos y metasedimentos; así, representan el subsuelo regional de las planicies aluviales (Murphy 1968, cit. por Strahler 1977, Rengel-Avilés 2005). En Venezuela las superficies de exposición continental de estas coberteras son los llanos, que cubren unos 248.000 km², luego la planicie fluvio-lacustre de Maracaibo (29.460 km²) y finalmente las llanuras costeras con unos 117.360 km² de extensión en Venezuela. Son áreas de sinclorios profundos, cubiertos por capas sedimentarias pleistocenas y holocenas. Son menos estables estructuralmente que los mismos escudos, ya que desde su inicio sufrieron plegamiento de subsidencia por acción de compensación tectónica durante la era Cenozoica entre las cordilleras en ascenso occidental y septentrional y el Escudo Guayanés, conformando así un inmenso tazón de hundimiento estructural hacia el cual drenaron los ejes sedimentarios provenientes del viejo macizo y de las cordilleras en ascenso, junto a los aportes de mares epicontinentales.

Estas inmensas depresiones se comunican hasta la cuenca del Amazonas, a través de los llanos del Guaviare y Caquetá. Las capas sedimentarias superficiales horizontales están conformadas por grandes extensiones de sedimentos sueltos y no consolidados de origen aluvial y eólico sobre cuerpos rocosos de consolidación progresiva en el subsuelo (Rengel-Avilés 1986).

Las coberteras sedimentarias se muestran como un amplio paisaje de ríos circulantes dentro de un relieve monótono. Sus nacientes están en sectores cordilleros, excepto el Unare, el Capanaparo y las pequeñas cuencas de los llanos centrales y orientales. Durante la última glaciación pleistocena (entre los 100.000 y los 10.000 años AP) el nivel oceánico descendió respecto del nivel actual (regresión), permitiendo profundizar por erosión vertical sus fondos de valle sobre espacios actualmente sumergidos. Durante el periodo interglaciar previo (entre 375.000 y 100.000 años) el nivel del mar ascendió (transgresión) por encima del nivel actual y cubrió estos espacios de planicie con rellenos sedimentarios (Pestman 1993). Estos fenómenos debieron afectar la actual estructura fluvial.

3.2. LAS CUENCAS FLUVIALES

De manera general, la correlación entre las cuencas consideradas (48) reportó una correlación moderada a alta entre la longitud del canal principal y caudal fluvial ($\eta_{L-C}= 0,626$) y entre la superficie de la cuenca y caudal fluvial ($\eta_{S-C}= 0,635$). Así, las cuencas tienen una conformación considerada como normal para una

región intertropical; esto es, a mayor longitud del canal es mayor la capacidad de drenar grandes volúmenes hídricos; igualmente, a mayor superficie de una cuenca es mayor la capacidad de captación de grandes volúmenes hídricos. Aunque se detectó la influencia del relieve sobre la dinámica fluvial actual, la heterogeneidad de los datos (ej. desviaciones mayores que las medias) sugiere que las correlaciones no permiten sustentar ecuaciones de regresión con fines predictivos y su uso debe ser considerado solamente referencial.

En la evaluación de cada cuenca dentro de sus respectivas regiones se consideraron y calcularon los índices (*Sup.Cc/ caudal*, *Long.Fl/ caudal*) para cada cuenca (Tabla 2). Con fines de comparación se calcularon los índices como “patrón de referencia” a partir de los datos de la cuenca del Río Orinoco, que drena paisajes ubicados en todas las regiones del país. Esta cuenca cubre 644.000 km² del territorio venezolano y 348.000 km² de Colombia (total= 992.000 km²), la longitud de su eje fluvial es de 2.140 km y reporta un caudal en su boca de salida de 37.384 m³/s (Marrero 1978). Esa extensa superficie tiene una gran diversidad de condiciones de acopio hídrico, con mayores aportes provenientes de la Cordillera Oriental de Colombia a través de los ríos en los Llanos Orientales (Meta, Inírida, Guaviare y Vichada). Así, para la cuenca del Orinoco se obtuvieron los índices de *Sup.Cc/ caudal* = 26,5 y *Long.Fl/ caudal* = 0,06. Una prueba de X² sugirió diferencias significativas entre el índice de patrón de referencia y los índices de cuencas individuales; esto es, mientras sea mayor alguno de estos índices de cuencas individuales respecto al índice de patrón de referencia se espera que sea menor la influencia de la superficie y dimensión del río con el caudal actual.

Lo anterior sugiere que la extensión de una cuenca dada es producto más de condiciones previas de mayor humedad que de las condiciones actuales; esto refiere a cuencas desarrolladas y heredadas de paleoclimas ahora no existentes en la región. Por el contrario, un índice de similar o un menor valor respecto al patrón de referencia sugiere que el caudal actual está en proceso de definir como área de drenaje (área de acopio) a la superficie actual de la cuenca y como eje principal a su canal mayor (río principal) según una condición climática actual. Así, una cuenca en desarrollo tendría un índice *Sup.Cc/ caudal* para el caudal del Orinoco igual o mayor que un índice *Sup.Cc/ caudal* para el caudal de un río en particular. Por el contrario, una cuenca heredada con acción paleoclimática tendría un índice *Sup.Cc/ caudal* para el caudal del Orinoco menor al índice *Sup.Cc/ caudal* para el caudal de un río. Un esquema similar de comparación puede aplicarse a los índices *Long.Fl/* respecto al caudal de cada cuenca

Tabla 2. Ríos de los llanos meridionales, cuenca del Apure, llanuras centrales y orientales, afluentes del Orinoco (Marrero 1978 y MARNR 2006).

Ríos	Cuenca (km ²)	Longitud (km)	Caudal (m ³ /s)
Llanos Meridionales y Cuenca del Apure			
Meta	93.800	1.000	13.647
Apure	134.400	1.095	2.370
Arauca	8.000	830	485
Portuguesa	60.000	500	495
Uribante	7.600	310	257
Guanare	16.700	420	211
Santo Domingo	3.030	230	159
Sarare	800	90	149
Caparo	17.000	350	92
Pagüey	2.890	210	88
Masparro	2.790	190	61
Canaguá	2.290	190	49
Guárico-Guariquito	31.600	630	99
Llanura Central-Oriental, afluentes del Orinoco y al Caribe			
Manapire	8.760	260	25
Zuata	5.150	170	16
Pao	3.740	150	12
Limo	1.780	60	2
Cabrutica	1.700	100	6
Mapire	1.130	90	9
Guanipa	10.100	310	54
Unare	21.500	240	46

respecto del índice del Orinoco. A continuación se analizan las cuencas según las principales unidades evaluadas:

3.2.1. Cuencas en el Escudo Guayanés: En el Escudo Guayanés la condición de clima tropical de sabana en áreas septentrionales va cambiando a clima tropical de selva húmeda en áreas centrales y meridionales. Sobre el escudo están las cuencas fluviales que drenan hacia el eje del Río Orinoco en su vertiente oriental, además de las del Cuyuní y del Casiquiare que se integran a otras cuencas (Figura 2). Los elevados caudales fluviales de la región son dependientes de los volúmenes de precipitación anual, los mayores en el territorio nacional (Tabla 1). A continuación las características particulares de sus cuencas:

1. Pequeñas cuencas de Guayana hacia el Delta del Orinoco (20.800 km²): Corren al Delta del Orinoco sin integrarse. Proviene de la zona en reclamación o de altiplanicie de Nuría y Serranía de Imataca (altitud >500 msnm), drenan hacia el noroeste.

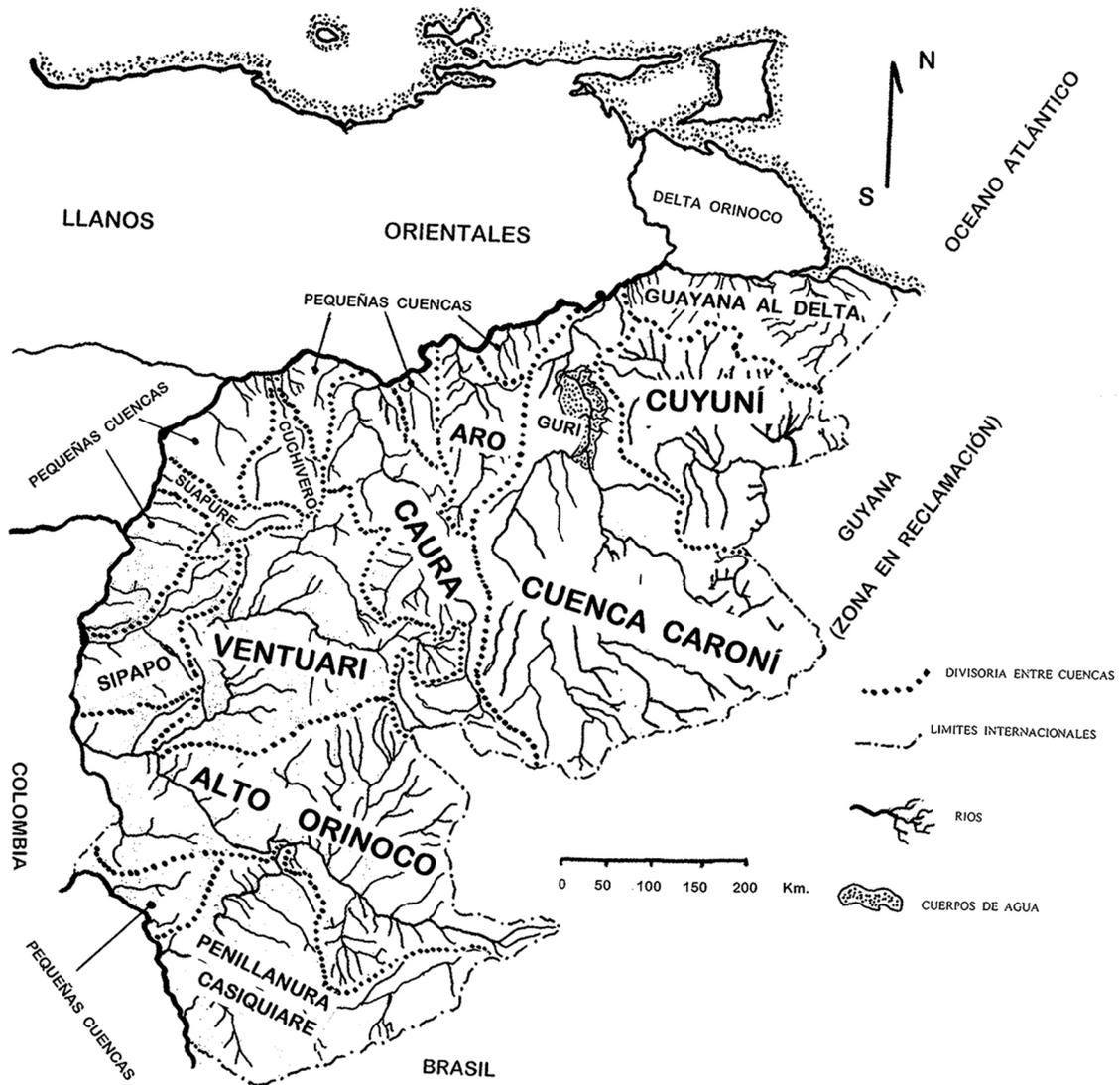


Figura 2. Cuencas fluviales sobre el Escudo Guayanés. Modificado de MARNR (2001).

2. Pequeñas cuencas del norte, noroeste y oeste de Guayana (41.600 km²): Nacen en serranías bajas y llanuras de erosión (altitud <500 msnm), se dirigen poco integradas al eje del Orinoco. El Atabapo es el río más relevante.
3. Cuenca del Río Cuyuní (38.100 km²): Ubicada entre las serranías de Imataca y de Nuria al norte (altitud >500 msnm) y la Sierra de Lema al sur (altitud >1.000 msnm). Drena en dirección sureste para integrarse en la cuenca del Esequibo, dentro de la zona en reclamación con Guyana.
4. Cuenca del Río Caroní (94.000 km²): Drena en dirección norte al Orinoco. Tiene sus nacientes en las sierras de Pacaraima, Uainama y Aribana hacia el sur (altitud >1.000 msnm), las sierras de Lema y Rinocote y el Monte Roraima al este (altitud

>2.000 msnm), sierras de Aro y del Catire al oeste (altitud >1.000 msnm). Son dos ejes principales, el Caroní y el Paragua, que convergen en el embalse de Gurí. Los principales aportes vienen de la Gran Sabana, en medio de la región de tepuyes. Debido a las grandes diferencias topográficas entre altiplanos y a la alta precipitación en la zona se generan grandes cataratas, como el Salto Ángel (Kerepakupai Vená, con cerca 979 m) y Cuquenán (674 m). En la cuenca baja del Caroní se ubica la represa del Gurí, dentro de un amplio valle, con un embalse de 6.400 km² de espejo de agua y con una cota variable de 240 a 272 msnm (Marrero 1978). El embalse del Gurí se asienta sobre un sustrato litológico del basamento ígneo-metamórfico que ha permitido soportar grandes obras de infraes-

estructura para generar energía hidroeléctrica. Se considera esta represa aporta un poco más del 70% de la energía requerida por el país. Un problema en su manejo es la variación de caudal del río de acuerdo a su estacionalidad.

5. Cuenca del Río Aro (14.700 km²): Drena en dirección norte al Orinoco y es ubicada entre las serranías de Aro al sur, de El Catire al este y de Turagua y Cerro Negro al oeste (altitud >500 msnm).
6. Cuenca del Río Caura (45.000 km²): Drena en dirección norte hacia el Orinoco. Ubicada entre la Sierra de Aribana al sur, serranías de Turagua, Aro y Cerro Urbani al este y la Sierra de Maigualida, serranías de Chivapura, Mato y Monte Oscuro al oeste (altitud >1.000 msnm).
7. Cuenca del Río Cuchivero (11.700 km²): Drena en dirección norte al Orinoco. Ubicada entre las sierras de Maigualida y de Guamapi al sur, serranías de Chivapura, Mato y Monte oscuro al este y la serranía de Turiba al oeste (altitud >1.000 msnm).
8. Cuenca del Río Suapure (8.590 km²): Drena en dirección noroeste hacia el Orinoco. Ubicada entre Serranía de Inapu y Cerro Guanay al sur, Serranía de Turiba al noreste y Serranía Los Pijiguaos al suroeste (altitud >1.000 msnm).
9. Cuenca del Río Ventuari (43.100 km²): Drena en dirección suroeste al Orinoco. Está ubicada entre la Sierra de Maigualida al norte y al noreste, las serranías de Inapu, Vadipo y Guanapi al norte, las serranías de Guayapu, Mapichi y Cerro Ovana al oeste (altitud >1.000 msnm).
10. Cuenca del Río Sipapo (11.360 km²): Drena en dirección oeste al Orinoco. Sus nacientes están en las serranías de Mapichi, Guayapu y Cerro Ovana al este (altitud >1.000 msnm).
11. Cuenca del Alto Orinoco (67.200 km²): El área de nacimiento está enmarcada entre la Sierra de Parima al este y noreste, donde está la fuente principal en los cerros Delgado Chalbaud, Huamachari y Marahuaca al norte (altitud >1.000 msnm), Sierra de Unturan al sureste y penillanura del Brazo Casiquiare al sur (altitud <500 msnm).
12. Penillanura del Brazo Casiquiare (38.400 km²): Brazo Casiquiare es efluente del Orinoco, drena en dirección suroeste hacia el Río Negro, a su vez afluente del Río Amazonas. Ubicado entre el eje del Orinoco al norte y noreste, Sierra de Unturan al este, Sierra de Tapirapeco al sureste y Sierra de La Neblina al sur (altitud >500 msnm). El caso de efluencia del Brazo Casiquiare define un fenómeno de derrame o vertimiento parcial sobre fondo granítico, acompañado por realce de cauce por

depósitos arenosos. El sustrato rocoso no ha permitido profundización del canal. El Brazo Casiquiare es de menor caudal y menor profundidad que el Orinoco. Este es un caso de divergencia pero sin captura definitiva (Yáñez 1992).

Los índices (*Sup.Cc/caudal*, *Long.Fl/caudal*) en las cuencas del Escudo Guayanés (Tabla 3) al compararlos con el índice patrón de referencia muestran, respecto a la superficie de las cuencas, valores un tanto mayores en las cuenca del Cuyuní, Sipapo y Aro, lo cual se destaca al comparar con el índice de longitud. Los principales aportes de humedad actual se dan bajo clima de sabana tropical, pero seguramente su desarrollo inicial como cuencas se dio bajo condiciones climáticas previas más húmedas. Las otras cuencas de la región, como las del Caroní, Caura, Ventuari y Alto Orinoco, están todavía en proceso de desarrollo. Las mayores cuencas fluviales al norte del río Orinoco, excepto la del Unare, nacen en cordilleras de ascenso Cenozoico y se distribuyen en tres regiones cuencas occidentales, cuencas centrales y cuencas orientales (Figura 3).

3.2.2. Cuencas fluviales del occidente Caribe de Venezuela: Nacen en zonas de montaña y sus desembocaduras son al Lago de Maracaibo o directamente al Mar Caribe. La longitud de algunos ríos permiten conectarlos con nacientes más húmedas, generando mayor caudal en sectores bajos donde existe un clima más seco (Tabla 2). Las principales cuencas son:

1. Hoya del Lago de Maracaibo (60.800 km²): En esta cuenca el clima varía de alta humedad meridional a marcada sequía septentrional. En las vertientes bajas de la Sierra de Perijá y vertiente baja de la Cordillera de Mérida predomina humedad elevada propia de las selvas. En las nacientes de los ríos Chama y Motatán el clima es de montaña alta, mientras que en la salida del río Chama a la llanura fluvio-lacustre el clima tiende a ser lluvioso de sabana. En las costas norte del lago y serranías circundantes el clima es semiárido. Las nacientes abarcan toda la región: al este en la Serranía de Ciruma (altitud >1.000 msnm), al sureste en la Sierra de La Culata de la Cordillera de Mérida (altitud >4.500 msnm), por el sur en el páramo de La Negra y Sierra de Tovar de la Cordillera de Mérida y la Depresión del Táchira (altitud >1.000 msnm), al suroeste en las vertientes montañosas de Colombia y al oeste en la Sierra de Perijá (altitud >2.000 msnm). Los principales afluentes son ríos grandes: Motatán, Chama, Escalante, Catatumbo, Santa Ana y Palmar. En las vertientes altas de las



Figura 3. Cuencas fluviales del norte del Orinoco. Modificado de MARNR (2001).

montañas de Mérida y Perijá se localizan paleoformas de la última glaciación (75.000 y 10.000 años AP) (Schubert 1988, Schubert y Vivas 1993). En las vertientes medias es activa la torrencialidad por flujos de detritos (Dugarte y Ferrer 2007). La planicie fluvio-lacustre de Maracaibo viene a ser el sector bajo de la Hoya de Maracaibo (altitud <100 msnm). La transición conforma un ligero piedemonte de terrazas, colinas y abanicos aluviales (altitud entre 100 y 500 msnm). En el relleno de esta cuenca participaron transgresiones marinas. Durante el último ciclo glaciario su nivel hídrico bajó por acción paleoclimática y el lago se transformó en pantanos fragmentados (Graf 1969).

Rodeando la gran mancha del lago (~14.000 km²) la hoya se expresa en tres grandes sectores. El primero al noreste conformado por colinas muy bajas en transición a la región Falcón-Lara, y con muy ligera red fluvial estacional. El segundo sector está al noroeste y es caracterizado por una red fluvial más integrada que cae de las vertientes abruptas de la Sierra de Perijá. Ambos sectores van cambiando en sus sistemas de drenaje a medida que se avanza hacia el tercer gran sector meridional.

Pasando el Apón al oeste y el Motatán al este, los ríos siguen un caudal mejor definido. Finalmente los ejes principales (Santa Ana, Catatumbo y Escalante) desembocan al lago en medio de un paisaje deltaico, con formación de pantanos (Pouyllau 1985). Ahí se ubica el Parque Nacional Ciénagas de Juan Manuel de Aguas Claras y Aguas Negras (Navarro et al. 2007). Aquí el clima es

húmedo a subhúmedo, causado por el encuentro de masas tropicales húmedas en zona de baja presión y alta evaporación, además de la baja pendiente, lo que explica el suelo anegado permanente. Esta condición meteorológica es también un factor explicativo del fenómeno conocido como el “Relámpago del Catatumbo”.

La comparación de los índices patrón con los índices *Sup.Cc* y *Long.Fl* (Tabla 3) muestran como las cuencas del Catatumbo, Escalante y Santa Ana están en proceso de desarrollo bajo las condiciones climáticas actuales, mientras que la cuenca del río Chama y, más aún, la del río Motatán, son herencias de antiguas condiciones climáticas con mayor humedad.

2. Pequeñas cuencas al Golfo de Venezuela (20.800 km²): en estas cuencas predomina el clima semiárido. Se incluyen las vertientes montañosas, exceptuando aquellas en la Península de Paraguaná. Los afluentes del sector occidental tienen sus nacientes en el norte de la Sierra de Perijá y Montes de Oca, como la pequeña cuenca del río Limón, que drena en dirección este. Los afluentes del sector oriental tienen sus nacientes en la Sierra de San Luis y colinas del noroeste de Falcón (altitud <1.000 msnm), entre los que están los ríos Palmar y Mitare, drenando en dirección noroeste y norte. En el Golfete de Coro el delta del río Mitare y litoral vecino son fuente de captación de arena suelta por deflación eólica para formar dunas tipo nebkhas (Suárez et al. 1999), que cubren el istmo de los médanos y otros sectores de llanura costera.

La mayoría de los ríos son de corriente intermitente (quebradas) entre colinas, existiendo también vallecitos sin ríos circulantes (Zinck 1980).

La comparación de los índices patrón de referencia con los índices de las cuencas de los ríos Limón, Palmar y Mitare (Tabla 3) muestran su origen paleoclimático, sobre todo la cuenca del río Mitare, cuyo desarrollo fue bajo condiciones de un clima más húmedo y muy diferente al actual, que es semiárido.

3. Cuencas de Falcón-Lara hacia el Caribe (30.400 km²): Aquí el clima varía, en la cuenca alta del río Aroa es tropical de altura, mientras que en su desembocadura en el Golfo Triste es tropical de sabana, mientras que en la depresión de Barquisimeto y Carora, el clima es semiárido. Las cuencas de los ríos Tocuyo, Aroa y Yaracuy drenan en dirección este hacia el Mar Caribe. El río Tocuyo cruza la Depresión de Carora desde sus nacientes en la Sierra de Baragua al noroeste, en la Sierra de Churuguara al norte (altitud >1.000 msnm), y en las sierras del Rosario y de los Humocaros al sur (altitud >2.000 msnm). Es el río Tocuyo el sistema fluvial más importante de la región. El río Aroa se inicia en la Sierra de Aroa al suroeste (altitud >2.000 msnm). El río Yaracuy nace en las sierras de Aroa al noroeste y de Nirgua al sureste. Otras pequeñas cuencas tiene sus nacientes en la Sierra de San Luis al noroeste y en la Sierra de Churuguara al sur (altitud >1.000 msnm). Ríos como el Turbio y el Yacambú se originan en la Sierra de Portuguesa (altitud >2.000 msnm) donde existe mayor humedad. Aunque son ríos de montaña y de bajo caudal, su mayor extensión está en sectores de clima semiárido (Tabla 3).

La comparación de los índices patrón de referencia con los índices de las cuencas de los ríos Tocuyo, Aroa y Yaracuy (Tabla 3), sugiere que sus cuencas mayores son herencias paleoclimáticas, desarrolladas bajo previas condiciones de mayor humedad.

3.2.3. Cuencas fluviales del centro Caribe de Venezuela: Son ubicadas en la Cordillera de la Costa Central (Marrero 1978). Su relieve montañoso más septentrional sigue una dirección oeste-este, que es paralelo al litoral central. El sistema se inicia en la depresión del río Yaracuy y finaliza en la depresión del río Unare al oriente (Figura 3). El sistema de fallas de San Sebastián determina la ubicación de vastas depresiones (Schubert 1982), como las fosas tectónicas de la cuenca endorreica del Lago de Valencia, la

Tabla 3. Índices calculados de cada cuenca fluvial individual.

Ríos	Sup.Cc/caudal	Long.Fl/caudal
Escudo Guayanés		
Caroní	37,80	0,3418
Caura	15,97	0,2732
Ventuari	20,67	0,2446
Aro	71,01	1,3527
Cuchivero	16,48	0,3944
Suapure	34,22	0,3586
Sipapo	71,45	1,3836
Atabapo	12,66	0,3714
Cuyuní	78,88	0,4969
Brazo Casiquiare	20,60	0,1749
Hoya de Maracaibo		
Catatumbo	38,57	0,7109
Santa Ana	18,17	0,5882
Escalante	44,40	1,7000
Chama	71,84	3,8776
Motatán	169,70	3,9394
Golfo de Venezuela		
Mitare	545,00	15,0000
Palmar	101,07	5,3571
Limón	62,47	2,3529
Falcón-Lara al Caribe		
Tocuyo	304,31	6,3793
Aroa	179,17	9,1667
Yaracuy	120,00	6,6667
Cordillera central al Caribe		
Tuy	613,64	21,8182
Aragua	163,33	16,6667
Turmero	120,00	15,0000

del Valle de Caracas y la depresión de Barlovento, con espesa acumulación sedimentaria pleistocena (González de Juana et al. 1980) y donde circula el río Tuy. En uno de los vallecitos internos ocurrió el desastre por flujo de detritos del Río Limón en el año 1987 (Briceño et al. 2007), esto eventos tienen recurrencia histórica. El Macizo de Nirgua está separado de la Serranía del Litoral por un abra; en esta serranía se ubican las mayores altitudes (>2.500 msnm). Las sierras menores de Hilaria, Rancho Grande, Ávila y Miranda, caen en forma abrupta sobre el litoral como filas paralelas entre escarpes de falla, lo que favorece el desarrollo de torrentes. Separada de ésta por grandes depresiones hacia el sur se alinea la Serranía del Interior, de relieve más bajo y su transición hacia los llanos occidentales y centrales está marcada por

Tabla 3. Continuación. Índices calculados de cada cuenca fluvial individual.

Ríos	Sup.Cc/caudal	Long.Fl/caudal
Cordillera oriental al Caribe		
Neverí	138,38	2,7027
Manzanares	106,60	9,0000
Golfo de Paria		
San Juan	112,33	2,3288
Llanos meridionales y cuenca del Apure		
Meta	6,87	0,0733
Apure	56,71	0,4620
Arauca	16,49	1,7113
Portuguesa	121,21	1,0101
Uribante	29,57	1,2062
Guanare	79,15	1,9905
Santo Domingo	19,06	1,4465
Sarare	5,37	0,6040
Caparo	184,78	3,8043
Pagüey	32,84	2,3864
Masparro	45,74	3,1148
Canaguá	46,73	3,8776
Guárico-Guariquito	319,19	6,3636
Llanura Central - Oriental, afluentes del Orinoco y al Caribe		
Manapire	350,40	10,4000
Zuata	321,88	10,6250
Pao	311,67	12,5000
Limón	890,00	30,0000
Cabrutica	283,33	16,6667
Mapire	125,56	10,0000
Guanipa	187,04	5,7407
Unare	467,39	5,2174

diversas abras de origen tectónico, por donde discurren los ejes de los ríos Cojedes, San Carlos, Tiznados, Guárico y Orituco. Las principales cuencas son:

1. Cuenca endorreica Lago de Valencia (2.800 km²): Predomina el clima tropical de altura. Es una cuenca pequeña y cerrada en medio de una depresión ubicada en la Cordillera de la Costa Central (entre 250 y 500 msnm). Colinda con la cadena del litoral por el norte y con la cadena del interior por el sur. Se nutre de ríos cortos de montaña, como el Aragua y el Turmero (Tabla 2).
2. Cuenca del Río Tuy (6.750 km²): Varía de clima tropical de altura, en las vertientes medias y altas de la cordillera, hasta clima tropical lluvioso de selva en su desembocadura. Sus nacientes están en los Altos de Pipe al noroeste, en la cadena del litoral de la Cordillera de la Costa al N, en la cadena

del interior y en la Sierra de Ocumare al sur (altitud >2.000 msnm). El eje fluvial cruza la Depresión de Barlovento y drena en dirección este hacia la llanura baja y cenagosa de Barlovento, generada por aportes aluviales de varios ríos. El bajo caudal actual en esta cuenca puede estar influido por el intenso desarrollo urbano en el Valle de Caracas.

3. Microcuencas del Litoral Central (8.000 km²): Predomina el clima semiárido. Son ligeros riachuelos que drenan en dirección norte hacia el Mar Caribe, entre el Golfo Triste y Cabo Codera. Tienen sus nacientes en la Cadena del Litoral de la Cordillera de La Costa (altitud >2.000 msnm). Desde la boca del río Yaracuy hasta el Cabo Codera, la costa sigue casi un alineamiento oeste-este paralelo a la cadena montañosa, de la cual recibe aportes sedimentarios aluviales, siendo los mayores de la Serranía del Ávila (González de Juana et al. 1980).

Las amplias terrazas pleistocenas, aluviales y marinas (altitud < 250 msnm), han permitido el desarrollo de infraestructuras de transporte aéreo y uso portuario, así como centros urbanos densamente poblados. Este sector ha sido muy afectado por desastres (inundaciones y aludes torrenciales), ocurridos en 1798, 1951 y finalmente en 1999 (Revet 2009). En diciembre de 1999 por intensas lluvias extraordinarias se activaron los cauces de quebradas (en pendientes superiores al 50%), con crecida torrencial violenta de flujos de lodo y arrastre de rocas (de diámetros superiores a los 10 m.) sobre el litoral, cuyo impacto desastroso hubiese sido menor si hubiese existido un correcto plan de urbanismo (Altez 2007).

La comparación de los índices patrón de referencia con los índices de las cuencas de los ríos Tuy, Aragua y Turmero (Tabla 3) permite definir las como herencias paleoclimáticas desarrolladas bajo condiciones de mayor humedad.

3.2.4. Cuencas fluviales del oriente Caribe de Venezuela: Ubicadas en la Cordillera de la Costa Oriental. Su presente fisiografía a partir de la Depresión de Unare al oeste continúa la alineación montañosa paralela al litoral y la Península de Paria, y en el interior, al suroeste. El tramo litoral es más bajo y abrupto, mientras que el tramo interior es de mayor amplitud y altitud (sobre los 2.500 msnm).

Aquí la zona de fallas de El Pilar se manifiesta por la presencia de estrechos surcos tectónicos visibles en la alineación de los valles fluviales, como el del Manzanares en dirección norte y el del Neverí en dirección oeste (Zinck 1980). Este sistema de fallas pasa por la Península de Paria y sigue hasta Trinidad.

La Serranía de Turimiquire es transición a los llanos orientales (Figura 3). Las cuencas de esta región son:

1. Cuenca del Río Unare (22.400 km²): en su cuenca media y alta el clima es tropical lluvioso de sabana y en su desembocadura es semiárido. Drena en dirección norte hacia el Mar Caribe en la Fosa de Cariaco y define la Depresión de Unare como continuación de la planicie de erosión de los llanos centrales y marca la separación con la cuenca del Orinoco con las mesetas Guanipa y Hamaca al sureste (altitud <250 msnm). Es la cuenca más extensa que sale al Mar Caribe después de la Hoya de Maracaibo.
2. Pequeñas cuencas a la Fosa de Cariaco (9.600 km²): predomina el clima tropical lluvioso de sabana. Las principales cuencas son: Neverí y Manzanares al oriente de la depresión de Unare; estas drenan en dirección este y sus nacientes son en la Serranía de Turimiquire en la Cordillera de la Costa Oriental al sur y sureste (altitud >2.000 msnm). Las planicies aluviales como la del río Manzanares son de pequeña extensión. Son ríos de pequeño caudal que nacen en montañas y luego discurren en llanuras (Tabla 2).
3. Cuencas al Golfo de Paria (18.300 km²): el clima semiárido es usual. Drenan en dirección noreste y desembocan en el Océano Atlántico. Las cuencas septentrionales nacen en la Serranía de Turimiquire al noroeste. Las cuencas meridionales son del Río San Juan, cuyas nacientes están en esta serranía, y Río Guanipa con nacientes en las mesetas Mondongo y Santa Bárbara al oeste. (altitud <500 msnm). El río San Juan fue formado como estuario por submersión de valle fluvial en llanura costera durante la transgresión holocena, actualmente es considerado un caño de marea (Marcucci 2000).
4. Microcuencas de Araya y Paria (4.800 km²): Predomina el clima semiárido. Son arroyos pequeños, intermitentes y no integrados que drenan hacia el norte al Mar Caribe y hacia el Golfo de Cariaco. Las vertientes de la Cordillera Oriental caen directamente sobre el litoral (altitud <1.000 msnm), con pequeñas terrazas marinas y ríos de corto recorrido.
5. Por último, destacan las pequeñas cuencas insulares (4.790 km²), que tienen condición climática semiárida a desértica. Tienen ejes fluviales cortos e inactivos la mayor parte del año. La Península de Paraguaná, surgida como isla separada del continente durante el Paleoceno-Eoceno, se conectó a fines del Pleistoceno por el cordón sedimentario de los médanos. El relieve es bajo y ondulado

(altitud <500 msnm). El clima semiárido ha sufrido cambios hacia una extrema desertización temporal, como en 1912, cuando obligó a la población a emigrar (Revet 2009). La Isla de Margarita se encuentra bajo un clima semiárido y está conformada por dos sectores montañosos, unidos por un cordón litoral con la albufera de La Restinga. En el sector oriental circula irregularmente el río San Juan (18 km). Las otras islas son de núcleos rocosos ígneo-metamórficos, recubiertos por terrazas marinas bajo clima desértico (Santamaría y Schubert 1974).

La comparación de los índices patrón de referencia con los índices de las cuencas de los ríos Unare, Neverí, Manzanares y San Juan (Tabla 3) permite definirlos como herencias paleoclimáticas desarrolladas bajo condiciones de mayor humedad, sobre todo la cuenca del Unare, que fue posiblemente desarrollada desde un clima tropical de selva húmeda.

3.2.4. Cuencas fluviales al norte y oeste del eje del

Orinoco: Son cuencas que se integran a la gran cuenca del Orinoco en su vertiente septentrional. Las de mayor caudal nacen de las cordilleras Cenozoicas y las de menor caudal sobre la planicie de los llanos centrales y occidentales. Las principales cuencas son:

1. Cuencas de los llanos meridionales (57.600 km²): hacia el oeste la selva de San Camilo existe un clima tropical lluvioso de selva, pero en la mayor parte de esta subregión el clima es tropical lluvioso de sabana. Sus ejes fluviales principales son el Meta y el Arauca, que nacen en vertientes de la Cordillera Oriental de Colombia, mientras que el Capanaparo y el Cinaruco nacen en la planicie aluvial. Todos estos ríos, incluyendo al mismo Apure, discurren en dirección oeste a este, como afluentes directos del Orinoco en cuencas paralelas. Son paisaje de bajo llano (altitud <100 msnm), por zona de subsidencia tectónica (González de Juana et al. 1980), y el carácter difluente de los ríos se ve en la aparición de gran variedad de canales transitorios (caños) desbordables y de lecho cambiante. Los amplios esteros y ciénagas alternan sobre todo al sur del Arauca con la vasta presencia de dunas, desarrolladas inicialmente por acción eólica durante los periodos de aridez pleistocenos (Roa 1979), se reactivan actualmente durante la estación seca. La desembocadura del Apure y el Arauca forma un sistema fluvio-deltaico, por baja pendiente y la contrafuerza del caudal del Orinoco (Pouyllau 1985). Los depósitos aluviales característicos son: de fondo de canal (bancos), de desborde por exceso de carga (albar-

dones de orilla, orillares) o por desborde lateral (napas, cubetas de desborde), y por decantación (cubetas de decantación) (Schargel 2005). Entre los ríos Capanaparo y Cinaruco, las Galeras del Cinaruco constituyen un resalte estructural del complejo basal del escudo en medio de la planicie aluvial. Son caudales muy variables y dependientes de la condición climática de sus nacientes en sectores montañosos (Tabla 2).

2. Cuenca del Río Apure (134.400 km²): alcanza altas montañas (altitud >3.000 msnm) con clima tropical de altura, que va cambiando hasta llegar a las llanuras al este con clima tropical de sabana y en la zona al norte de los llanos centrales (Calabozo), con clima semiárido. Esta cuenca incluye vertientes montañosas drenadas por varios ejes de importancia y cubre los llanos de Barinas y Portuguesa, ubicados al sureste de la Cordillera de Mérida, al sur de la Cordillera Caribe Central y al norte del eje del río Apure. También drena los llanos occidentales y centrales, al norte de los llanos meridionales, en dirección sureste y sur hacia el Orinoco. Sus subcuencas principales son las del río Portuguesa y Guárico, separadas por las colinas del Arco del Baúl.

Sus afluentes nacen en la amplia faja que abarca desde el oeste hasta el noroeste la Cordillera de Mérida (páramo El batallón, Cerro El Cobre, Serranía de Cimarronera y las sierras Nevada, Santo Domingo y Portuguesa) y por el norte en la Cordillera de La Costa (sierras de Nirgua y Tinaco, Cadena del Interior y Sierra de Ocumare). Sus principales afluentes son los ríos Apure, Sarare, Torbes, Uribante, Caparo, Canaguá, Pagüey, Santo Domingo, Masparro, Boconó, Guanare, Portuguesa, Cojedes, San Carlos y Guárico. Casi todos estos ríos corren en dirección sureste y sur. El Santo Domingo tiene sus nacientes de altas montañas (altitud >4.000 msnm) con paisajes de formas postglaciares (Schubert y Vivas 1993), drenando luego con fuerte pendiente hacia la baja montaña. Los piedemontes (entre unos 250 y 500 msnm) marcan una ligera transición hacia la planicie aluvial de los llanos occidentales al sureste. Aquí los ejes fluviales desembocan en medio de terrazas pleistocenas y colinas miopliocenas, iniciando una dinámica hidráulica de meandros. Su salida a la planicie define el paisaje de llanos altos (altitud >100 msnm), discurriendo sobre previos abanicos de explayamiento, a los que incorporan nuevos sedimentos en formas de orillares.

A partir del inicio de los llanos bajos, de usual bajo los 100 msnm, la dinámica fluvial pasa a ser difluente y el paisaje es caracterizado por amplios

sectores de inundación (ciénagas y esteros), definiendo una condición de endorreísmo húmedo por muy baja pendiente, que es inferior al 1% (Rengel-Avilés 2000). La dinámica fluvial en la planicie aluvial ha sido caracterizada por riadas periódicas (avenidas de agua), fenómenos que afectan la estabilidad de los asentamientos humanos ribereños (Altez 2009). Al este del afloramiento de las Lomas del Baúl, entre las estribaciones bajas de la Serranía del Interior Central y los ejes del Apure y el Orinoco drena la subcuenca del Guárico-Guariquito, con evolución progresiva del paisaje: en el sector septentrional se muestra como una vasta llanura de erosión con afloramiento rocoso cenozoico, pero va cambiando a planicie aluvial de llano bajo a medida que se avanza hacia el sur por la subsidencia tectónica meridional, donde se ubican campos de dunas de origen pleistoceno y el Estero de Camaguán.

La comparación de los índices de patrón de referencia con los índices de las cuencas de los llanos meridionales y occidentales (Tabla 3), muestran una notable variación geográfica: las cuencas meridionales (Meta, Arauca, Uribante, Santo Domingo, Pagüey, Sarare, Canaguá, Masparro y Apure, en general) están en proceso de desarrollo, mientras la cuenca más septentrional y central del Guárico-Guariquito se estima iniciada bajo condiciones paleoclimáticas de selva tropical húmeda, pero ahora el clima actual en sus nacientes es de condición semiárida y de sabana tropical lluviosa. Las cuencas de los ríos Caparo, Portuguesa y Guanare se muestran bajo valores medios a mayores en sus índices, identificándolas como cuencas con ligera influencia paleoclimática.

3. Pequeñas cuencas de los llanos centrales y orientales (48.000 km²): predomina el clima tropical lluvioso de sabana. Caen directamente en dirección sur y son poco integradas al eje del Río Orinoco. En los Llanos Centrales están los ríos Manapire, Zuata, Mapire y Río Claro (nacen en la divisoria de aguas con la Cuenca del Unare, inferior a 150 msnm). En los Llanos Orientales están los ríos Cabrutica, Pao, Limo y Caris, que nacen en las mesas de Guanipa y del Tigre. Los caudales bajos de estos ríos responden a la poca superficie de extensión de sus cuencas, todas de planicie, y a la condición climática de sabana tropical a semiárida en sus nacientes (Tabla 3).
4. Cuencas de los llanos orientales hacia el Delta del Orinoco (19.200 km²): cambia desde Maturín con clima tropical de sabana, hasta el sector de las mesas, ahí con clima semiárido. Drenan en direc-

ción este desde los llanos de oriente hacia el Delta del Orinoco. Sus nacientes están al oeste en las mesas El Tigre, Morichal Largo y Pelona (altitud <500 msnm). Las mesas son el paisaje dominante en la región entre el tramo interior de la Cordillera Oriental y el Escudo de Guayana, representadas como amplios altiplanos bajos entallados por los ríos Tigre, Tiznados, Guarapiche y Zuata. Son formas delimitadas por farallones de varios metros de trazado rectilíneo por influencia tectónica (Zinck 1980). Su material litológico de arenisca cuarzosa y conglomerados ferruginosos fue depositado durante el Plioceno - Pleistoceno por el paleo-Orinoco en forma de abanicos aluviales; posteriormente, estos fueron afectados por realce, entalle fluvial y cementación pedogenética (González de Juana et al. 1980).

La comparación de los índices de patrón de referencia con los índices de las cuencas de los ríos Mapire y Guanipa los identifica bajo una ligera influencia paleoclimática. Las de los ríos Manapire, Zuata, Pao y Cabrutica muestran una mayor influencia paleoclimática. La cuenca del río Limón acaso tiene la mayor influencia paleoclimática en el país (Tabla 3), muy posiblemente generada bajo clima de selva tropical húmeda, muy diferente a los climas actuales de sabana tropical lluvioso y semiárido.

5. Delta del Orinoco (19.400 km²): en todo el delta predomina el clima tropical lluvioso de sabana. La salida al Océano Atlántico se realiza en una secuencia de caños entre Caño Mánamo al norte y Boca Grande del Orinoco al sur. No es una cuenca sino área bajo acumulación sedimentaria, una planicie cenagosa conformada por deposición fluvial y la acción de contracorriente de las mareas y la Corriente (marina) Ecuatorial del Norte, que arrastra sedimentos del Amazonas y del Esequibo. Inicialmente fue un gran golfo y luego se relleno en los últimos 125.000 años (Méndez-Baamonde 2007). El estuario de la Boca Grande es canal donde el río expulsa unos 400.000 m³/año en sedimentos hacia el Océano Atlántico (Marcucci 2000).

5. CONSIDERACIONES FINALES

La caracterización del relieve de Venezuela y del marco referencial de sus cuencas fluviales es una labor todavía en proceso. La acción de los ríos sobre el paisaje intertropical continúa. En el Escudo Guayanés es la variada resistencia a la erosión que ofrece el sustrato litológico junto con su marco estructural lo que sigue definiendo las diferencias fisiográficas,

como se puede apreciar en los marcados cambios morfológicos dentro del paisaje relevante de los tepuyes. Pero en las otras regiones y subregiones las variaciones fisiográficas tiene una causalidad más compleja, como se ha podido apreciar en la diversidad litológica de los cinturones montañosos cenozoicos y su tectónica activa, lo cual a su vez genera un marcado control estructural por fallas activas sobre los ejes fluviales discurrentes, más relevante que el que se da en otras áreas nacionales. En las planicies aluviales por otro lado, la diferenciación en llanos altos y bajos en las cuenca del Portuguesa y del Apure, y las variaciones morfológicas que se dan entre la llanura de erosión de Calabozo y el Estero de Camaguán, todo esto es producto de la subsidencia tectónica regional.

Los índices aplicados a las 48 cuencas distribuidas por regiones aportaron una aproximación explicativa sobre la evolución de las mismas. Es evidente que la transición del Pleistoceno al Holoceno, finalizando la última glaciación (inicio de los últimos 10.000 años AP), fueron de muy alta humedad, incluyendo voluminosas precipitaciones y altos volúmenes de caudal, muy superiores a los actuales, lo cual permitió la conformación de amplias cuencas en la parte central y septentrional del país, hoy día cuencas heredadas. En la región de los llanos occidentales y meridionales los valores actuales de caudal dependen más de la precipitación en sus nacientes de alta montaña que de su largo recorrido y extensión en la planicie aluvial, pero bajo un marco de estructura fluvial ya definido, sobre todo en sus cuencas heredadas. Su evaluación utilizando otras variables (variación de altura, precipitación estacional, grados de infiltración en suelo y subsuelo, entre otras) y a escala más local –y en lugares que dispongan de registros con menor variabilidad– podría aportar nuevos elementos explicativos del relieve sobre la dinámica fluvial. En todo caso, se debe aceptar que la distribución de las cuencas fluviales responde a la evolución del relieve continental, con sus variados factores litológicos y estructurales, así como por la acción de los diversos agentes erosivos en los últimos miles de años. El subsuelo condiciona a las acciones de la geología ambiental y la dinámica fluvial, aunque no las determina.

Como se expuso, las condiciones fisiográficas regionales que caracterizan la difluencia del Brazo Casiquiare o la actividad del Relámpago del Cataumbo, por ejemplo, son un factor adicional a otros, que como la dinámica sedimentaria en el primer caso y el movimiento de las masas atmosféricas en el segundo caso, tienen una mayor influencia en su desarrollo. Con todo esto, la identificación de cuencas y sobre todo microcuencas desarrolladas como heren-

cias de condiciones paleoclimáticas, es una parte muy importante del diagnóstico fluvial. Pues en la medida que son herencias, son las más propensas a sufrir reactivación en caso de aportes extraordinarios de humedad, donde la cuenca de acopio ya está previamente definida para captar volúmenes inesperados de precipitación, mayores a los actuales. Se sugiere la aplicación de los índices aquí expuestos en diagnósticos en escalas locales, sobre todo para prevención de desastres en cuencas de alta pendiente.

La dinámica hidrológica general actual se aprecia como índice en los caudales fluviales, donde los superiores a 10.000 m³/s sólo ocurren en la cuenca del Meta, luego los caudales superiores a 1.000 m³/s se reconocen en algunas cuencas de Guayana y en la del Apure, todos cuales responden a las altas precipitaciones en sus nacientes. Es muy factible que los comportamientos fluviales locales presenten notables diferencias aunque puedan mostrar similar caudal, porque son diferentes a la influencia de los factores de sus paisajes según la región. Así, en una torrentera o en un flujo de detritos de vertiente montañosa en la Cordillera de los Andes el factor más importante es la velocidad causada por la alta pendiente, mientras que en una riada en una planicie aluvial de los llanos bajos de Barinas, por ejemplo, su factor de caudal más importante es el volumen hídrico, lo que genera menor acción destructiva y una acumulación sedimentaria más amplia sobre el lecho fluvial.

Se debe profundizar investigaciones en el ámbito geomorfológico e hidrológico. Cada región tiene sus particularidades específicas a ser analizadas, y las expresiones fluviales presentan diferente comportamiento de acuerdo a la región y a sus paisajes: Guayana ofrece un ámbito de territorio con inmensas potencialidades mineras y gran estabilidad tectónica, pero se debe tener en consideración que ahí están también las principales reservas de agua dulce y de potencial hidroeléctrico del país, que deben ser manejadas de forma adecuada; específicamente considerando el actual proyecto de explotación del Arco Minero, el cual ocupa parte de las cuencas de los ríos Cuyuní, Caroní, Aro, Caura, Cuchivero y Ventuari. La opinión pública y grupos organizados nacional deben exigir una exhaustiva evaluación y monitoreo del impacto ambiental de la actividad minera sobre la región y sus políticas de prevención y corrección. Las Cordilleras Cenozoicas ofrecen diversidad climática para una amplia variedad de actividades económicas locales (turismo, artesanía y horticultura), siempre y cuando se ubiquen con claridad los sitios de mayor estabilidad en medio de su condición de activa sismicidad y acciones hidroclimáticas sorprendidas, además de un racional control de la contaminación

fluvial. Las planicies continentales y costeras, con su amplia variedad de formas generadas por deposición fluvial y marina, se aprecian como inmensas superficies de potencial agroindustrial y silvestre, donde las áreas de explotación se deben desarrollar bajo criterios técnicos adecuados y legales vigentes. Los vertidos industriales y urbanos (minería, fábricas, etc.) deben ser severamente vigilados en su composición, tratamiento y destino, principalmente los vertidos de hidrocarburos en las cuencas de Apure y Unare, así como en las pequeñas cuencas al eje del Orinoco y al Delta.

La prospección en las cuencas fluviales debe tender hacia la ubicación y definición de trazados en fallas activas y su influencia en la dinámica fluvial, la prevención de desastres tanto de origen sísmico como de acción hídrica, la determinación de áreas idóneas para el desarrollo urbano, industrial o turístico y donde la dinámica fluvial torrencial sea menos agresiva. Es de importancia la investigación y conservación de los humedales, aclarando la influencia de factores tectónicos y paleoclimáticos en su origen y en el de formas de relieve depositadas, así como la identificación más precisa de los factores que caracterizan el comportamiento hídrico en las cuencas, en especial la definición cronológica de los eventos geohistóricos, los cuales -siendo responsables de la disposición actual en las cuencas fluviales- pueden aportar nuevas ideas para el manejo regional de éstas.

6. REFERENCIAS

- Altez, R. 2007. Urbanismo, geomorfología y ocupación del espacio en el estado Vargas, Venezuela. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos.* 39: (229)1-12.
- Altez, R. 2009. El dragón de Tucupido. *El Desafío de la Historia.* 12(2): 50-54.
- Audemard, F. 1996. Contribución del Dr. Carlos Schubert Paetow (1938-1994) al conocimiento de la Neotectónica del Caribe: Visión crítica de un colega neotectonista. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos.* 21(2): 23-36.
- Briceno, K.; Sánchez, Y.; Uzcátegui, M. y González, L. 2007. Estudio de riesgos geológicos de la cuenca hidrográfica del río El Limón, estado Aragua, Venezuela. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos.* 39: (082)1-8.
- Dugarte, M. y Ferrer, C. 2007. La geomorfología y su potencial como herramienta prospectiva ante los desastres naturales: Caso de la tormenta de febrero 2005 en la cuenca del río Mocotíes. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos.* 39: (163)1-13.
- González de Juana, C. Iturralde de Arozena, J. M. y Picard-Cadillat, X. 1980. Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas. Tomos I y II. Ediciones Foninves. Caracas, Venezuela.
- Graf, C. 1969. Estratigrafía Cuaternaria del Noroeste de Venezuela. *Boletín de la Asociación Venezolana de Geología,*

- Minas y Petróleo*. 12(11): 393-416.
- Grande, S. Urbani, F. y Mendi, D. 2007. Presencia de un basamento grenvilliano de alto grado en Venezuela Noroccidental. Estudio en progreso. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos*. 39: (200)1-16.
- Guzman, J. y Fisher, W. 2006. Early and middle Miocene depositional history of the Maracaibo Basin, western Venezuela. *The American Association of Petroleum geologists Bulletin*. 90(4): 625-655.
- Hoorn, C., Guerrero, J., Sarmiento, G. y Lorente, M. 1995. Andean tectonics as a cause for changing drainage patterns in Miocene Northern South America. *Geology*. 23(3): 237-240.
- Kiser, G. D. 1992. Cuencas sedimentarias de Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*. 45: 7-27.
- Laffaille, J., Klarica, S., Alvarado, M.; Guerrero, M. y Laffaille, M. 2007. La reevaluación de los terremotos históricos de Venezuela como una propuesta interdisciplinaria. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos*. 39: (167)1-8.
- Marcucci, E. 2000. Características de los estuarios en Venezuela y manejo ecológico de sedimentos dragados. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*. 25(2): 5-22.
- MARNR. 2001. Mapa físico-político de la República Bolivariana de Venezuela. Escala 1:2.000.000. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar. Caracas, Venezuela.
- MARNR. 2006. Recursos hídricos de Venezuela. Ministerio del Ambiente. Fundambiente. Caracas, Venezuela.
- Marrero, L. 1978. Atlas geográfico y económico. Venezuela visualizada. Cultural Venezolana, S.A. Caracas, Venezuela.
- Méndez-Baamonde, J. 2007. Formación del delta del Orinoco durante las transgresiones y regresiones marinas en el Pleistoceno Tardío y Holoceno. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos*. 39: (120)1-6.
- Morales, M., Guerrero, O. y Ávila, O. 2007. Propuesta metodológica para el estudio geológico de movimientos de masa. Caso de estudio: movimientos de masa del sector "La González", municipio Sucre, estado Mérida. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos*. 39: (204)1-12.
- Navarro, Y., Díaz, J. Naveda, H. y Camacho, J. 2007. Cartografía geológica San Carlos del Zulia No. 5943. Memorias del IX Congreso Geológico Venezolano. *Geos*. 39: (042)1-12.
- Navidi, W. 2006. *Estadística para ingenieros*. Mc Graw-Hill Interamericana. México.
- Pestman, P. J. 1993. Influencia de cambios del nivel del mar en morfología y sedimentación fluvial. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*. 47: 39-54.
- Pindell, J. L. y Tabbutt, K. D. 1995. Mesozoic-Cenozoic Andean paleogeography and regional controls on hydrocarbons systems. Petroleum basins of South America. *American Association of Petroleum Geologist*. 62: 101-128.
- Pindell, J. L., Higgs, R. y Dewey, J. F. 1998. Cenozoic palinspastic reconstruction, paleogeographic evolution and hydrocarbon setting of the Northern margin of South America. Paleogeographic evolution and non-glacial eustasy, Northern South America. SEPM (Special Publication). *Society for Sedimentary Geology*. 58: 45-85.
- Potter, P. E. 1997. The Mesozoic and Cenozoic paleo-drainage of South America: a natural history. *Journal of South American Earth Sciences*. 10(5-6): 331-344.
- Pouyllau, M. 1985. *Geomorphologie du Venezuela. Carte. Escala 1: 4.000.000*. Centre d'Etudes de Géographie Tropicale. Bourdeaux, Francia.
- Rengel-Avilés, L. 1986. *Events of environmental geology in the Guanare piedmont*. International Geological Correlation Program (UNESCO), Project 201. Meeting.
- Rengel-Avilés, L. 1996. *Riberas del Orinoco (Ensayos sobre geografía humana)*. Editorial Venezolana, C.A. Mérida, Venezuela.
- Rengel-Avilés, L. 2000. Paisajes naturales del estado Portuguesa. En: Resúmenes. *II Congreso Forestal Venezolano*. Acarigua-Araure, Venezuela. 21 al 24 de noviembre.
- Rengel-Avilés, L. 2005. *Fundamentos de nomenclatura de las formas de relieve terrestre en paisajes nacionales*. Trabajo de Ascenso. Programa de Ciencias del Agro y del Mar. Vicerrectorado de Producción Agrícola. Universidad de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora. Guanare, Venezuela.
- Rengel-Avilés, L. 2007. Desastres en vertientes: aspectos conceptuales y parámetros En: *1ra. Cumbre Ecológica de la Sierra de Perijá*. Machiques (Edo. Zulia), Venezuela. 24 al 27 de mayo.
- Revet, S. 2009. Desastres, historia y sociedad en el Litoral Central. *El Desafío de la Historia*. 2(12): 72-79.
- Richards, K. 1982. *Rivers, form and process in alluvial channels*. Methuen and Co. Ltd. Londres.
- Roa, M. P. 1979. Estudio de los médanos de los llanos centrales de Venezuela: evidencias de un clima desértico. *Acta Biológica Venezolánica*. 10: 19-49.
- Rull, V. 2000. Holocene sea level rise in Venezuela: A preliminary curve. *Boletín de la Sociedad venezolana de Geólogos*. 25(2): 32-36.
- Santamaría, F., y Schubert, C. 1974. Geochemistry and geochronology of the Southern Caribbean-Northern Venezuela plate boundary. *Bulletin of the Geological Society of America*. 85: 1085-1098.
- Schargel, R. 2005. Geomorfología y suelos de los llanos venezolanos. (pp. 57-113). En: Hétier, J. M. y López-Falcón, R. (Eds.). *Tierras llaneras de Venezuela*. I.R.D. - CIDIAT - UNELLEZ. Mérida, Venezuela.
- Schubert, C. y Briceño, H. 1987. Origen de la topografía tepuyana. Una hipótesis. *Pantepui*. 2: 11-15.
- Schubert, C. y Vivas, L. 1993. *El cuaternario de la cordillera de Mérida. Andes Venezolanos*. Universidad de Los Andes - Fundación Polar. Mérida, Venezuela.
- Schubert, C. 1982. Cuencas de tracción en los Andes meridionales y en las montañas del Caribe, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 33: 389-395.
- Schubert, C. 1988. Climatic changes during the last glacial maximum in northern South America and the Caribbean: A review. *Intervención*. 13(3):128-137.
- Strahler, A. 1977. *Geografía física*. Ediciones Omega (3ra. Ed.). Barcelona, España.
- Suárez, C., Lara, S. González, L. Gil, R. y González, O. 1999. Estudio sedimentológico de las nebkhas de Mita-

- re, Costa Norcentral del estado Falcón, Venezuela. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Geólogos*. 24(2): 22-32.
- Tricart, J., y Millies-Lacroix, A. 1962. Les terrasses quaternaires des Andes Vénézuéliennes. *Bulletin de la Société Géologique de France*. 7(4): 201-219.
- Yánez, G. 1992. Aspectos geológicos - geomorfológicos de la frontera con Brasil, Territorio Federal Amazonas, Venezuela. *Boletín de la Sociedad venezolana de Geólogos*. 44: 3-14.
- Zinck, A. 1980. *Valles de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Serie El Hombre y su Ambiente. Cuadernos Lagoven.

Río Tuy, Barlovento. 2018

500 m



Guaviare, Atabapo y Orinoco, Amazonas. 2014

4000 m



Río Bravo, Catatumbo. 2013

500 m



Afluencias, confluencias y difluencias fluviales en Venezuela. Las escalas dan cuenta de la magnitud de los ríos. Imágenes modificadas de (1) CNES Airbus (2018) y (2 y 3) DigitalGlobe 2018 (<http://www.earth.google.com>).

Los ríos en riesgo en la costa oriental del Lago de Maracaibo

Margenny BARRIOS GÓMEZ^{1,2,4}, Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE^{1,4}
y Pedro RODRÍGUEZ BUENO^{1,3}

1. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.
Margenny.barrios@ucla.edu.ve; douglasrodriguez@ucla.edu.ve
2. Postgrado de Ecología. Laboratorio de Ecología Acuática. Centro de Ecología. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, IVIC, Altos de Pipe, estado Miranda, Venezuela
3. Postgrado en Ciencias Ambientales. Universidad de Yacambú. pedroarodriguezb@hotmail.com
4. Red Iberoamericana para la formulación y aplicación de protocolos de evaluación del estado ecológico, manejo y restauración de ríos (IBEPECOR)

El incremento de las actividades antrópicas en la costa oriental del Lago de Maracaibo (COLM), ha propiciado la destrucción de los ecosistemas fluviales. Esto se expresa en la pérdida del hábitat acuático y ribereño, su diversidad biológica y, por ende, en la pérdida de la oferta de servicios ecosistémicos para el desarrollo de la región. Se presenta una revisión sobre la situación ambiental de los principales ríos que integran la COLM, donde se incluyen las intervenciones pasadas y actuales, las características de los hábitats acuáticos y ribereños, así como también la diversidad faunística (insectos acuáticos y peces). Se analizaron los cambios en las coberturas del paisaje y uso de la tierra por medio de imágenes satelitales. Los ríos han sido sometidos durante muchos años a fuertes perturbaciones, entre ellas, la expansión de la frontera agropecuaria, el incremento de las actividades mineras (explotación petrolera y otros minerales no metálicos) e industriales, el dragado, represamiento y desviación de los cauces y el aumento de las conurbaciones. Estas perturbaciones han ocasionado un incremento en la sedimentación y colmatación de los cauces, así como la contaminación y eutrofización de las aguas, lo que se expresa en una pérdida de hábitats acuáticos y bosques ribereños, así como la simplificación de las comunidades de peces e insectos acuáticos. El estado de conservación promedio de los ríos de la COLM es crítico y se requiere de programas urgentes de manejo, sobre todo en las cuencas altas y medias con el fin de garantizar la conservación de los recursos hidrobiológicos de la región.

Palabras claves: extracción de hidrocarburos, frontera agropecuaria, fragmentación de hábitats, diversidad biológica, recursos hidrobiológicos.

1. INTRODUCCIÓN

En Venezuela una proporción elevada de los ríos se encuentran intervenidos como consecuencia del crecimiento desordenado y diversificación de las actividades antrópicas. Esta situación ha generado la transformación del paisaje natural de las cuencas (Rodríguez-Olarte 2017). Esto se evidencia en la fragmentación de los bosques, destrucción de los hábitats, disminución de la diversidad biológica y, por ende, en la pérdida de la integridad biótica y la disminución en la oferta de servicios ambientales (agua, alimento, recursos forestales, entre otros); sin embargo, es poca la información disponible sobre el estado actual de la mayoría de los ecosistemas fluviales en Venezuela. Los ríos con drenajes a la costa oriental del Lago de Maracaibo (COLM) no escapan de esta situación, ya que las actividades características de la región, como la explotación minera (hidrocarburos y minerales no metálicos), la producción agropecuaria y las industrias, entre otros, han provocado la depauperación e incluso la desaparición de varios afluentes que drenan la región. La información disponible sobre el estatus de estos ríos es puntual y poco conocida (Colonnello y Lasso-Alcalá, 2011; Barrios et al. 2015a).

La pérdida de diversidad biológica y la situación de amenaza de numerosas especies vegetales y faunísticas, sobre todo las que están asociadas a los ecosistemas acuáticos, han sido motivo de preocupación en los ámbitos científicos, sociales y económicos a nivel mundial (Covich 2006). En la COLM, esta situación no es muy diferente, pues en el Libro Rojo de la Fauna venezolana se registran un poco más de veinte especies de peces en situación de riesgo producto del incremento de las perturbaciones antrópicas, la sobreexplotación de las poblaciones con fines de comerciales, y la destrucción de los hábitats acuáticos y bosques ribereños (Blanco-Libreros et al. 2015, Rodríguez et al. 2015), esto sin contar las especies de aves, reptiles y mamíferos que se encuentran amenazados por las mismas causas.

La pérdida de la diversidad biológica no solo representa un riesgo para la integridad y funcionamiento de los ecosistemas, sino que también ocasiona el detrimento de las poblaciones humanas en las cuencas que hacen uso y dependen de los diversos servicios ambientales que estos ecosistemas ofrecen. Esto sugiere la necesidad de generar información adecuada que permita conocer el estatus de conservación de los ríos con drenaje a la COLM; así como también es necesario conocer la situación de las especies asociadas con el fin de garantizar un manejo y conservación de los recursos hidrobiológicos continentales.

2. MÉTODOS

En este capítulo se realizó un compendio de datos propios y de colecciones científicas (Colección Regional de Peces, Museo de Ciencias Naturales, UCLA), literatura científica, informes técnicos y tesis de grado, sobre las características del hábitat fluvial y ribereño, sus biotas (peces y entomofauna acuática) y su estado de conservación; así como también de las principales fuentes de perturbación a nivel general y local en la COLM. Se estimaron los tipos de coberturas y el uso de la tierra por medio del uso de cartas topográficas pertenecientes a la Dirección Nacional de Cartografía (DNC 1975) e imágenes satelitales de los años 2000 y 2015 pertenecientes al satélite Landsat 7 y 8 con resolución espacial de 15 y 30 m por pixel (USGS 2015), las cuales fueron procesadas mediante el programa gvSIG versión 2.1 (gvSIG Association 2014).

Se utilizaron técnicas de interpretación visual de las imágenes satelitales siguiendo la metodología presentada por Molina y Albarrán (2013) con el fin de definir los tipos de cobertura y usos de la tierra, entre ellas: área de cuenca, bosques, ecosistemas loticos, ecosistemas lenticos (embalses), matorrales, herbazales, extensiones agropecuarias, urbanas, actividades industriales, mineras (no metálicas: gravas), actividades petroleras (extracción y procesamiento). Con la ayuda de Carnegie Landsat Analysis Systemlite (CLASlite-Team, 2013), se determinaron las variaciones temporales de las coberturas vegetales fotosintéticamente activas en los años 2000 y 2015. CLASlite utiliza un análisis de mezcla espectral para detectar los cambios mínimos en la cobertura boscosa (cambios $< 1\%$ de los pixeles de las imágenes Landsat o cerca de 10 m^2). Este proceso permite distinguir a escalas de alta resolución las perturbaciones en comparación con el uso de métodos tradicionales de sensores remotos (CLASlite-Team. 2013).

3. LA COSTA ORIENTAL DEL LAGO DE MARACAIBO

3.1. Geomorfología y relieve

La mayor parte de los drenajes que conforman la COLM pertenecen al estado Zulia, ubicado al noroccidente de Venezuela (Figura 1). Estos drenajes se ubican dentro de una gran depresión de llanuras sedimentarias de origen cuaternario rodeadas al este por las estribaciones occidentales de la serranía de Jirajara, Ziruma o Empalado (Cordillera de Los Andes), con elevación de 1.990 msnm (Cerro El Cerrón), mientras que al noroeste las tierras descienden en una llanura fluvio-marina circunvalada por las estribaciones de la serranía de Falcón a la par

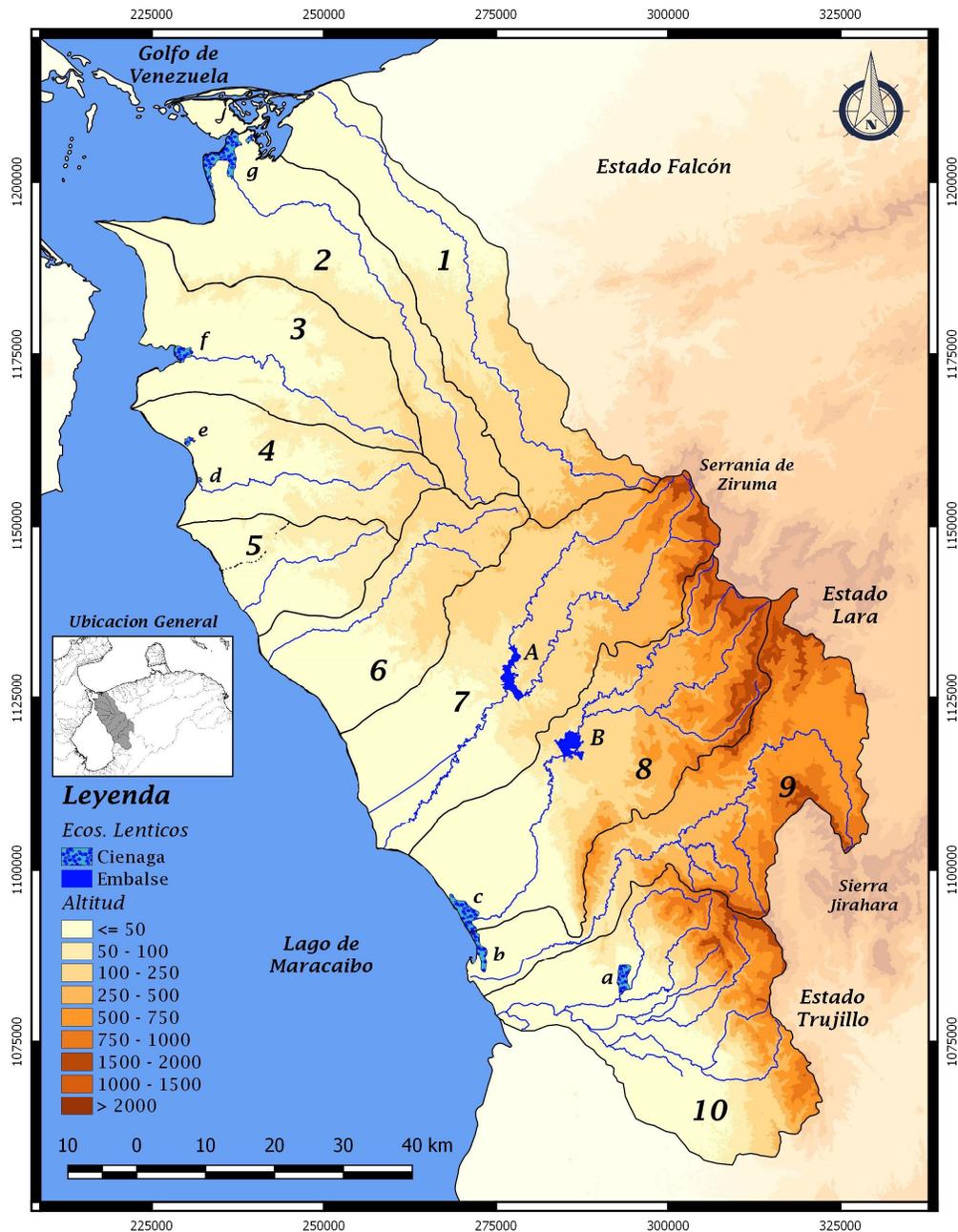


Figura 1. Costa oriental del lago de Maracaibo. Cuencas: 1 Cocuiza, 2 Palmar, 3 Aurare, 4 Mene, 5 Ulé, 6 Tamare, 7 Pueblo Viejo, 8 Machango, 9 Misoa, 10 Motatán de Los Negros. Humedales: a. Ciénaga de San Pedro, b. Ciénaga El Ancón, c. Ciénaga El Coquito, d. Ciénaga El Mene, e. Ciénaga La Telefónica, f. Ciénaga Las Palmitas y g. Ciénaga de Los Olivitos. A Embalse Pueblo Viejo, B Embalse Machango.

que todo el eje oeste es bordeado por el Lago de Maracaibo (COPLANARH 1974; Strauss et al. 2000) La formación de los suelos es producto del clima particular de la zona y de las características topográficas, donde se puede encontrar una gran variedad de materiales litológicos texturales y perfiles muy meteorizados, con excepción de los aluviones recientes (OEA 1975). En el caso de las llanuras

costeras al norte, el relieve está constituido por valles fluvio-marinos de los ríos Tamare, Palmar y Cocuiza. La topografía es irregular y varía desde zonas con planicies seguidas de terrenos ondulados en el piedemonte hasta accidentada en las partes más altas, de manera que se presenta un gradiente de condiciones que va desde áreas cenagosas y zonas planas hasta el relieve montañoso (Strauss et al. 2000).

3.2. Hidrografía en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo

Los patrones de drenaje de la COLM están conformados por cauces de tipo dendrítico en el piedemonte y algunos ríos con patrones anastomosados o difusos en sectores de las planicies (MARNR 1986). Las cuencas que conforman la COLM, de norte a sur, son: Cocuiza, Palmar, Aurare, Mene, Ulé, Tamare, Pueblo Viejo, Machango, Misoa y Motatán de los Negros (Figura 1). Debido a las condiciones de aridez y la alta evaporación (2.100 mm al año), sobre todo en zona más al norte de la COLM, estos ríos mantienen un régimen de caudal muy bajo o tienden a fragmentarse o secarse totalmente en el periodo de sequía. No obstante, los ríos tienden a aumentar sus caudales en el periodo de lluvias y solo algunos ríos, como el río Pueblo Viejo mantiene un pequeño caudal durante la temporada seca (OEA 1975, Espinoza 1987). De manera general en toda la cuenca del Lago de Maracaibo, los ríos suelen transportar una elevada cantidad de sedimentos en sus aguas, debido a la intensificación en la deforestación en las cabeceras de los ríos (Segnini y Chacón 2017). Esta situación conlleva a un proceso continuo de relleno en las desembocaduras al lago y el escaso declive de las planicies da lugar a la formación de ciénagas y lagunas (Strauss et al. 2000). A continuación, se realiza una breve descripción de las principales características hidrológicas y ambientales de los ríos de la COLM:

3.2.1. Río Cocuiza (Cuenca: 939,69 km². Longitud del cauce: 106,19 km): Este río representa el límite septentrional entre el estado Zulia y Falcón. Sus nacientes se encuentran en las montañas de Santa Elena de la Serranía de Ziruma, vertiente occidental del Cerro Socopo, y desemboca en la Bahía El Tablazo, luego de verter sus aguas en la Ciénaga Los Olivitos (Espinoza 1987). En la parte alta se encuentra la zona protectora de los ríos Maticora (cuenca del golfo de Venezuela) y Cocuiza (Decreto N° 105, publicado en la Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 1665, 1974), la cual abarca una superficie de 206.354 ha (Strauss et al. 2000). Debido a la alta degradación de los ríos y disminución del caudal, esta zona fue decretada como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) con el propósito de proteger las fuentes hidrológicas que surten a las poblaciones aledañas.

La ciénaga de Los Olivitos (Figura 1), en el Municipio Miranda, fue decretada como Refugio de Fauna Silvestre (Decreto N° 1.363, Gaceta Oficial N° 3.934, 1986; Strauss et al. 2000) y en 1991, su superficie se extendió hacia el sur con el fin de incluir la Reserva

de Pesca. Esta área protegida fue nombrada como un sitio RAMSAR N° 859 en 1996 debido a que cubre un área protectora de aproximadamente 26.000 ha que consisten en una mezcla de ecosistemas de aguas marinas del Golfo de Venezuela, aguas estuarinas de la Bahía El Tablazo, aguas hipersalinas y aguas dulces que llegan de forma intermitente de los ríos Cocuiza y Palmar. Su extenso manglar (comprendido por *Rhizophora mangle*, *Avicennia nitida*, *Conocarpus erectus* y *Laguncularia racemosa*), es de importancia para varias especies, ya sea como hábitat para el desove y cría de peces y crustáceos de interés comercial, así como también para refugio de 75 especies de aves, de las cuales 35 son migratorias. Entre ellas cabe destacar el flamenco *Phoenicopterus ruber* debido a que utiliza este humedal como sitio de anidación. También es el hábitat de otros vertebrados que se encuentran en situación de riesgo, como es el caso del manatí (*Trichechus manatus*), el caimán de la costa (*Crocodylus acutus*) y las tortugas marinas (Ramsar Information Sheets (RISs) 1996). No obstante, este refugio está sometido a las variadas perturbaciones antrópicas, en donde la cacería, la extracción de sal, las camaronerías, la pesca y la deforestación han ocasionado la pérdida de los manglares y con ello, la disminución de la fauna silvestre y acuática. Aunado a esto, la ciénaga también se encuentra sometida a los contaminantes residuales de las actividades mineras e industriales, en este caso por el Complejo Petroquímico El Tablazo (Strauss et al. 2000, Casler y Castellano 2008), el cual compromete la integridad de este ecosistema complejo y frágil.

3.2.2. Río Palmar (Cuenca: 805,02 km². Longitud del cauce: 62 km): El cauce principal y la red de drenajes de este río dan lugar a la quebrada Guaranguaro, que presenta un régimen estacional (Espinoza 1987). Las planicies de explayamiento que recorren el río Palmar junto con el río Cocuiza, alimentan la ciénaga de Los Olivitos (Medina y Barboza 2006). Actualmente el río Palmar, al igual que el Cocuiza, se encuentran altamente intervenidos debido al crecimiento de las actividades antrópicas, donde grandes extensiones de terreno son destinadas a la ganadería, la industria (Complejo Petroquímico El Tablazo), las salineras y la explotación petrolera (Casler y Castellano 2008).

3.2.3. Ríos Aurare (Cuenca: 680,65 km². Longitud del cauce: 48,56 km) y **Mene u Olaya** (Cuenca: 530,31 km². Longitud del cauce: 44,95 km): Ambos ríos se originan en los alrededores del poblado El Consejo y desembocan en la ciénaga Las Palmitas y al norte de Cabimas, respectivamente (Espinoza

1987). Estos ríos además de estar fuertemente intervenidos, presentan cauces prácticamente secos y con corrientes de agua de forma intermitente, que en el caso del río Aurare, representa una perturbación importante al no surtir los humedales de la ciénaga Las Palmitas (Medina y Barboza 2006).

Por otra parte, el río Mene presenta un escurrimiento difuso en las laderas, lo que trae como consecuencia la formación de cárcavas, mientras que en las áreas con relieves más planos la concentración del escurrimiento da lugar a zonas anegadas, dando origen a la ciénaga La Tigra (Espinoza 1987, INE 2007). La ciénaga Las Palmitas e Isla Los Pájaros fueron declaradas como Reserva de Fauna Silvestre (Decreto N° 730 Gaceta Oficial República Bolivariana de Venezuela, 2000) y posee una superficie de 2.525,85 ha que abarcan un sistema de manglares costeros, áreas pantanosas, lagunas abiertas y humedales estuarinos que conforman un área de transición entre la zona de explayamiento del río Aurare y el Lago de Maracaibo (Vera et al. 2010). Esta ciénaga es de gran importancia ecológica por ser hábitat de numerosas especies de aves y peces, incluyendo especies de valor comercial (SVIDB 2016).

3.2.4. Río Ulé (Cuenca: 333,28 m². Longitud del cauce: 29,23 km): Las corrientes de esta subcuenca suelen ser poco caudalosas y solo son activas en periodos de lluvia. Antiguamente el área de la cuenca estaba rodeada por depresiones que eran sitios de antiguas lagunas, pero hoy en día estas han sido drenadas y rellenadas con fines urbanos. Aunado a esto, en el área de la subcuenca se han establecido amplios pastizales con fines ganaderos y sus bosques naturales han desaparecido totalmente. Además, la actividad petrolera es dominante en la zona y se desarrolla el complejo criogénico de Occidente el cual sule de gas al 90% de la población del occidente de Venezuela (Strauss et al. 2000).

3.2.5. Río Tamare (Cuenca: 572,98 km². Longitud del cauce: 57,01 km): Este río recorre el extremo suroriental de las llanuras costeras y se forma al sur del poblado El Consejo por la unión de las quebradas La Guacamaya, Las Negras, Picapica y otras más que se reúnen en las inmediaciones del caserío Palito Blanco, sitio a partir del cual recibe el nombre de río Tamare. Por su vertiente sur, el río recibe las aguas de la quebrada Chocolate y otras de menor extensión al igual que por la vertiente norte (Espinoza 1987). El área de la cuenca se encuentra altamente intervenida y la principal actividad está relacionada con la producción petrolera, las actividades agro-

pecuarias y numerosos centros poblados de importancia como Ciudad Ojeda, Lagunillas y Campo Lara (Strauss et al. 2000).

3.2.6. Río Pueblo Viejo (Cuenca: 1.294,04 km². Longitud del cauce: 128,06 km): Este río se ubica entre los municipios Valmore Rodríguez y Lagunillas, y su cauce está conformado principalmente por la unión de río Chiquito (39,05 km) y río Grande (36,4 km) los cuales se originan en las inmediaciones del Cerro Socopo (Serranía de Ziruma). En las zonas más elevadas se encuentran numerosos cauces que conforman las cabeceras de estos dos ríos: la quebrada La Resbalosa y el río Chiquito de las Pinas, cuyo punto de unión forman el río Chiquito. Este último recibe numerosos aportes de quebradas por su margen derecha en sus tramos medios y finales, mientras que por su margen izquierda, el aporte es mucho menor.

El río Grande recibe por su margen izquierda el aporte de doce quebradas que nacen en el límite de la cuenca, mientras que por su margen derecha recibe numerosas quebradas de menor desarrollo (OEA 1975; Espinoza 1987). Los ríos Chiquito y Grande alimentan el embalse de Pueblo Viejo o Burro Negro (1958) con una superficie de 1.000 ha y una capacidad de almacenamiento de 76 millones de metros cúbicos. Este embalse surte a una planta potabilizadora que abastece de agua potable a los municipios Santa Rita, Cabimas, Simón Bolívar y Lagunillas. La condición de este embalse es crítica debido a los intensos procesos erosivos y consecuentemente a la alta sedimentación producto de las extensas deforestaciones en la cuenca alta. A lo anterior se suman los problemas el mantenimiento inadecuado de la infraestructura, lo que ha comprometido el abastecimiento de agua para la región (López y Mengual 2006).

3.2.7. Río Machango (Cuenca: 1.126,81 km². Longitud del cauce: 109,84 km): Su nacimiento se ubica en el cerro Las Piñas de la Serranía de Ziruma y sigue su recorrido sinuoso por las llanuras de Sabana de Machango (Figura 2). Sus aguas surten la Ciénega El Coquito antes de desembocar al Lago de Maracaibo y abarca una amplia zona pantanosa del litoral lacustre (Espinoza 1987, Strauss et al. 2000). Desde sus nacientes y en todo su recorrido, el río recibe por su margen derecha numerosos afluentes de menor orden y de corta longitud. La mayoría de ellos presentan un régimen esporádico. Por el margen izquierdo, recibe las aguas de los ríos Chiquito, Blanco, Negro, y las quebradas El Caballo, Palo Negro, El Salto y Agua Negra (Espinoza 1987). La

cuenca se encuentra en una zona altamente intervenida, en donde la extracción petrolera representa la principal actividad económica. Adicionalmente, debido a que la zona tiene suelos bastante fértiles, la mayoría de los bosques han sido eliminados con fines de desarrollo agrícola y a menor escala, de actividad pecuaria (Strauss et al. 2000).

El embalse Machango (construido en el año 1988), es surtido con las aguas de este río y representa uno de los mayores reservorios de agua dulce en la COLM, con una capacidad de almacenamiento de 109,3 millones de metros cúbicos en 1.180 ha de superficie (López y Mengual 2006). Sin embargo, y al igual que el embalse Pueblo Viejo, su condición es crítica y las tasas de sedimentación en los últimos años se han incrementado. Dentro de la cuenca de este río, se encuentra la Zona Protectora de Cordillera de Los Andes y la cuenca alta y media del río Machango (Decreto N° 1.169, Gaceta Oficial N° 34.604, 1990), la cual cubre 113.000 ha de terreno. Esta zona protectora se erigió en un principio con el fin de conservar los afluentes que alberga; así como también, de garantizar la vida útil del embalse Machango y asegurar las principales fuentes de abastecimiento de agua para las ciudades ubicadas en la costa oriental del Lago de Maracaibo (INE 2011, Rodríguez, et al. 2010); no obstante, en la actualidad no existe ningún plan de manejo o de conservación de estas áreas.

3.2.8. Río Misoa (Cuenca: 964,80 km². Longitud del cauce: 128,22 km): El río Misoa se ubica en el municipio Baralt y drena las serranías de Ziruma y el Paují. Su planicie aluvial limita al norte con los aluviones del río Pueblo Viejo y al sur, con el área de transición cenagosa que se asocia con las planicies aluviales del río Motatán (Figura 2). Su cauce está constituido por numerosas quebradas y ríos, principalmente por el río Claro o Agua Linda, el río Sicare y sus afluentes, la quebrada El Pozón, El Caraca, Caño La Victoria, El Silencio, Los Araguatos, y El Totuche. Estos cursos de agua confluyen en las inmediaciones de la población de Palmarito para formar el río Misoa, el cual desemboca en el lago al norte de la ciudad de San Timoteo. Como eje colector principal, recibe por el norte las quebradas de El Solito, El Corito, El Anegado, San Rafael, Ucrania, El Cedro y Bolívar, que son en su mayoría drenajes intramontanos desde Palmarito hasta las cercanías de Mene Grande. Por el sur recibe las quebradas de La Laja, Río Dulce, Las Monas, Las Brisas, Riecito, La Lluviosa, Los Caobas y La Arenosa. Al igual al norte, estos cursos son mayormente intramontanos (Espinoza 1987). Al igual que los otros cuerpos de agua

mencionados anteriormente, el río Misoa drena zonas muy intervenidas donde predominan grandes extensiones de terreno ocupadas por las actividades agrícolas, pecuarias y petroleras; así como también por centros urbanos y caseríos (Strauss et al. 2000). No obstante, dentro la zona de la cuenca se encuentra la Zona Protectora del piedemonte norte de la cordillera Andina y serranía de Misoa (Decreto N° 105, Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 1655, 1974) con una superficie de 318.727 ha que abarca parte del sistema de Colinas Lara-Falcón. Esta zona protectora fue creada para proteger la cuenca alta del río Misoa y asegurar el recurso hídrico para los principales centros poblados de la COLM; sin embargo, las perturbaciones son extensas en la cuenca, así como en las otras cuencas dentro de las zonas protectoras.

3.2.9. Río Motatán de los Negros (Cuenca: 1098,07 km². Longitud del cauce: 61,14 km): Este río conforma la línea divisoria entre la costa oriental y la costa sur del Lago de Maracaibo. Sus aguas drenan las serranías de Ziruma y el Paují.

3.3. Clima y Vegetación en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo

El relieve accidentado que rodea las planicies del sistema hidrográfico del Lago de Maracaibo funciona como una barrera natural. Esta orografía y relieve reorienta el desplazamiento de los vientos alisios que mantienen una circulación ciclónica dentro del perímetro de toda la cuenca y son determinantes en el gradiente pluviométrico de la zona (Espinoza 1987).

El clima presenta características propias de las zonas de vida de bosque seco tropical, clima de sabana y bosque húmedo tropical, con escasa variación térmica anual (entre 27 y 28°C). El sector norte de la cuenca del Lago de Maracaibo se caracteriza por ser desde árido a semiárido, con solo dos meses de precipitación al año y con valores de precipitación media anual cercanos o menores a los 700 mm (Espinoza 1987). La zona media de la cuenca presenta un clima tropical subhúmedo con patrones de lluvias bimodales y con una precipitación media anual que varía entre 1.200 y 1.800 mm (COPLANARH 1974; Espinoza 1987; Pietrangeli et al. 2011).

Al norte de la costa oriental del lago las lluvias son poco frecuentes y escasas, mientras que los suelos arenosos y muy permeables crean las condiciones que favorecen el desarrollo de vegetación xerofítica y áreas de suelo desnudo, donde destacan formaciones vegetales de monte espinoso tropical y tropical y bosque muy seco tropical. No obstante, las zonas costeras se encuentran bordeadas por una es-



Figura 2. Algunos ríos en la costa oriental del Lago de Maracaibo. A) Río Chiquito (cuenca alta del río Machango), B) Quebrada El Venado (cuenca media del río Machango). C) río Sicare con cobertura de bosque y D) río Sicare altamente intervenido por actividades agropecuarias (Cuenca alta del río Misoa), E) cuenca media del río Misoa con alta intervención por actividades agropecuarias, F) desembocadura del río Misoa.

trecha franja de vegetación halófila, donde abundan los manglares, cocoteros y el uvero de playa, seguido de suelos pobres con poca cobertura donde predominan árboles de porte bajo (cujíes). En la zona media de la COLM y Mene Grande, el aumento gradual de las precipitaciones da como consecuencia una transición entre bosques secos y sabanas con bosques de galerías que bordean los ríos. Estos bosques secos se encuentran muy intervenidos por el

aumento de las actividades antrópicas. En las zonas más elevadas de la sierra de Ziruma existe una pequeña extensión de selvas higrófitas (o selvas nubladas) con bosque húmedo premontano y bosque muy húmedo montano bajo (Strauss et al. 2000).

3.4. Intervenciones históricas y recientes

Desde los comienzos del periodo precolombino, los ríos del Lago de Maracaibo han sido sometidos a

diversas presiones producto del crecimiento demográfico (Casler y Castellano 2008). En esta época, los asentamientos humanos estaban distribuidos principalmente en el eje costero del lago, donde imperaba la construcción de palafitos y las actividades económicas estaban relacionadas con las salineras y la pesca, mientras que en el interior de la cuenca, ya existían técnicas avanzadas en obras hidráulicas como embalses y canales artificiales de irrigación (MARNR 1986). Con la llegada de la época colonial (siglo XVI-XVIII), se incrementó las actividades de deforestación asociada con la expansión de la frontera agropecuaria y la extracción de derivados del petróleo se realizaba con fines comerciales (MARNR 1986, Medina y Barboza 2006, Casler y Castellano 2008). Posteriormente, en el siglo XIX hubo un incremento acelerado de la deforestación para la introducción de pastizales y ganado bovino; así como también, algunos cultivos como yuca, maíz y plátanos distribuidos en la serranía de Ziruma. Aunado a esto, surge la especialización de cultivos de caña de azúcar, café, algodón, maíz y tubérculos en el resto de la región. Para finales del siglo XIX, se realizó la primera exploración de los recursos carboníferos, depósitos de petróleo, betunes y otros hidrocarburos, donde se determinó el potencial petrolífero y carbonífero de la COLM, cuya explotación se concretó a principios del siglo XX (MARNR 1986).

Hoy en día las actividades petroleras han generado un gran impacto sobre las condiciones naturales de la zona debido a la intensidad en la extracción y el procesamiento del recurso; así como también por la gran extensión del área que abarca (Colonnello y Lasso-Alcalá 2011). Actualmente la COLM hay numerosas empresas, como la planta de fraccionamiento de gas licuado Ulé, el complejo petroquímico El Tablazo y empresas que prestan servicios portuarios para buques tanqueros (Tachack-García et al. 2010). No se disponen de evidencias sobre el control efectivo del impacto que ocasionan este tipo de actividades sobre el ecosistema acuático. La falta de mantenimiento de las instalaciones y el aumento en las emisiones de gases y efluentes contaminantes que van directo a los cuerpos de agua, contribuyen al deterioro de la cuenca y el lago.

Por otro lado, las tasas de deforestación han sido elevadas en la cuenca del Lago de Maracaibo en los últimos treinta años, sobre todo en las cuencas altas y medias de sus afluentes (Pietrangeli et al. 2011). La pérdida de la cobertura boscosa junto con los efectos eólicos y de precipitación, han ocasionado la erosión y la sedimentación de los cauces y consecuentemente la colmatación de los embalses. Según los registros

de Global Forest Watch (2002), la pérdida de bosques en el estado Zulia durante el periodo de 1982 a 1995 fue de 2.244.565 ha, lo que representó una pérdida neta de 172.658,9 ha por año (Casler y Castellano, 2008; Pietrangeli et al. 2011). Recientemente estas pérdidas superaron las 134.110 ha entre los años 2001 y 2014 (Global Forest Watch 2016). Según el Libro Rojo de Ecosistemas Terrestres de Venezuela (Rodríguez et al. 2010), en la COLM se registran los ambientes naturales más degradados del hidrosistema Lago de Maracaibo, donde los bosques ribereños son clasificados en la categoría de Eliminado (E) en algunos sectores, y en Peligro Crítico (CR) en las cuencas bajas (Tachack-García et al. 2010).

La geomorfología y calidad de las aguas de los ríos en sus planicies y desembocaduras, presentan una alta degradación debido al dragado o canalización de sus cauces durante más de 40 años. Las actividades de dragado y transporte sobre todo en áreas aledañas a las industrias petroleras, han promovido la remoción y suspensión de sedimentos finos con cargas negativas depositados en el fondo del cauce, como limo y arcilla. Estos sedimentos tienden a absorber los contaminantes (trazas de metales pesados y agrotóxicos) y a alterar las características físicoquímicas y biológicas del agua como la turbidez, el pH, la temperatura, la productividad primaria, entre otras (Colonnello y Lasso-Alcalá 2011, Landtaeta 2012). El dragado y transporte de sustancias contaminantes en los cauces han generado condiciones poco adecuadas para los organismos acuáticos. Esto puede expresarse en alteraciones en los patrones naturales de migración de peces, recolonización de las áreas afectadas por especies oportunistas con mayor tolerancia a las perturbaciones, disminución de la biomasa fitoplanctónica e interferencia en los procesos respiratorios de la biota acuática en general por efecto de la turbidez, disminución de los niveles de oxígeno e ingestión y acumulación de contaminantes como pesticidas y metales pesados en los tejidos de los organismos acuáticos.

La creciente necesidad de agua para el uso industrial, agropecuario y humano, conllevó a la realización de grandes obras hidráulicas con el fin de garantizar la extracción continua de este recurso. Actualmente en la COLM se encuentran activos los embalses de Pueblo Viejo o Burro Negro (río Pueblo Viejo) y Machango (río Machango), los cuales fueron construidos con el fin de extraer agua para el uso industrial, humano y agropecuario. La velocidad del crecimiento demográfico y la expansión de la frontera agrícola desde el año 1950 en zonas con elevaciones medias (Palmarito y El Venado) y plani-

cies (Bachaquero, Pueblo Nuevo, y San Timoteo), han contribuido de manera alarmante con la incorporación de efluentes urbanos, residuos de agrotóxicos y desechos sólidos en los cuerpos de agua dulce, y por último, a la acidificación y eutrofización de las aguas en el lago (Colonnello y Lasso-Alcalá, 2011). Estudios realizados a finales del siglo pasado señalan que el aumento de la contaminación de las aguas y la eutrofización de los ríos, embalses y el lago, son producto del enriquecimiento de nutrientes, principalmente por nitratos y fosfatos, los cuales son originados por fuentes puntuales, como la explotación agrícola y pecuaria, y no puntuales como las descargas de efluentes urbanos e industriales.

En los mayores ríos de la COLM, como Misoa, Machango y Pueblo Viejo, se han reportado valores de nitrógeno de 0,68; 1,55 y 1,64mg/l y fósforo de 1,48; 1,08 y 0,84mg/l, respectivamente; estos últimos superan entre 296 y 168 veces los límites de fósforo total establecidos para aguas no contaminadas, lo que favorece el desarrollo de macrófitas invasoras y con ello se promueve el proceso de eutrofización (Rivas et al. 2009). La alta concentración de metales pesados en las aguas, como cadmio, plomo y vanadio, son consecuencia del lavado y escorrentía que han promovido el arrastre de estos hacia los ríos y el lago. De manera similar, en zonas con mayor actividad minera, persisten otros metales pesados como el arsénico, cobre, mercurio, plata, y zinc que también han sido reportado en estos cuerpos de agua (Ávila et al. 2010). La carencia de plantas de tratamientos de las aguas servidas y el aumento acelerado de la frontera agropecuaria, el incremento de los asentamientos urbanos y las actividades mineras (sobre todo por la extracción de petróleo) e industriales, sugieren que los niveles de contaminación por nutrientes y metales pesados serán mucho mayores a futuro y es posible que los daños ambientales tengan consecuencias irreversibles.

3.5. Cambios en la cobertura y uso de la tierra

La interpretación visual de las imágenes satelitales de los años 2000 y 2015 (Figura 3) sugiere cambios importantes en algunas coberturas naturales. En general, las coberturas de bosques y matorrales tuvieron un descenso de un 18,5 y 5,97% de sus áreas respectivamente (representando un descenso de 230,59 y 193,77 km² para cada tipo de cobertura) en el transcurso de quince años, (Tabla 1), lo que estuvo relacionado con el incremento de las áreas destinadas a la acuicultura (aumento de 26,3% con respecto al área total de cada tipo de cobertura), urbanismo (23,21%), actividades relacionadas con la extracción de petróleo (2,44%), minería no metálica (17,75%) y

actividades agropecuarias (10,95%). La cuenca del río Pueblo Viejo tiene la mayor cobertura boscosa en comparación con las cuencas en COLM (43,47% del área boscosa), la cual tuvo una relación importante con la expansión de la frontera antrópica en cuanto a la agricultura y urbanismo, y registraron un aumento de un 25,95 y 18,57% respectivamente. Otras cuencas demostraron una pérdida importante de esas coberturas: como en la del río Palmar, donde la pérdida fue casi total (97% de pérdida del área boscosa estimada para el año 2015), seguido de las cuencas de los ríos Tamare (71,6%) y Mene (55,94%), Aurare (49,8%), mientras que en el río Ulé la cobertura boscosa fue nula. En los ríos Misoa, Machango y Motatán de los Negros, los matorrales se incrementaron en áreas que anteriormente estaban ocupadas por bosques.

La cobertura de actividades agropecuarias fue la más representativa en toda la cuenca (Tabla 1) y para el año 2015 llegó a ocupar más del 34,8% del área total de toda la COLM, siendo mayor en la cuenca de los ríos Ulé (aumento de 48,97%), Tamare (65,68%), Cocuiza (28,37%), Pueblo Viejo (25,95%), Mene (22,03%), Palmar (15,6%) y Aurare (1,83%), quienes tuvieron un mayor incremento de esta cobertura. Así mismo, la extensión de las conurbaciones se incrementó en el período evaluado, con un aumento de 23,21% para toda la COLM, siendo mayor en el río Tamare (incremento de 49% del área para el 2015). Las coberturas relacionadas con las actividades de extracción de petróleo e industrias petroquímicas, fueron bajas y dispersas para todas las cuencas.

La minería no petrolera, como la de gravas, solo tuvieron lugar en la cuenca de los ríos Misoa y Motatán de los Negros; donde el aumento de coberturas en conjunto para las dos cuencas fue 17,5% (0,41 km²) con respecto al período evaluado. La acuicultura relacionada principalmente con la pesquería de camarones, fue importante en las cuencas ubicadas en la zona más nororiental de la COLM, como son las cuencas de los ríos Cocuiza y Palmar (aumento de 55 y 20% respectivamente), donde llegó a ocupar 45,1 km² para el año 2015. A pesar de que durante el período transcurrido entre el año 2000 y 2015 las pérdidas en las coberturas naturales fueron importantes, no fueron tan elevadas con respecto a las cifras reportadas para años anteriores, pues las mayores pérdidas de bosques ocurrieron entre los años 1950 y 1960 con el desarrollo de las actividades agropecuarias, conurbaciones y la explotación petrolera (Portillo-Quintero et al. 2013). Por otro lado, estudios realizados con imágenes satelitales en el período 1985 y 2000, revelaron cambios importantes

Tabla 1. Cambios en las Coberturas naturales y uso de la tierra (en km²) en el año 2015 (primera columna) y % de pérdida o ganancia de área de la cobertura para 2015 (segunda columna) en las cuencas que forman cuenca de la costa oriental del lago de Maracaibo. BQ: Bosque; MT: Matorral, HB: Herbazal; SD: Suelo desnudo, EL: Ecosistemas lénticos (embalses y humedales), AP: Actividades agropecuarias; UB: urbanismo; IN: Áreas industriales; MNM: Áreas mineras no metálicas (arenas y extracción de granzón), EPR: Extracción de petróleo y refinerías (Petroleo) y AC: Acuicultura. * Motatán de los Negros.

Cuencas	BQ		MT		HB		SD		EL		AP	
	km ²	%										
Cocuiza	2,8	2.1	391,6	-16.0	10,8	-28.3	110,1	-6.1	44,9	0	363,6	28.4
Palmar	1.3	-97.1	165.2	-10.9	1.3	-88.0	83.9	0	17.6	0	491.8	15.6
Aurare	15.1	-49.8	0	0	0	0	0	0	4.3	0	590.5	1.8
Mene	4.9	-55.9	109.8	-34.8	4.3	-31.2	0.6	-73.7	1.7	31.1	363.5	22.1
Ulé	0.0	0.0	86.9	-26.7	0	0	1.6	-79.3	0	0	121.1	48.9
Tamare	12.2	-71.6	226.9	-15.4	5.5	-74.7	0	0	0.2	0	171.2	65.7
Pueblo Viejo	476.4	-14.9	324.1	2.3	13.8	-16.3	0	0	11.9	0	359.8	25.9
Machango	141.9	-1.6	584.5	2.1	46.8	127.6	0	0	15.9	-21.7	240.7	-18.5
Misoa	186.8	-10.4	600.2	-1.9	58.2	153.8	0	0	0	0	104.3	-4.1
Motatán *	176.3	-13.5	405.9	9.4	47.3	56.3	0	0	5.8	0	416.5	-6.2

Cuencas	UB		IN		MNM		AP		AC	
	km ²	%	km ²	%						
Cocuiza	5.4	54.2	0	0	0	0	0	0	10.5	54.9
Palmar	9.3	10.9	0	0	0	0	0	0	34.6	19.5
Aurare	61.5	6.1	9.3	0	0	0	0	0	0	0
Mene	40.8	20.9	0	0	0	0	4.7	-49.9	0	0
Ulé	37.4	9.7	6.4	0.9	0	0	79.9	3.2	0	0
Tamare	66.8	48.9	6.8	-1.5	0	0	83.3	7.2	0	0
Pueblo Viejo	9.6	18.6	0	0	0	0	98.5	3.7	0	0
Machango	17.1	85.6	15.3	0	0	0	64.7	1.8	0	0
Misoa	11.0	16.3	0.6	0	1.9	27.2	1.87	26.9	0	0
Motatán *	22.3	18.2	1.1	0	0.9	1.2	21.9	0	0	0

en las coberturas boscosas con una tasa de deforestación promedio de 0,56 % anual para toda la cuenca del Lago de Maracaibo. En la cuenca oriental hubo una tasa de deforestación intermedia y alta (aproximadamente 2,5 %/año), sobre todo en las zonas limítrofes entre la COLM y el río Motatán (costa sur del Lago de Maracaibo) (Portillo-Quintero et al. 2013). Para el año 2015, los bosques se mostraron como parches dispersos y la desprotección de las cuencas por cobertura boscosa se asocia con la pérdida de cauces, aumento de los procesos erosivos, arrastre de sedimentos y por ende pérdida de integridad de los ríos. Se espera que con la continuidad de las deforestaciones y aumento de las actividades antrópicas, ocurran cambios importantes en todas las cuencas, como el aumento de la temperatura del agua por el aumento en la entrada de radiación solar en áreas de la cuenca que presentaban alta cobertura de sombra por bosques, la

disminución de los caudales de los ríos y por ende, pérdida de la diversidad biológica y servicios ecosistémicos.

3.6. Alteraciones sobre el hábitat fluvial y ribereño: casos de estudio

Caracterización fisicoquímica del agua. En los estudios de García et al. (2016) se señala que los ríos Machango y Misoa las aguas presentan una variación de los parámetros fisicoquímicos a lo largo de sus cauces, lo cual corresponde a las condiciones naturales que se presentan en el gradiente de elevación de la cuenca (Tabla 2). En la cuenca media y baja las aguas tienden a tener valores de pH ligeramente alcalinos (8,2-8,9), las temperaturas son elevadas (28,4-31,3°C), así como también la concentración de los sólidos disueltos (371-593,6 ppm) y la conductividad (622,7-1.610 $\mu\text{s}/\text{cm}$). Al contrario, en sectores de la cuenca alta o del piedemonte (>330 msnm), las

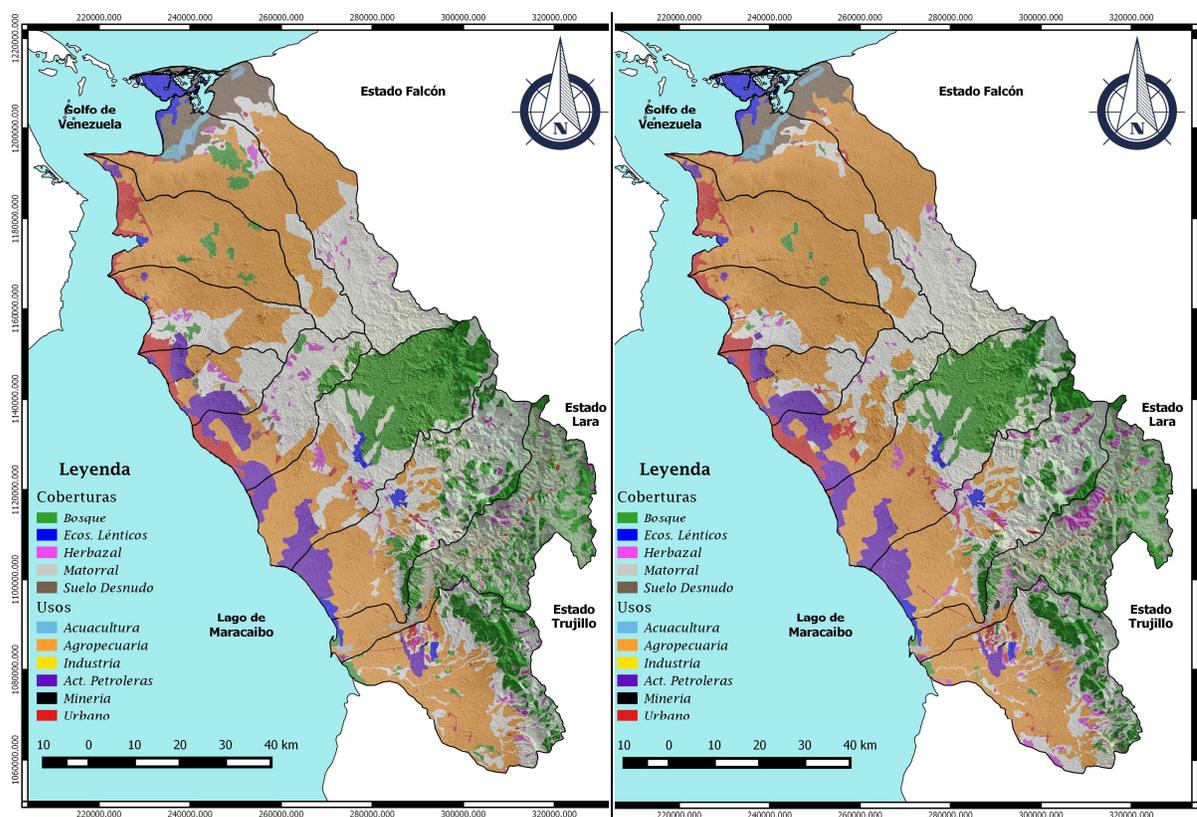


Figura 1. Coberturas del uso del suelo en la costa oriental del lago de Maracaibo. Se muestran los principales cambios temporales en los tipos de cobertura en los años 2000 (izquierda) y 2015 (derecha).

las aguas suelen tener valores de pH menores (6,9-7,16) y hay un descenso en los valores de temperatura (24,2-27 °C), en la cantidad de sólidos disueltos (52,4-130,5 ppm) y en la conductividad (101,2-300 $\mu\text{s}/\text{cm}$) (García et al. 2016). En las cuencas Machango y Misoa también existe un gradiente en las condiciones del hábitat acuático y ribereño (García et al. 2016). Este gradiente se manifiesta en la frecuencia de rápidos, remansos y pozos y en la composición de coberturas del sustrato del cauce, donde predominan condiciones homogéneas y sustratos de menor dimensión con acumulación de sedimento conforme disminuye la altura y aumenta la extensión de las actividades humanas, sobre todo la minería y los urbanismos. Así mismo, la sombra aportada por los bosques ribereños es mayor en zonas de la cuenca alta, aunque igual presenta una alta frecuencia de claros producto de la extracción local de madera por parte de las comunidades rurales (Barrios et al. 2015a, García et al. 2016). Sobre este gradiente de condiciones en el hábitat acuático y ribereño se pueden estimar el estado de conservación de los hábitats (García et al. 2016).

De usual, los hábitats homogéneos, como los descritos para las cuencas medias y bajas, son clasifi-

cados con un estado de conservación bajo o muy bajo, asociado mayormente al incremento de las actividades antrópicas ya descritas. Contrariamente, los ríos de la cuenca alta poseen un estado de conservación alto, descrito por las condiciones heterogéneas del hábitat. No obstante, esta última condición puede ser inestable en el tiempo, pues el incremento de las perturbaciones y los efectos del cambio climático pueden contribuir con la depauperación de los ecosistemas (Rodríguez-Olarte 2017). Se estima que las condiciones de hábitats homogéneos y perturbados sean una condición común en los demás ríos de la COLM, ya que se encuentran sometidos por actividades agropecuarias, urbanas y mineras.

4. Diversidad biológica acuática y ribereña

4.1. Entomofauna acuática: Sólo se dispone de información para las cuencas de los ríos Machango y Misoa (Barrios et al. 2015a), donde se registran hasta 47 familias, repartidas en doce órdenes. En estos grupos destacan Diptera, Coleoptera, Trichoptera y Ephemeroptera con más de cinco familias por orden, mientras que con muy baja representatividad figuran Lepidoptera, Plecoptera y Megaloptera con una sola

familia por orden. En cuanto al número de individuos por familias, las más abundantes en las dos cuencas (>5% abundancia relativa) son Chironomidae, Baetidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae, Hydropsychidae y Elmidae, mientras que Staphylinidae, Hebridae, Ephyridae, Dolichopodidae, Crambidae y Platystidae son las menos abundantes y se reporta su presencia en el río Misoa. Con mayor frecuencia, Chironomidae está presente a lo largo de las dos cuencas y su abundancia en todo el gradiente es elevada; sin embargo, es necesaria la identificación taxonómica a nivel de género debido a su distribución irregular en ambientes perturbados, y a las diferencias en los grados de tolerancia a las condiciones de enriquecimiento orgánico.

Otras familias también estuvieron reportadas a lo largo del gradiente en la cuenca del río Misoa y Machango, como Elmidae, Baetidae, Leptohiphidae, Leptophlebiidae e Hydropsychidae debido a que sus especies posiblemente también presentan un alto nivel de tolerancia a las perturbaciones. Por otro lado, Glossosomatidae, Odontoceridae, Hydroptilidae, Helicopsychidae y Coenagrionidae se encuentran reportadas solo en sectores más elevados y conservados de la cuenca de Misoa (> 330 msnm), lo cual pueda deberse a que la mayoría de ellos tienen selectividad a las condiciones del hábitat debido a la baja capacidad de adaptación y poca tolerancia para soportar altas perturbaciones.

La presencia de grupos sensibles a las perturbaciones (algunas familias de Ephemeroptera, Trichoptera y Plecoptera), los Simuliidae, entre otros, fueron documentados en sectores de la cuenca alta del río Misoa, donde la mayoría de los cauces tienen menor intervención y aún persisten cordones de bosques ribereños, los taludes son más protegidos y hay mayor heterogeneidad en los elementos del sustrato. Estas condiciones se expresan en una mayor riqueza y diversidad de especies así como también, de biotas más especializadas y complejas. En sectores de la cuenca media y baja la situación es diferente, ya que el predominio de las actividades agropecuarias, el incremento de la densidad de población (pueblos y caseríos) y la actividad minera, contribuyen de manera considerable a elevar los niveles de perturbación de los hábitats y, por ende, en generar biotas más simplificadas y tolerantes (Barrios et al. 2015a).

4.1. Ictiofauna: En los ríos de la COLM habitan cerca de 70 especies de peces, agrupadas en siete órdenes y 26 familias. Aún cuando en la cuenca del Lago de Maracaibo la riqueza y endemismo de peces es muy elevado, la COLM es menos representativa de la biodiversidad íctica de todo el hidrosistema y se

expresan por un gradiente latitudinal: los ríos al sur tienen una riqueza y endemismo mucho mayor que los ríos al norte (Rodríguez-Olarte et al 2009, 2011a). Los Characiformes agrupan unas 25 especies, principalmente con la familia Characidae (15 spp), mientras que en los Siluriformes (28 spp) destacan los Loricariidae (15 spp), así como los Heptapteridae y Pimelodidae. En las desembocaduras son comunes los taxa estuarinos y marinos y su número podría haberse incrementado por el dragado y la consecuente salinización del lago, que puede propiciar la dispersión de estas especies (Lasso-Alcalá et al. 2012). La pesca de subsistencia es habitual en los ríos de la COLM, en donde son usuales las especies *Astyanax* spp, *Hoplias teres*, *Hypostomus* spp, *Rhamdia guatemalensis*, *Pimelodus* spp y *Caquetaia kraussii*. No obstante, otras especies se pescan también con fines comerciales, como es el caso de *Prochilodus reticulatus*, *Potamorhina laticeps* y *Cynoscion aconpa*.

El pavón (*Cichla* spp) que tiene una distribución natural en la cuenca del río Orinoco, fue introducido en los embalses de Pueblo Viejo y Machango y actualmente se encuentran en las desembocaduras de algunos ríos del sur del lago donde es aprovechado comercialmente (Lasso et al. 2016). La raya de río *Potamotrygon yepexi* es consumida eventualmente como alimento pero también se reporta en el comercio de peces ornamentales (Lasso-Alcalá et al. 2014). Los métodos de pesca varían a lo largo de la cuenca donde es frecuente la pesca con arpones artesanales, cordel con anzuelo; así como mascararas de buceo de manufactura artesanal. Entre las especies introducidas se destaca el pavón del Orinoco *Cichla* spp en los embalses Burro Negro (Pueblo Viejo) y Machango (Pérez y Taphorn 2009), y la introducción de la tilapia *Oreochromis* sp. en el sistema del Lago de Maracaibo. A pesar de que ambas especies representan un recurso pesquero para la población, ya sea para la pesca deportiva o consumo local, la introducción de las mismas representa un problema ambiental debido a sus características biológicas. Por ejemplo, la tilapia además de comportarse como depredador, también posee adaptabilidad ecológica, etológica, alta eficiencia reproductiva, capacidad de hibridación y plasticidad fenotípica, las cuales le han permitido competir exitosamente con otras especies, hasta el punto de llegar a desplazarlas (Pérez et al. 1997).

Varias especies de peces en los ríos de la COLM que se encuentran amenazadas y registradas en el libro rojo de la fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015). En categoría de En Peligro, están el bocachico de Maracaibo *Prochilodus reticulatus* (Rodríguez-Olarte et al. 2015), la laucha del Chama y Mocoties *Trichomycterus enmanueli* (Péfaur y Ulloa 2015a), la laucha de

Tabla 2. Estados de conservación y variables fisicoquímicas del agua de las cuencas Machango y Misoa durante el periodo de sequía. Se presenta el promedio, valores mínimos y máximos de las variables durante el periodo de lluvias (Septiembre-Octubre 2012) y sequía (Noviembre 2012, Febrero y Marzo 2013) (Tomado de Barrios et al. 2015a). Se presenta la Altitud en metros sobre el nivel del mar (msnm), el estado de conservación según la aplicación de índices ambientales aplicados por García et al. (2016). Sólidos disueltos totales (TDS).

Localidades	Altitud (msnm)	Estado de conservación	Variables fisicoquímicas del agua			
			pH	TDS (ppm)	Conductividad (uS/cm)	Temperatura (°C)
Cuenca Machango						
Sipayare	162	Moderado	7,2	206	443	31
Río Chiquito	137	Bajo	7,2	169	340	26,1
Las Vegas	113	Bajo	6,9	146	308	28,4
Finca Las Rosas	130	Moderado	8,3	720,5	1460,5	28,1
Cuenca Misoa						
Sicare cuenca alta	624	Bueno	6,9	52,4	101,2	24,2
Sicare cuenca media	530	Moderado	7,1	101,4	208	26,3
Sicare cuenca baja	470	Bajo	8,3	593,6	1023	30
Río Dulce 1	420	Bueno	7,2	64	134	24,8
Río Dulce 2	330	Bueno	7,8	130,5	300	27
Misoa cuenca alta	324	Bajo	8,3	863,6	1610	31,8
Misoa cuenca media	120	Moderado	8,4	371,8	899,3	31,8
Misoa cuenca media	92	Moderado	7,9	299,6	766	30,7
Misoa cuenca media	100	Bajo	8,3	274,8	622,7	31,3
Misoa cuenca baja	40	Muy bajo	7,1	197	402	28,8
Misoa cuenca baja	6	Muy bajo	8,5	365	749	29,5
Misoa desembocadura	1	Muy bajo	8,8	382	794	39,4

Mérida *Trichomycterus meridae* (Péfaur y Ulloa, 2015b) y la laucha de Motatán *Trichomycterus motatanensis* (Péfaur 2015a); así como también, el bagre cinchado de los Andes *Cetopsorhamdia picklei* (Abarca-Medina y Péfaur 2015), la aguja de Maracaibo *Farlowella taphorni* (Taphorn y Rodríguez-Olarte 2015a) y la aguja de los Andes *Farlowella curtirostra* (Péfaur 2015b).

En la condición de Amenazado se encuentran la manamana *Potamorhina laticeps* (Barrios et al. 2015b), el bagre paletón del Lago de Maracaibo *Sorubim cuspidatus* (Campo 2015a) y el malarma *Platysilurus malarma* (Campo 2015b). Por otro lado, sobre la raya *Potamotrygon yepézi* no se dispone de datos sobre su estatus en Venezuela, pero en Colombia se encuentra catalogada como Vulnerable (Mojica et al. 2012). Al norte de la COLM el pez anual *Rachovia hummelinckei* es considerado en la categoría de Vulnerable (Taphorn y Rodríguez-Olarte 2015b). En la mayoría de los casos, la situación en riesgo de estas especies está asociada a la depauperación de los ecosistemas acuáticos, donde la deforestación, la disminución de los cauces, la contaminación y la explotación pesquera en las cuencas bajas, tienen un efecto perjudicial en la diversidad de la ictiofauna. La concentración de mercurio en los tejidos de los peces presenta un

problema serio desde el punto de vista ecológico y de salud en todo el sistema Lago de Maracaibo, ya que la detección de este elemento altamente tóxico, sugiere la perturbación de las poblaciones de peces y gremios tróficos, lo que afecta la salud de los consumidores humanos (Colina y Romero 1992). Es previsible que con el aumento de las perturbaciones aumente la fragmentación y pérdida del hábitat acuático y ribereño, y finalmente la extinción local de especies intolerantes.

5. Valoración general sobre el estado de conservación

Los ríos de la COLM se encuentran en riesgo, algunos se encuentran represados (ríos Pueblo Viejo, Machango), otros canalizados y varios de ellos han perdido gran parte de sus cauces y caudales (ríos Cocuiza, Palmar, Ulé, Aurare, Mene) y todos se encuentran sometidos a perturbaciones importantes producto del aumento de las actividades antrópicas. Esto sugiere que, de manera general, los ríos de la COLM presentan un estado de conservación bajo. Los ríos con caudales más o menos constantes durante todo el año (ej. Pueblo Viejo), se encuentran sometidos a perturbaciones intensas en su cuenca

alta y es previsible que con un manejo inadecuado de los recursos hidrobiológicos y los efectos del cambio climático, estos ríos lleguen a presentar también caudales intermitentes.

Es prioritario generar un plan de manejo para estos ríos, ya sea por su importancia como fuente de abastecimiento de agua a las ciudades y centros poblados aledaños, o desde el punto de vista de conservación de sus hábitats y sus biotas. Se requieren de programas urgentes de manejo, sobre todo en la cuenca media y alta que involucren la restauración y conservación de los bosques ribereños con el fin de garantizar una elevada cobertura vegetal y con ello, amortiguar el ingreso de sedimentos a los cauces, además de propiciar la diversificación de hábitat acuático con la incorporación de material alóctono y la conservación de la estructura tridimensional y heterogénea del sustrato.

La conservación de estos ríos y sus caudales también son prioritarios para mantener el funcionamiento de los humedales costeros, los cuales son de gran interés ya sea como proveedores de servicios ecosistémicos para las poblaciones locales por su efecto en la purificación de aguas residuales y protección de las costas, o por su papel ecológico en la conservación de especies de animales que habitan en estos ecosistemas. También es necesario crear tramos y áreas específicas para la conservación, donde exista una mínima intervención humana. Esto es posible aplicarlo en la cuenca alta de los ríos Pueblo Viejo y Machango, con el fin de conservar los caudales y disminuir el arrastre de sedimentos que comprometa más aún la vida útil de los embalses.

Es necesario realizar programas de educación ambiental dirigidos a los usuarios locales para propiciar la autogestión de los ríos, así como también se requiere del monitoreo continuo de las biotas y los componentes físico-químicos del agua con el fin de detectar el incremento de nutrientes y compuestos tóxicos que atente contra la integridad del hábitat y la biótica acuática y los seres humanos. Por último, se sugiere el uso de tecnologías como los sistemas de información geográficos (SIG) que permitan el análisis, monitoreo y vigilancia periódica de los cambios en las coberturas naturales, principalmente de las fronteras agropecuarias y las actividades mineras e industriales.

Agradecimientos

Este trabajo es resultado parcial de publicaciones e información generada en el proyecto de investigación PEI-FONACIT (201100582). Agradecemos al Museo de Ciencias Naturales (Colección Regional de

Peces) y el CDCHT-UCLA (proyectos 041-AG-2009 y 574-FAG-2012) de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Agradecemos las observaciones de José Vicente Montoya y los árbitros anónimos.

6. LITERATURA CITADA

- Abarca-Medina, M. y Péfaur, J. 2015. Bagre cinchado de los Andes. *Cetopsorhamdia picklei*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Ávila, H., Gutiérrez, E., Ledo, H., Araujo, M. y Sánquiz, M. 2010. Distribución de metales pesados en sedimentos en el Lago de Maracaibo (Venezuela). *Revista Técnica de Ingeniería Universidad del Zulia*. 33(2): 122-129.
- Barrios, M., Rodríguez-OlarTE, D., y García, E. 2015a. Índice de integridad de los ecosistemas fluviales con base a las comunidades de insectos acuáticos en el río Misoa, cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Entomotrópica*. 30(8): 69-83.
- Barrios, M., Rodríguez-OlarTE, D. y García, E. 2015b. Manamana. *Potamorhina laticeps*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Blanco-Libreros, J. F., Arroyave-Rincón, A., Giraldo, L. y Contreras, E. 2015. Servicios ecosistémicos, cambios globales y sostenibilidad dentro de las cuencas pericontinentales de Colombia. Capítulo 7 (pp. 189-227). En: Lasso, C. A., Blanco-Libreros, J. F. y Sánchez-Duarte, P. (Eds.) 2015. *XII. Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D.C., Colombia.
- Campo, M. 2015a. Bagre paletón del Lago de Maracaibo. *Sorubim cuspicaudus*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Campo, M. 2015b. Malarmo. *Platysilurus malarmo*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Casler, C. y Castellano, A. 2008. Preservando la fauna en el sistema del Lago de Maracaibo. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 42(2): 281-298.
- CLASliteTeam. 2013. *CLASlite Forest Monitoring Technology: Version 3.1 User Guide*. www.claslite.carnegiescience.edu. Carnegie Institution for Science, Washington, DC.
- Colina, M. y Romero, R. 1992. Mercury determination by cold vapour atomic absorption spectrometry in several biological indicators from Lake Maracaibo, Venezuela. *Analyst* (117): 645:647.
- Colonnello, G. y Lasso-Alcalá, O. 2011. Diagnóstico ambiental de la cuenca del Lago de Maracaibo, Vene-

- zuela (pp 63-80). En: Vanina, A., Fernández, L. y Buitrago, J. (Eds). *Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evaluación de ecosistemas degradados de Iberoamérica. "Desarrollo de metodologías, indicadores ambientales y programas para la evaluación ambiental integral y la restauración de ecosistemas degradados"*. RED CYTED 411RT0430.
- COPLANARH. 1974. Inventario Nacional de Tierras. Región del Lago de Maracaibo. Región 1. Sub-Regiones 1A, 1B, 1C. República de Venezuela. *Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos*. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro Nacional de Investigaciones.
- Covich, A. 2006. Protección de la biodiversidad del bentos para asegurar procesamiento de la materia orgánica y servicios del ecosistema: Importancia de los invertebrados fragmentadores en redes de drenaje. *Ecotrópicos*, 19(2): 109-127.
- Dirección Nacional de Cartografía (DCN). 1975. Cartas Topográficas de Venezuela. sigot.geoportalsb.gob.ve/abrae_web/cartografia/vistas/mapa_cien.php.
- Espinoza, A. 1987. *Sinopsis fisiográfica de la Región Zuliana*. Trabajo de Ascenso. Universidad del Zulia. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales, Escuela de Economía. Maracaibo.
- García, E., Barrios, M., Rodríguez-Olarte, D. y Marrero, C. 2016. Integración de Escalas, Gradientes Ambientales e Índices en la Evaluación del Estado de Conservación de los Ríos en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*. 41(5): 305-311.
- gvSIG Association. 2014. *gvSIG Desktop. A Geographic Information System (GIS) for desktop environments*. Versión 1.11. Versión electrónica accedida: 2012-09-25.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2007. *Informe geoambiental 2007. Estado Zulia*. Caracas: Venezuela.
- Instituto Nacional de Estadística (INE). 2011. *Informe geoambiental 2011. Estado Zulia*. Caracas: Venezuela.
- Landaeta, C. 2012. *Potenciales impactos ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado*. Ingeniería U.C. Órgano de divulgación científica y tecnológica de la facultad de ingeniería de la Universidad de Carabobo.
- Lasso, C., Lasso-Alcalá, O., Sánchez-Duarte, P., Ortiz-Arroyave, L. 2014. *Potamotrygon yepézi* Castex y Castello 1970. (pp: 267-273). En: Lasso, C., Rosa, R., Sánchez-Duarte, P., Morales-Betancourt, M. A. y Agudelo-Córdoba E. (Eds). *IX. Rayas de agua dulce (Potamotrygonidae) de Suramérica. Parte I. Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú, Brasil, Guyana, Surinam y Guayana Francesa: diversidad, bioecología, uso y conservación*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lasso-Alcalá, O., Andrade de Pasquier, G., Hoyos, C., Bottini, B., Hernández M. 2016. Sobre la introducción de los pavones, *Cichla orinocensis* y *C. temensis* (Perciformes, Cichlidae), en la cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Anartia*. 26(2014 "2016"): 31-50.
- López, A y Mengual, P. 2006. Analizar la evolución del fondo del embalse de Pueblo Viejo. Trabajo especial de grado para optar al título de ingeniero civil. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Edo. Zulia.
- MARNR. 1986. *Sistemas Ambientales Venezolanos. Región Zuliana. Estado Zulia*. Serie VII de estudios regionales. Documento N° 4, código VII-4, volumen I y II.
- Medina, E. y Barboza, F. 2006. Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: Distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotrópicos*. 19: 128-139.
- Molina G. y Albarrán A. 2013. Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Revista Colombiana de Geografía*. 22(1): 25-40.
- Mojica, J. I., J. S. Usma, R. Álvarez-León y C. A. Lasso (Eds.). 2012. *Libro rojo de peces dulceacuícolas de Colombia 2012*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, WWF Colombia y Universidad de Manizales. Bogotá, D. C., Colombia.
- OEA. 1975. *Consejo Zuliano De Planificación. Región Zuliana-República de Venezuela. Estudio para el aprovechamiento racional de los recursos naturales*. Washington, D.C.: USA. www.oas.org/usde/publications/Unit/oea28s/.
- Péfaur, J. 2015a. Laucha de Motatán. *Trichomycterus motatensis*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Péfaur, J. 2015b. Aguja de los Andes. *Farlonella curtirostra*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Péfaur, J. y Ulloa, A. 2015a. Laucha del Chama y Moco-ties. *Trichomycterus emanueli*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Péfaur, J. y Ulloa, A. 201b. Laucha de Mérida. *Trichomycterus meridae*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Pérez, A. y Taphorn, D. 2009. Patrones de distribución de los peces de la cueca del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Acta Apuroquia*. 1(1): 6-23.
- Pérez, J., Muñoz, C., Huaquin, L. y Nirchio, M. 1997. Riesgos de la introducción de tilapias (*Oreochromis* sp.) (Perciformes: Cichlidae) en ecosistemas acuáticos de Chile. *Revista Chilena de Historia Natural*. 77: 195-199.
- Pietrangeli, M., Villarreal, Á. y Gil, B. 2011. Florística de las comunidades forestales de las zonas aledañas al embalse Pueblo Viejo (Burro Negro), estado Zulia, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 45(3): 237-286.
- Portillo-Quintero, C. A., Sánchez, A. M., Valbuena, C. A., González, I., Larreal, J. T. 2013. Evaluación de patrones de deforestación en la cuenca del Lago de Maracaibo (1985-2010) mediante el uso de imágenes satelitales. En: Eutrofización del Lago de Maracaibo: pasado, presente y perspectivas. Primera edición. Rincón, J. E. y Boves, M.

- B. (Eds.). Editorial de la Universidad del Zulia (Ediluz). Maracaibo: Venezuela.
- Ramsar Information Sheets (RISs) 1996. www.rsis Ramsar.org/ris/859. Versión electrónica accedida 04-09-2017.
- Rivas, Z., Sánchez, J., Troncone, F., Márquez, R., Ledo de Medina, H., Colina, M. y Gutiérrez, E. 2009. Nitrógeno y fósforo totales de los ríos tributarios al sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Intervención*. 34(5): 308-314.
- Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F. y Giraldo Hernández, D. (Eds.). 2010. *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela. 324 pp.
- Rodríguez, J.P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. 2015. *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M. y García, E. 2015. Bocachico de Maracaibo. *Prochilodus reticulatus*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- Rodríguez-Olarte, D. (Editor). 2017. *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Strauss, E., Fuenmayor, W. y Romero, J. 2000. Atlas del Estado Zulia. Universidad del Zulia.
- SVIDB, *Sistema Venezolano de Información de Diversidad Biológica*. 2016. Ministerio del Poder Popular para el Ecosocialismo y Aguas. Áreas estratégicas para la Conservación. www.diversidadbiologica.minamb.gob.ve
- Tachack-García, M., Carrasquel, F., Zambrano-Martínez, S. 2010. Estado de amenaza de los ecosistemas al norte y sur del Lago de Maracaibo, Estado Zulia. (pp. 250-256). En: J. P. Rodríguez, F Rojas-Suarez y D. Giraldo (Eds.). *Libro Rojo de los Ecosistemas de Venezuela*. Provita, Caracas, Venezuela.
- Taphorn, D. y Rodríguez-Olarte, D. 2015. Aguja de Maracaibo. *Farlowella taphorni*. En: Rodríguez, J.P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas: Venezuela.
- USGS. 2015. Satellite Landsat. USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), Estados Unidos. <http://landsat.usgs.gov/>
- Vera, A., Villareal, Á., y Martínez, M. 2010. Composición florística de cuatro ambientes en la ciénaga de La Palmita, estado Zulia, Venezuela. *Acta Botánica Venezolana*. 33(1): 23-32.
- Segnini, S. y Chacón, M. 2017. El Chama: un río andino en riesgo. Capítulo 2 (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte,

Condición ecológica de los ecosistemas fluviales en la cuenca del Río Capaz, Sierra de la Culata, Andes de Venezuela

José Elí RINCÓN, Leyda MEJÍA y Heberto PRIETO

Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial, Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias, Bloque A-2, Apartado 4011. Universidad del Zulia, Maracaibo, estado Zulia. jerincon04@gmail.com; leydamejia06@gmail.com; hprieto@gmail.com

Las cuencas que irrigan la vertiente norte de la Sierra de la Culata en los Andes venezolanos han estado sometidas durante largo tiempo a diferentes formas y magnitudes de impactos antrópicos, provocando el deterioro progresivo de los ecosistemas fluviales e influenciando la zona litoral sur del Lago de Maracaibo sobre el cual vierten sus aguas. Estos ecosistemas no solo mantienen una gran cantidad de servicios ambientales para las poblaciones humanas, además representan un componente importante para el mantenimiento de la biodiversidad y de las funciones ecosistémicas. El estado de conservación así como el conocimiento estructural y funcional de los tributarios de esta extensa red fluvial son poco conocidos. En la cuenca del Río Capaz se caracterizaron segmentos de 27 tributarios distribuidos según su altitud desde los 50 hasta los 2.200 msnm. En estas localidades se recolectaron muestras de macroinvertebrados bentónicos y se determinaron variables hidromorfológicas del cauce y físico-químicas del agua. Se utilizaron índices bióticos (BMWP e IBF), hidromorfológicos (IHF) y de la calidad de la vegetación de ribera (QBR) para estimar el estado de conservación e integridad ecológica de las localidades estudiadas. Se emplearon métodos multivariados para explorar la influencia de las variables ambientales y de las variables biológicas dentro del gradiente altitudinal. El análisis multivariado de las variables ambientales resultó en la agrupación de las localidades de acuerdo al piso altitudinal al cual pertenecían e indicando gradientes determinados principalmente por variables indicadoras de la calidad físico-química e hidromorfológica del hábitat fluvial y de la cubierta de ribera (conductividad, oxígeno disuelto, IHF, QBR). Los índices BMWP e IBF clasificaron a la mayoría de las localidades estudiadas del piso Montano Alto y Montano Bajo con una intervención grave y calidad escasa, mientras que las del Piedemonte resultaron con intervenciones moderadas a mínimas y con una calidad media. El estado de conservación de la red hidrográfica de la cuenca del Río Capaz se presenta como un mosaico con áreas de elevada, moderada y baja intervención y degradación. Las actividades ganaderas han promovido gran parte de esta intervención, transformando la cobertura de vegetación natural en pastizales, alterando seriamente el hábitat fluvial y la integridad ecológica particularmente en zonas de elevaciones intermedias y altas.

Palabras Clave: Andes venezolanos, vegetación de ribera, índices bióticos, condición ecológica, hábitat fluvial

1. INTRODUCCIÓN

La región Andina de Venezuela representa un complejo mosaico de paisajes montañosos que incluyen de forma amplia a la Cordillera de Mérida, la Sierra de Perijá y el Macizo del Tamá. Distinto a lo que se pudiera suponer, la región muestra una gran heterogeneidad climática y geomorfológica que da lugar a muy diferentes unidades ecológicas (Ataroff y Sarmiento 2004). Esta elevada variabilidad ambiental es representada en el ramal norte de la Cordillera de Mérida y la Sierra de La Culata, donde una heterogeneidad geomorfológica y climatológica da lugar a diferentes pisos ecológicos y unidades de vegetación (Ataroff y Sarmiento 2004). La vertiente norte de la Sierra de la Culata es una extensa unidad hidrográfica cuyos cursos de aguas principales descargan en la porción litoral sur del Lago de Maracaibo. En la vertiente norte se localizan varias cuencas hidrográficas, donde destacan los ríos Motatán, Tucaní, Capaz y Mucujepe, todos con nacientes en el Parque Nacional Sierra de La Culata (MARNR 1991).

La Cordillera de Mérida está conformada por la Sierra Nevada y la Sierra de la Culata, separadas por una fosa tectónica configurada por el sistema de fallas Boconó (Cárdenas et al. 2000). A gran escala, los escurrimientos de la vertiente norte de la Serranía de la Culata tienen un gran significado bioecológico para el complejo hidrográfico de la cuenca del Lago de Maracaibo. A escalas menores, los sistemas hidrográficos de esta vertiente, mantienen una gran variedad de servicios ambientales para las poblaciones humanas asentadas en sus cuencas y además representan un componente importante para el mantenimiento de la biodiversidad y de las funciones ecosistémicas.

El estado de conservación así como el conocimiento estructural y funcional de los ecosistemas lóticos de esta extensa red fluvial aún permanecen poco conocidos y, en muchos casos, completamente desconocidos. Muchos de esos ríos han estado sometidos a diferentes grados de degradación ecológica desde hace varias décadas, fundamentalmente debido a distintas formas de uso de la tierra y aprovechamiento de los recursos hídricos, tal es el caso de las cuencas de los ríos: Frío, Playa Grande, Tucaní y Torondoy (Duque 1995, Aldana y Bosque 2008).

La cuenca hidrográfica del Río Capaz nace hacia la porción izquierda de la Sierra de la Culata y desemboca directamente en forma de abanicos fluviales al Lago de Maracaibo (Figura 1). La gran diversidad de unidades ecológicas en su trayecto,

desde las cumbres de la cordillera hasta el piedemonte andino-lacustre, hace de este sistema hidrográfico un excelente marco de referencia para el estudio de sus condiciones ecológicas. En esta cuenca más de la mitad de la superficie potencial de las selvas fue deforestada y transformada a áreas dedicadas al desarrollo de actividades agrícolas, encontrándose que cerca del 33% de la cuenca fue transformada de selvas a pastizales (Rodríguez et al. 2009). Esto también fue reportado para la cuenca cercana del Río Chama, donde la cobertura de bosques en la cuenca media ha sido disminuida cerca de un 50% y donde la agricultura, la deforestación, la extracción excesiva de agua, el uso de biocidas y el cambio climático son identificados como los factores de mayor impacto sobre los ríos de esta cuenca andina (Segnini y Chacón 2017).

Es muy probable que esta situación de deterioro ambiental sea similar en otras subcuencas de la vertiente norte de la Sierra de la Culata que forman parte de la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo. Uno de los sistemas hidrográficos que ha recibido mayor atención es la cuenca del Río Motatán, sobre todo debido a su importancia como fuente de abastecimiento de agua para la población del estado Trujillo. Los estudios han destacado el elevado grado de intervención antrópica de esta cuenca, que incluye una elevada deforestación y aportes de diversos contaminantes urbanos e industriales (Roa 2004, Pelayo y Soriano 2010, Goldstein et al. 2012). A pesar de la anterior situación y de los inminentes efectos negativos del cambio climático sobre los ecosistemas fluviales de esta región, aun no se conocen estudios previos que hayan abordado la problemática de los ecosistemas lóticos de esta importante cuenca de los Andes venezolanos y que tiene alta incidencia sobre parte de la zona sur del Lago de Maracaibo. La cuenca del Río Capaz tiene una importancia destacada, ya que dentro de ella se encuentran importantes recursos naturales como aguas, bosques, suelos y fauna que están protegidos por varias figuras jurídicas como son la de Zona Protectora de la cuenca Alta y Media del Río Capaz, la de Parque Nacional Sierra de La Culata y la Ley de Aguas (Duque 1995, Gaceta Oficial 2002, 2007).

En el presente capítulo se presenta una caracterización y valoración del estado de conservación y riesgos potenciales en el cual se encuentra la cuenca hidrográfica del Río Capaz; asimismo, se presentan algunos resultados de la condición ecológica de la cuenca. La caracterización se hizo

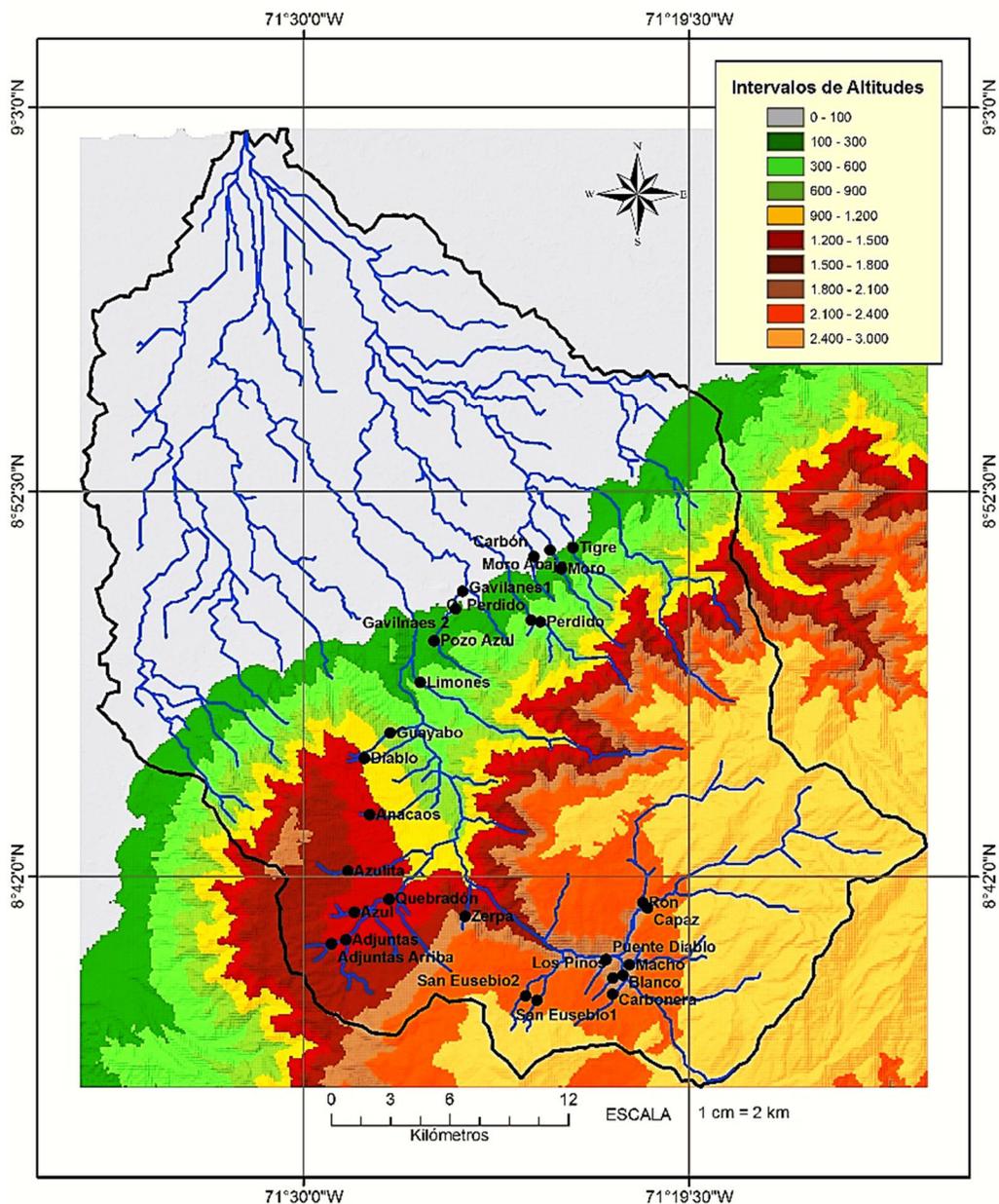


Figura 1. Cuenca del Río Capaz y localización de los sitios de muestreo en los diferentes tributarios a lo largo del gradiente altitudinal. La desembocadura del río al Lago de Maracaibo se ubica en la porción norte de la cuenca.

mediante la recopilación de diferentes fuentes de información bibliográfica disponible y mediante el análisis de la información obtenida sobre 29 localidades distribuidas en diferentes tributarios del gradiente alto-térmico (Figura 1) y evaluadas durante cuatro campañas de muestreo (diciembre 2012, abril 2013, julio 2013 y enero 2014). El análisis incluyó la composición de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos y la hidromorfología de los cauces, así como las principales características físicas y químicas del hábitat acuático.

2. ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca del Río Capaz se encuentra ubicada en el Estado Mérida, en los Andes de Venezuela, formando parte de los Municipios Campo Elías, Andrés Bello y Obispo Ramos de Lora (Feo, 1982; Duque, 1995). Está asentada en la Cordillera Nororiental de los Andes venezolanos, entre los 8°48'12" y 8°36'24" de latitud norte y entre los 71°27'12" y 71°13'38" de longitud oeste, en la vertiente norte de la Sierra de La Culata del estado Mérida (Figura 1) y cubre un área aproximada de 1.000 km². La Zona Protectora de la Cuenca Hidrográfica del Río Capaz fue declarada

como Área Bajo Régimen de Administración Especial (ABRAE) según decreto N° 175 publicado en gaceta oficial N° 34.219 de fecha 15 de mayo de 1989. Su importancia radica en el interés de proteger la segunda cuenca en producción de agua del estado Mérida, así como la variedad ecosistémica y diversidad biológica que esta zona posee. Esta cuenca produce gran cantidad de agua que satisface la demanda existente en los municipios asentados dentro de este territorio.

La cuenca del Río Capaz tiene como cauce principal el río del mismo nombre y es uno de los principales ríos del estado Mérida. Tiene su origen en el Páramo Los Conejos a los 4200 msnm, corre en una dirección paralela a la divisoria de aguas de ambas vertientes de la Sierra La Culata, pero debido a la presencia de trazas de fallas, origina la variación de su dirección (75°) a partir de la confluencia con la quebrada San Eusebio, donde toma una dirección noreste-suroeste, para formar parte de la cuenca hidrográfica del Lago de Maracaibo, desembocando en la zona sur de la bolsa del Lago. El río tiene un recorrido longitudinal de 41,3 km, al cual confluyen varios ríos y quebradas de régimen permanente y torrencial, los cuales tiene sus nacientes en los flancos montañosos de la cuenca. Entre los afluentes se encuentran los ríos Ron, Blanco y Negro que vierten primero al río Macho y el río Limones; entre las principales quebradas se encuentran Santa Lucia, Campanario, El Molino, Monte Frío, El Diablo, La Azulita, Seca, El Bao, Trigal, El Panfil, La Bajita, Lucateva, Monte Frío, Santa Ana, entre otras que descargan al Río Capaz directamente (Vivas 1970, Feo 1982, Osorio y Andrade 1984). Durante su recorrido existe un estrecho y profundo fondo de valle encajonado que da origen a la división de las vertientes, presentando un patrón de drenaje de tipo dendrítico característico de la litología presente, que es propensa a procesos erosivos. En la Figura 2 se muestran fotografías de varios tributarios que denotan parte de la gran diversidad de ambientes fluviales de esta cuenca. Las actividades económicas en la cuenca del Río Capaz son predominantemente agrícolas, destacando entre los cultivos el cacao por debajo de los 800 msnm de altitud, el café entre los 200 y 1700 msnm, pastizales para el desarrollo de la actividad ganadera en toda la extensión de la cuenca, pero en mayor proporción entre 800 hasta 3.000 msnm, y sobre los 3.000 msnm el páramo es utilizado para el pastoreo de ganado durante el período de sequía. Entre estas actividades, las dos más importantes son los cultivos de café y pastos para la actividad ganadera (Duque 1995, Rodríguez 2005). Es importante subrayar la pérdida constante de la vegetación original en las cuencas altas debido principalmente a la acción

antrópica asociada a la extracción ilegal de madera o la expansión de la frontera agrícola, lo que ha generado la disminución de los caudales de agua y la contaminación de las mismas (Corpoandes 2010, Aldana y Bosque 2008, Rodríguez et al. 2009).

3. MÉTODOS

Para la caracterización y análisis de la información se emplearon dos procedimientos. El primero consistió en una exhaustiva revisión documental mediante motores de búsquedas de internet (ej. Google Académico) y en informes técnicos y cartográficos, tesis de grado y artículos científicos depositados en instituciones regionales. Gran parte de esta información permitió la descripción geomorfológica, climática, geológica y diversos aspectos geográficos, estado de conservación, biodiversidad y datos socio-ambientales de la unidad territorial que conforma la cuenca del Río Capaz.

Un segundo procedimiento para el levantamiento de información ecológica consistió en el análisis de datos biológicos, físicos y químicos de diferentes tributarios del gradiente alto-térmico de la cuenca cedidos por el Laboratorio de Contaminación Acuática y Ecología Fluvial de la Universidad del Zulia (datos no publicados). La información limnológica utilizada proviene de cuatro campañas de muestreo (diciembre 2012, abril 2013, julio 2013 y enero 2014) y un total de 29 sitios de muestreo, que abarcaron el gradiente alto-térmico entre los 50 y los 2.200 msnm (Piedemonte, Montano Bajo y Montano Alto) de la cuenca del Río Capaz. Estos sitios incluyeron un amplio intervalo de condiciones ambientales y de esta forma incorporaron gran parte de la variabilidad ambiental presente en toda el área de estudio. Los sitios por encima de los 3.000 msnm (páramos) no fueron incluidos en el estudio.

En cada sitio se delimitó un tramo a lo largo del cauce de aproximadamente 90 metros para el muestreo de la fauna bentónica y la evaluación de las variables ambientales. En cada sitio se registraron las coordenadas geográficas y midió la altitud mediante un equipo de posicionamiento global (GPS). Entre las variables ambientales figuran: la temperatura, el oxígeno disuelto, la conductividad y el pH, los cuales se determinaron en el campo con sondas portátiles. También, en cada sitio se tomaron muestras de agua en envases de polietileno de un litro para determinar nutrientes (N-NO₃, N-NO₂, N-NH₄ y P-PO₄), alcalinidad, dureza total, calcio y sulfatos. Las muestras de agua fueron trasladadas bajo refrigeración al laboratorio y analizadas mediante los métodos estandarizados de la American Public Health Association (APHA, 1992).



Figura 2. A) Río Gavilanes (54 msnm), Piedemonte andino; B) Río Limones (260 msnm), Piedemonte; C) Quebrada Las Adjuntas 1 (1364 msnm), piso Montano Bajo; D) Quebrada Anacaos (1398), piso Montano Bajo; E) Quebrada El Quebradón (1265 msnm), piso Montano Bajo; F) Quebrada La Carbonera (2087 msnm), piso Montano Alto; G) Río Ron (2070 msnm), piso Montano Alto; H) Zona alta del Río Capaz (2054 msnm), piso Montano Alto. Fotografías de José E. Rincón.

Se obtuvieron medidas de la materia orgánica bentónica (MOB), materia orgánica transportada (MOT) y materia orgánica suspendida (MOS) utilizando los procedimientos descritos en Hauer y Lamberti (1996). En cuanto a las variables hidromorfológicas se registraron el ancho del cauce, la profundidad media del agua y la velocidad de la corriente.

La calidad del hábitat fluvial se evaluó a partir del índice de hábitat fluvial IHF (Pardo et al. 2002). Los valores del IHF por debajo de 40 indican serias limitaciones de calidad de hábitat para el desarrollo de una comunidad bentónica diversa, siendo el óptimo superior a 75 (Pardo et al. 2002). Así, las categorías de calidad de hábitat fluvial de acuerdo al valor del índice fueron: Óptima (IHF \geq 75), Buena (IHF=41-75) y Mala (\leq 40). La evaluación de la vegetación de ribera andina se realizó mediante una observación como máximo en 100 metros lineales del río. En dicho segmento se aplicó una adaptación del índice de calidad de vegetación de ribera, el QBR-And, adaptado a las condiciones andinas (Acosta et al. 2009), que en su forma más completa incluye cuatro apartados: 1) Grado de Cubierta de la Ribera, 2) Estructura de la Cubierta, 3) Calidad de la Cubierta y 4) Grado de Naturalidad del Canal Fluvial. El valor resultante de la sumatoria de los valores obtenidos en los apartados individuales es comparado con una tabla de calidad de la manera siguiente: a) \geq 95 puntos indican bosques de ribera sin alteraciones, en estado natural; b) entre 75 y 90 puntos indica un bosque de ribera ligeramente perturbado; c) entre 55 y 70 puntos indican inicio de alteración importante; d) 30-50 puntos indican alteración fuerte y e) valores \leq 25 puntos indican una degradación extrema del bosque de ribera. En cada sitio de muestreo se tomaron tres muestras integradas de las zonas de rápidos para coleccionar los macroinvertebrados bentónicos. Cada muestra estuvo conformada por cuatro submuestras que se tomaron en sentido aguas arriba con el uso de una red de Surber (0,1 m²) y una red de pateo tipo D, con un tamaño de poro de aproximadamente 300 μ m. Las muestras fueron preservadas en una solución de alcohol etílico al 80%. Una vez finalizada la extracción de macroinvertebrados en el campo se colocó el resto del material de la bandeja en bolsas plásticas con formalina al 10% y se trasladaron al laboratorio para una ulterior búsqueda bajo el estereoscopio. En el laboratorio se realizó la separación, clasificación e identificación de los macroinvertebrados. La identificación se realizó al nivel taxonómico más bajo posible (familia o género) con ayuda de claves especializadas.

Para la valoración de la calidad del agua mediante el uso de los macroinvertebrados bentónicos como

bioindicadores se aplicaron los índices BMWP-Chama (Segnini et al. 2009) y el índice biológico de familias de Hilsenhoff o IBF (Hilsenhoff 1988). Los límites de cada categoría de calidad del agua se obtuvieron en términos de valores absolutos de cada índice mediante la obtención del percentil 95% desde el valor del índice del sitio de referencia, o lo que es lo mismo, el sitio con el mayor valor del índice. A partir de este valor (percentil 95), se calcularon los intervalos de calidad subsiguientes: percentil 80, percentil 60 y percentil 30. Con estos percentiles se obtuvieron los intervalos de valores para asignar cualquier río a cada una de las siguientes categorías: calidad alta, intervención mínima (\geq 95%); calidad buena, intervención leve (80-95%); calidad media, intervención importante (60-80%); calidad escasa, intervención grave (30-60%) y calidad mala, intervención muy grave (\leq 30%).

Para clasificar y cuantificar los diferentes usos y cobertura de la tierra de las subcuencas de las localidades seleccionadas se utilizaron imágenes satelitales multispectrales SPOT5 (2009), LANDSAT5 (2001 y 2011), LANDSAT7 (2003) y LANDSAT8 (2014). Se utilizó el software ENVI 5.1 para realizar las clasificaciones de las imágenes. Se empleó el método de clasificación supervisada de máxima probabilidad (maximum likelihood) y la mayoría de los resultados fueron verificados en campo. Se utilizaron imágenes de 2001 y 2003 porque para las zonas no se contó con imágenes recientes de buena calidad, por lo que los resultados no recogen los cambios producidos en la última década. La resolución de las imágenes SPOT5 es de 10 metros y la de LANDSAT es 30 metros. Para la delimitación de subcuencas se utilizó un modelo digital de elevación del terreno con 30 metros de resolución (ASTER-GDEM) disponible en www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E. La delimitación de las subcuencas se realizó con el software ArcGIS 10.1 (ESRI), usando el módulo Hydrology dentro de "Spatial Analyst". Los procesos relacionados con la determinación de uso y cobertura de la tierra (UCT) y la determinación de los parámetros morfométricos de las subcuencas, se hicieron con el mismo software. Se definieron seis clases de UCT: bosque, pastizal, cultivo, urbano, páramo y nubes. Gran parte de la información obtenida fue analizada con ayuda de procedimientos estadísticos descriptivos y multivariados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Clima

En la cuenca se presenta una precipitación que va de moderada a baja, entre los 2.000 mm en su zona baja hasta 800 mm anuales para la zona alta. Las lluvias se presentan con un régimen bimodal, característico de

la cuenca del Lago de Maracaibo y de toda la región noroccidental del país, con dos máximos de precipitación al año entre los meses de abril-mayo y septiembre-octubre, y un período seco entre los meses de diciembre a marzo y un periodo seco más corto entre junio y julio (Figura 3A). Comparando los valores de precipitación con los de evapotranspiración se encuentra que en las estaciones meteorológicas de Capazones (115 msnm), La Azulita (1.000 msnm) y La Cuchilla (2.270 msnm), el balance hídrico es positivo a través del año, por lo cual el clima de la cuenca es clasificado como húmedo mesotérmico (Rivas y Delgado 1980). Este patrón de distribución de la precipitación lo define Vivas (1992) dentro del tipo climático "andino lacustre". La cercanía del área al Lago de Maracaibo, es determinante en la distribución espacial y temporal de la precipitación. Como consecuencia de esto, la precipitación disminuye en sentido norte-sur, determinando así una mayor precipitación en la planicie aluvial y piedemonte y menor en la zona de montaña, lo cual se debe a la diferencia de presión que se crea en la planicie aluvial en relación con el lago.

La distribución de la precipitación, también se ve afectada por el movimiento estacional del cinturón de convergencia intertropical y el efecto orográfico. El caudal responde a las variaciones estacionales de la precipitación siguiendo el mismo patrón de variación mensual con un ligero retraso con respecto a las precipitaciones (Figura 3B). Las variaciones de temperatura, como en toda la región andina, están condicionadas por el relieve, presentándose un gradiente alto-térmico de aproximadamente $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ por cada 100 m de altitud (MARNR 1991). Como resultado existen diferentes pisos climáticos. La temperatura media anual en la cuenca va desde los $25,5^{\circ}\text{C}$ a 200 metros de altitud hasta los $-0,6^{\circ}\text{C}$, para su zona más alta, a los 4.200 metros de altitud. En una estación cercana a la población de La Azulita la temperatura media anual registrada es 22°C y para la estación La Cuchilla es $14,9^{\circ}\text{C}$ (Delgado 1980).

4.2. Geomorfología y Geología

De acuerdo a Gutiérrez (1983) en la cuenca se presentan tres tipos de unidades geomorfológicas bien definidas: a) la llanura aluvial que va desde la ribera del Lago de Maracaibo, hasta los 80 msnm, aproximadamente. Esta unidad presenta una relativa horizontalidad y es dedicada preferentemente a las labores agropecuarias y ocasionalmente presenta problemas de inundación, b) la unidad de piedemonte, que va desde los 80 msnm hasta los 800 msnm, aproximadamente, y se caracteriza por un sistema de colinas terciarias, presentándose una vegetación muy

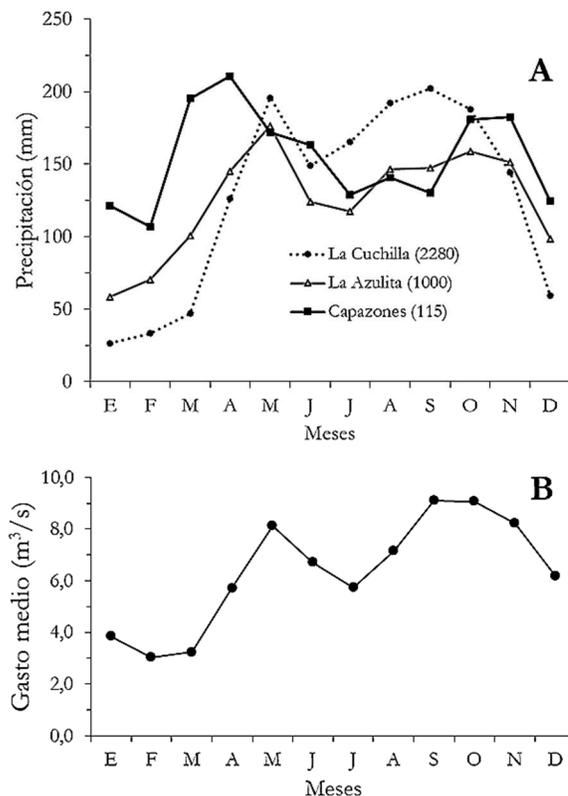


Figura 3. A) Patrón de distribución de la precipitación durante los meses del año obtenido a partir de promedios mensuales (1963-2005) en las estaciones La Cuchilla (2.280 msnm), La Azulita (1.000 msnm) y Capazones (115 msnm) de la cuenca del Río Capaz (Fuente INAMEH 2008). B) Variación mensual del gasto medio (m^3/s) medido en la estación Puente El Diablo (1939 msnm) en el cauce principal del Río Capaz. Los datos son promedios de datos mensuales tomados entre 1965 y 1977 (Fuente: INAMEH 2008).

abundante combinada con algunas actividades agrícolas ubicadas en los fondos de valle y en algunos depósitos cuaternarios y c) por último, la unidad de montaña comprendida entre los 800 msnm y los 4.000 msnm. Hacia la parte alta de esta unidad la vegetación se hace menos exuberante y las actividades agrícolas son más restringidas por las fuertes pendientes.

En cuanto a los aspectos geológicos se resaltan eventos orogénicos típicos de la cordillera de los Andes de Venezuela, donde en su mayoría las formaciones allí presentes son el resultado de las transgresiones y regresiones marinas del periodo cretácico que se produjeron como efecto tardío de la separación del gran continente de Pangea durante el jurásico (González 1980). Estos avances y retrocesos de las aguas marinas ocasionaron cambios en los ambientes y la modificación en la naturaleza de los

depósitos, generando la gran complejidad geológica existente. Como resultado se presentan varias formaciones ordenadas desde las más antiguas hasta las más recientes geológicamente hablando, son las formaciones Iglesias, Río Negro, Apón, Aguardiente, Capacho, La Luna, Colón, Mirador, Carbonera, León, Isnotú, Palmar y Betijoque. A partir del Cuaternario el territorio está constituido en su mayor parte por terrazas, coladas, conos y abanicos aluviales. El material que los conforma generalmente es mal estratificado y seleccionado. Todos estos depósitos están conformados por fragmentos de rocas de las formaciones que afloran en el curso de los ríos y/o torrentes, siendo bastante heterogénea su litología (granito, gneis, cuarcitas, esquistos, arenisca) (Rivas y Delgado 1980).

4.3. Vegetación y Fauna

En la cuenca del Río Capaz, así como en toda la Cordillera de Mérida, se diferencian varias unidades ecológicas, como consecuencia de la combinación del amplio gradiente altotérmico con una marcada variación de las precipitaciones. Cada unidad ecológica tiene asociada un tipo particular de vegetación, diferenciándose sobre la superficie de la cuenca del Río Capaz seis unidades de vegetación, predominantemente boscosas (Ataroff y Sarmiento 2004), las cuales son: selva húmeda tropical (SHT) entre los 0 y 200 m de elevación, selva húmeda submontana (SHM) entre los 200 y 800 m de altitud, selva semicaducifolia montana (SSM) localizada entre los 800 y los 1.700 metros de altitud, selva nublada montana baja (SNMB) entre los 1.700 y los 2.200 m, selva nublada montana alta (SNMA) ubicada entre los 2.200 y 3.000 m y páramo andino (PA) sobre los 3.000 metros de altitud (Ataroff y Sarmiento 2004, Rodríguez et al. 2009). Los sistemas fluviales se localizan en tres pisos del gradiente alto-térmico 1) Piso Piedemonte (50-300 msnm), donde predominan las unidades ecológicas selva húmeda tropical; 2) Piso Montano Bajo (700-1.600 msnm) caracterizado por vegetación selva semicaducifolia montana, y 3) Piso Montano Alto (1.700-2.200 msnm) con una cobertura del tipo selva nublada montana baja.

La cuenca del Río Capaz presenta distintos ecosistemas dispuestos a lo largo del gradiente de elevación, que va desde las cálidas selvas submontanas hasta los fríos páramos ya descritos. Todo ello ha favorecido el desarrollo de una gran riqueza faunística. Esto se evidencia de manera muy especial en lo que se refiere a la avifauna, pues la zona exhibe una de las mayores diversidades de aves (456 especies) para Venezuela (Rengifo et al. 2005). La familia Psittacidae (loros, pericos, cotorras y guacamayas), representan más del

40 % del total de especies de este grupo para el país (Rengifo et al. 2005). Sin embargo, muchas de estas aves son muy apreciadas como mascotas, convirtiéndose en un grupo con altos requerimientos de conservación. Los reptiles también están muy bien representados en la cuenca. Otro importante grupo con representación importante es el de los mamíferos. A pesar de ser éstos uno de los grupos zoológicos más importantes desde el punto de vista bioecológico y cultural, han tenido poca atención de estudio, por lo que el nivel de conocimiento disponible sobre muchas especies es básico o inexistente (Corpoandes 2010).

4.4. Características físicas y químicas del hábitat acuático

4.4.1. Caracterización físico-química de los tributarios estudiados: El análisis de componentes principales (ACP), realizado con los promedios de los datos obtenidos en las campañas de muestreo indica que la varianza explicada en los dos primeros ejes principales fue del 84,71% (71,52% en el eje 1 y 13,19% en el eje 2) (Figura 4). El primer eje de ordenación mostró un gradiente relacionado positivamente con la conductividad del agua ($r = 0,99$), mientras que el segundo eje se asoció positivamente al caudal ($r = 0,74$) y negativamente la materia orgánica suspendida (MOS) ($r = -0,82$). La Figura 4 muestra la ordenación de las diferentes localidades de muestreo básicamente de acuerdo al gradiente establecido por las variables correlacionadas con el eje 1 (fundamentalmente la conductividad del agua). Un grupo de localidades, en su mayoría pertenecientes al piso Montano Bajo (MB), se localizaron en el lado derecho del plano de ordenación, estas son caracterizadas por valores de conductividad medios a altos. Por el contrario, la mayoría de las localidades del piso altitudinal Montano Alto (MA) se localizó en el lado izquierdo del diagrama donde las localidades presentaron valores medios a bajos de conductividad del agua. Las localidades del piso Piedemonte (PM) fueron ordenadas muy cerca del centro del plano de ordenación; las mismas. Se caracterizan, de manera general, por presentar valores medios de conductividad. Con respecto al eje 2 se observó poca dispersión de los sitios de muestreo, con excepción de dos estaciones: las Quebradas Lucateva y Guerrero, pertenecientes al piso Montano Bajo, las cuales resultaron con una posición distinta al resto de las estaciones, ubicándose en el cuadrante superior izquierdo y caracterizándose por valores bajos y medios de caudal, altos y medios valores de materia orgánica suspendida y valores bajos y medios de conductividad.

En base a los resultados del ACP para las campañas de diciembre 2012, abril 2013 y julio 2013

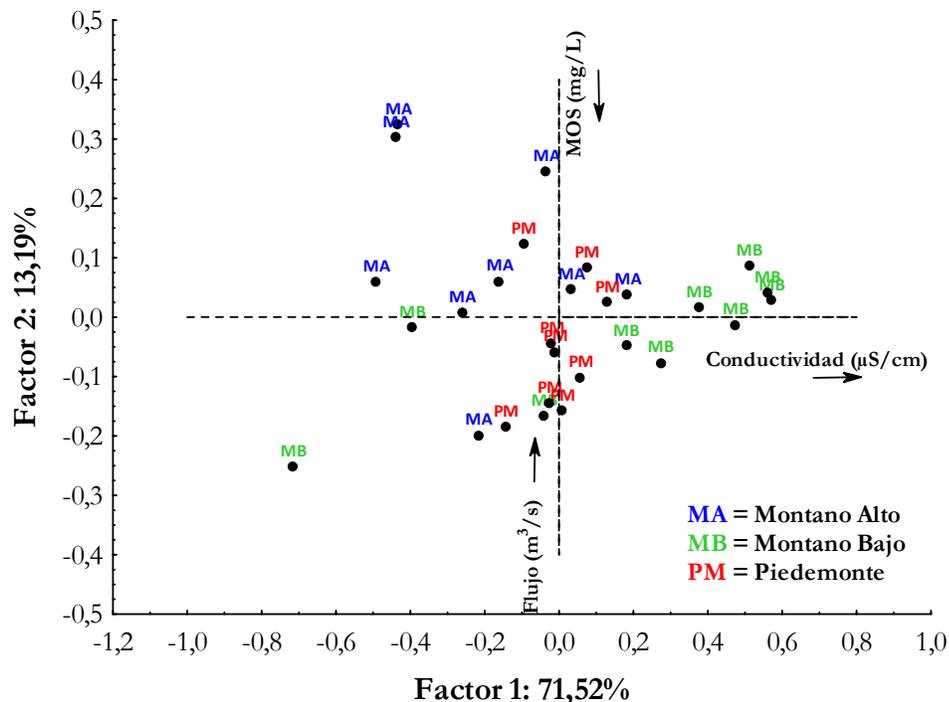


Figura 4. Diagrama de ordenación obtenido a partir del Análisis de Componentes Principales practicado sobre las variables físicas y químicas registradas como promedios de los muestreos de Diciembre 2012, Abril 2013, Julio 2013 y Enero 2014 en 28 tributarios en los pisos altitudinales Montano Alto (MA), Montano Bajo (MB) y Piedemonte (PM) de la cuenca del Río Capaz.

se decidió agrupar las localidades de acuerdo al piso altitudinal a la cual pertenecían. Los grupos formados fueron Montano Alto (MA), Montano Bajo (MB) y Piedemonte (PM) y algunas características físico-químicas resaltantes de las localidades asignadas a cada grupo se presentan en la Tabla 1. Los resultados de la regresión múltiple en el procedimiento paso a paso muestran que, de los iones analizados en las muestras de agua (Ca, Na, Mg, K, SO₄, PO₄, NO₃ y NO₂), solo los iones calcio ($\beta = 0,75$, $p < 0,000001$), magnesio ($\beta = 0,31$, $p < 0,000001$) y fosfatos ($\beta = 0,14$, $p < 0,01$) predijeron mejor y significativamente ($R^2_{adj} = 0,9657$; $F_{(3,24)} = 254,68$; $p < 0,000001$) las variaciones en la conductividad del agua.

En la Figura 5 la relación entre la conductividad y el contenido de calcio en las aguas de los tributarios estudiados en la cuenca, encontrándose los más altos valores de calcio en los ríos ubicados en la zona Montana Baja (ver también Tabla 1). En la vertiente izquierda del Río Capaz, específicamente en las aldeas Bachaquero y La Uva del Municipio Andrés Bello, se encuentran dos yacimientos de calizas pertenecientes a la formación Capacho, la cual es explotada comercialmente para la producción de cal agrícola, uso en la construcción e industria azucarera (Corpoandes

2010). Los altos valores de calcio encontrados en los tributarios ubicados en el piso Montano Bajo, al encontrarse en la zona de los yacimientos de calizas, pueden ayudar a explicar este comportamiento. El encalado de los suelos es una práctica común en muchas zonas agrícolas de los andes venezolanos que presentan suelos ácidos (Ochoa et al. 2004). Esta acidez en los suelos es reflejo de la composición litológica, acentuada con la altitud, por la acción acidificante de la materia orgánica, principalmente en los horizontes superficiales (Ochoa et al. 2004, Corpoandes 2010).

4.4.2. Dinámica de la materia orgánica: Se observan patrones generales en los valores de la materia orgánica bentónica (MOB), transportada (MOT) y suspendida (MOS) a lo largo del gradiente altitudinal en la cuenca del Río Capaz (Figuras 6A, 6B y 6C). Estos patrones fueron obtenidos a partir de los registros de los datos en cuatro campañas realizadas en diciembre 2012, abril 2013, julio 2013 y enero 2014. La materia orgánica bentónica representa una principal fuente de energía para la producción secundaria en los ecosistemas lóticos (Minshall 1967, Benke et al. 1984).

Tabla 1. Valores promedios de algunas variables físico-químicas de los tributarios en los pisos altitudinales Montano Alto, Montano Bajo y Piedemonte de la cuenca del Río Capaz. Los promedios resultaron de las campañas de muestreo enero 2012, abril 2013, julio 2013 y enero 2014. El número de tributarios estudiados en cada piso es mostrado entre paréntesis.

Parámetro	Montano Alto (n = 9)	Montano Bajo (n = 10)	Piedemonte (n = 9)
Altitud (msnm)	2065,3	1332,7	174,9
Caudal (m ³ /s)	0,65	0,13	0,42
Conductividad (μS/cm)	75,6	209,4	101
Oxígeno Disuelto (mg/l)	7,79	8,02	8,08
Temperatura del agua (°C)	14,2	19,3	25,2
Materia Orgánica Suspendida (mg/l)	1,83	1,86	2,14
P - Ortofosfatos (μg/l)	33,3	107,8	113,2
Calcio (mg/l)	5,39	21,92	6,98
Magnesio (mg/l)	1,23	1,36	1,44
pH	7,43	7,48	7,51

Estos depósitos orgánicos también ejercen influencia sobre el ciclo de nutrientes y afectan la exportación de materia orgánica disuelta y particulada (Smock et al. 1989). En el Río Capaz los valores de MOB fueron mayores en los tributarios del piso Montano Bajo (15,2 g/m²) comparados con las corrientes en los pisos Montano Alto (9,0 g/m²) y Piedemonte (8,5 g/m²), cuyos valores promedios no fueron significativamente diferentes entre sí ($p = 0,776$) (Figura 6A). A escala de la cuenca del Río Capaz se obtuvo un patrón espacial diferente a lo reportado para corrientes templadas, donde se ha reportado que a la escala del río completo la MOB tiende a decrecer en dirección río abajo a medida que el canal del río se hace mayor y disminuye la influencia de la vegetación ribereña (Naiman y Sedell 1979, Minshall et al. 1983, Connors y Naiman 1984, Naiman et al. 1987).

Las unidades ecológicas que caracterizan cada piso altitudinal pueden ayudar a explicar el patrón observado en la cuenca del Río Capaz. De acuerdo a Ataroff y Sarmiento (2004) en las vertientes húmedas del sur del Lago de Maracaibo el piso basal está ocupado en mayor parte por la selva húmeda submontana, unidad que se encuentra desde los 150 a los 800 msnm, seguida de la selva semicaducifolia montana que llega hasta los 1.700 msnm. El piso andino inferior está cubierto por dos tipos de selvas nubladas, la selva nublada montana baja que abarca desde los 1.700 a los 2.200 msnm y la selva nublada montana alta que se extiende hasta los 3000 m. Los mayores depósitos de materia orgánica bentónica se observan en el piso altitudinal que va entre los 800 y los 1700 m (Montano Bajo) ocupado en gran parte por la selva semicaducifolia, aunque con un importante grado de sustitución por pastizales para usos agropecuarios. Las especies de árboles dominantes de esta selva

pierden sus hojas en época seca y puede prolongarse entre uno y tres meses y de allí su nombre de caducifolia (Ataroff y Sarmiento 2004). Esta condición de la vegetación terrestre circundante al río puede explicar el aumento de material orgánico en este piso altitudinal. En las zonas de la selva nublada un factor que podría prevenir altas acumulaciones de materia orgánica son las elevadas pendientes, lo que promueve el lavado de la materia orgánica por las altas velocidades del flujo de agua.

Por su parte, en el Piedemonte se registra la mayor cantidad de precipitación, lo que produce frecuentes crecidas de los ríos y con ello un gran efecto de lavado de la MOB. Adicionalmente, las altas temperaturas

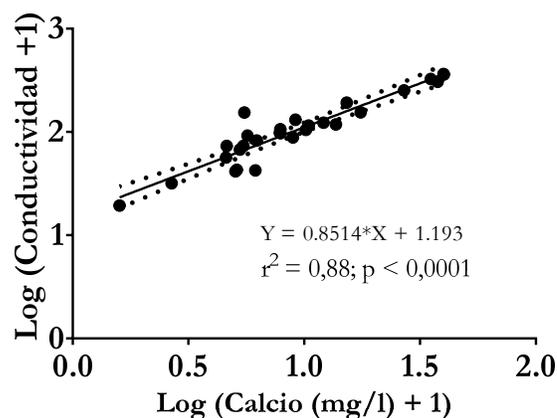


Figura 5. Regresión lineal simple entre la concentración de Calcio (mg/l) y la Conductividad del agua (μS/cm) en 28 tributarios de la cuenca del Río Capaz. Las variables fueron transformadas por medio de la función Log₁₀ para cumplir con los supuestos de normalidad y heterocedasticidad del modelo de regresión lineal.

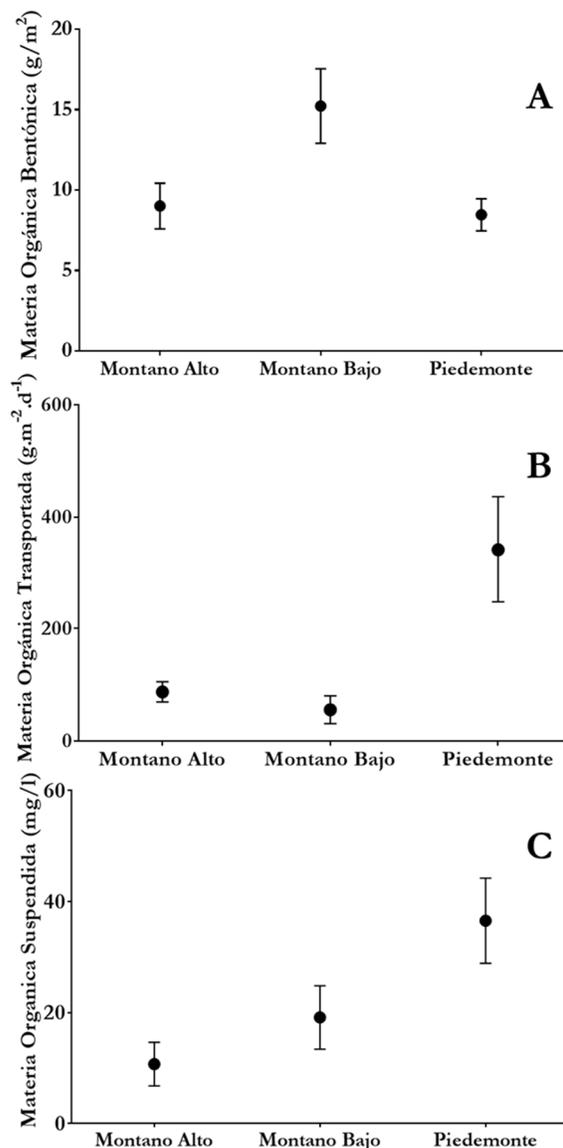


Figura 6. Patrones de variación a lo largo de los pisos altitudinales de: A) Materia orgánica bentónica (MOB), B) Materia orgánica transportada (MOT) y C) Materia orgánica suspendida (MOS) en la cuenca del Río Capaz, estado Mérida.

promueven mayores velocidades de descomposición de la hojarasca y por tanto una disminución del tamaño de la partícula, lo que facilita su transporte en la corriente (Jones 1997). A la escala de segmentos individuales del río, las variaciones locales en las características de la vegetación ribereña, el tamaño del plano de inundación, las estructuras de retención en el río (presencia de pozos, rocas, troncos, etc.), la pendiente del canal, entre otros factores, también influyen en el almacenamiento de la materia orgánica bentónica (Gurtz et al. 1988, Smock 1990). Los ríos

estudiados en su mayoría pertenecen a los órdenes 1 a 3, es decir son corrientes pequeñas en la mayoría de los casos. El patrón espacial observado en la MOB es obtenido cuando se condensa la información promediando los datos provenientes de los distintos segmentos estudiados en tributarios de cada piso altitudinal. Sin embargo, cuando se analiza el comportamiento individual de cada localidad no se logra evidenciar ninguna tendencia particular (Figura 7A). Es probable que factores individuales estén operando en el comportamiento de la materia orgánica bentónica cuando se analizan a escalas pequeñas de los segmentos o tramos de los ríos.

Los valores de la materia orgánica bentónica presentaron una alta variabilidad, tanto temporal como espacial, y oscilaron entre 1,73 g/m² y 20,53 g/m². Estos valores concuerdan con los reportados para ríos altoandinos de Bolivia (<2-40 g/m²) (Wasson y Marin 1988) y Ecuador (3-25 g/m²) (Bojsen y Jacobsen 2003). Valores tres órdenes de magnitud mayor han sido reportados para un amplio intervalo de tipos de ríos de los Estados Unidos (20-35.000 g/m²) (Jones 1997), con un 62% de estos valores representado por la fracción aportada por la madera. Esta fracción no fue considerada en los valores de materia orgánica de este estudio. Otra explicación a los bajos valores reportados en los depósitos de materia orgánica bentónica puede obedecer a uno o varios factores combinados: elevadas tasas de descomposición, fenología de aportes provenientes de la vegetación ribereña, régimen hidrológico y baja capacidad de retención de los tramos estudiados. Un aspecto que hay que destacar es la ausencia de datos de la producción de hojarasca en cada localidad estudiada. Esta información ayudaría a esclarecer los patrones de la dinámica de materia orgánica en esta cuenca.

El transporte de materia orgánica particulada (MOT) proviene del procesamiento físico y biológico de las hojas y la madera que ha ingresado al cauce desde la zona ribereña, de la erosión de materia orgánica del suelo del ecosistema terrestre adyacente, de la floculación de materia orgánica disuelta y del desprendimiento del perifiton. El transporte de la materia orgánica (MOT) conecta tróficamente las comunidades de las zonas río arriba con las zonas río abajo, permitiendo la integración estructural y funcional del ecosistema lótico (Golladay 1997). El patrón espacial de MOT observado en el Río Capaz, en términos del material orgánico transportado (g.m⁻².d⁻¹) o concentración de materia orgánica suspendida (mg/l) (Figuras 6B y 6C), es contrario a lo reportado para los ríos de zonas templadas. Los patrones descritos para ríos de corrientes de zonas templadas observados para la materia orgánica transportada (con-

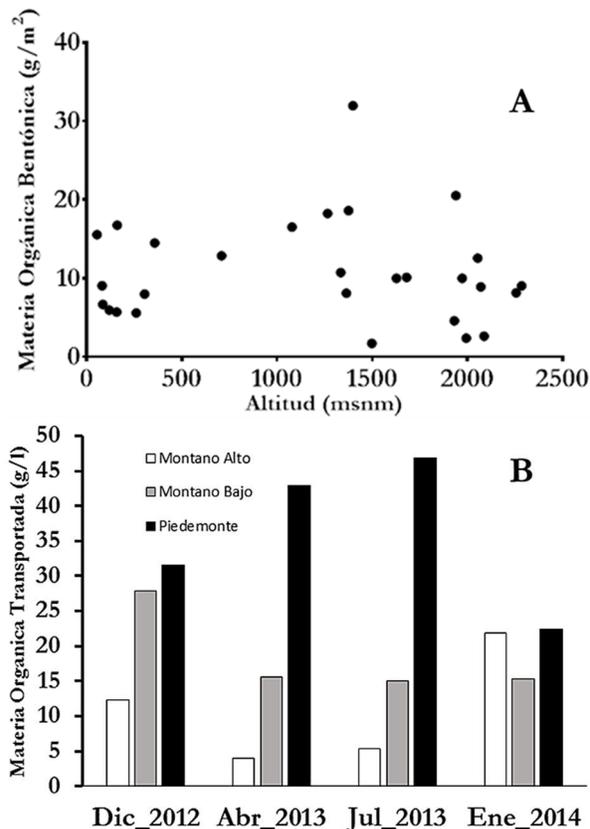


Figura 7. A) Dispersión altitudinal de los valores de la materia orgánica bentónica (MOB) en 28 tributarios en la cuenca del Río Capaz, Estado Mérida. Los valores son promedios de los muestreos de MOB en diciembre 2012, abril 2013 y julio 2014. B) Variación temporal y altitudinal de la materia orgánica transportada (MOT) en la cuenca del Río Capaz. Los valores corresponden a los promedios de los datos registrados en 28 tributarios de los pisos altitudinales Montano Alto, Montano Bajo y Piedemonte.

centración y exportación) son muy débiles debido a la variabilidad que presentan los valores debido a los cambios hidrológicos durante los muestreos (Golladay 1997). Pese a esto se espera que las concentraciones de MOT debe declinar desde los tramos de cabecera hacia los tramos río abajo (Webster y Meyer 1997, Tank et al. 2010). El patrón observado de MOT en el Río Capaz no sigue esta tendencia general. Contrariamente, las concentraciones más altas de MOT se obtuvieron en las zonas de Piedemonte (promedio de 35,90 g/l), mientras que las zonas Montano Alto (10,87 g/l) y Montano Bajo (18,42 g/l) mostraron bajos valores de este material. En términos del transporte del material orgánico particulado los valores más altos se obtuvieron en el Piedemonte (368,6 g.m⁻².d⁻¹), seguidos de los valores del piso Montano Alto (87,5 g.m⁻².d⁻¹) y Montano Bajo (55,7

g.m⁻².d⁻¹) (Figura 6B). Estos valores son considerablemente más elevados que los reportados por Golladay (1967) para ríos de los Estados Unidos. Varios factores pueden explicar el patrón observado en la cuenca del Río Capaz. Un factor de orden metodológico debido a que los tributarios seleccionados en este estudio eran de orden 1-3 en todos los pisos altitudinales, lo que no permitió la comparación en términos del tamaño u orden del río. Adicionalmente, las características de la vegetación ribereña y el gradiente o pendiente de las corrientes pueden ayudar a explicar el patrón observado en las concentraciones de MOT en el Río Capaz. Las concentraciones de MOT (g/l) en el Piedemonte oscilaron entre 4,51 g/l en caño Carbón y 81,25 g/l en caño Tigre. Las subcuencas de estas corrientes presentaron, respectivamente, los más bajos (35%) y más altos (81%) porcentajes de bosque en el Piedemonte. Asimismo, los ríos del Piedemonte presentaron las menores pendientes en contraposición al piso Montano Alto, donde los tributarios estudiados presentaron mayores gradientes. De manera similar estos factores también influenciaron las concentraciones de MOT en ríos de diferentes regiones de los Estados Unidos (Golladay 1997).

Los valores de MOT también mostraron una gran variación temporal en cada uno de los tributarios estudiados, lo que da cuenta de la influencia de las variaciones temporales en el flujo sobre las concentraciones de materia orgánica transportada (Figura 7B). En los muestreos de diciembre 2012, abril 2013 y julio 2013 se presenta un patrón similar de incremento de la MOT desde las zonas de cabeceras hacia las partes bajas de la cuenca. Este patrón es modificado en el muestreo de enero 2014, donde la MOT disminuye tanto en el piso montano bajo como en el piedemonte. En el Piedemonte las variaciones mensuales están relacionadas con el incremento de las precipitaciones durante el período de muestreo, lo que ocasiona el aumento de los caudales y por consiguiente el transporte de las partículas orgánicas. En el piso Montano Bajo las concentraciones de MOT se mantienen con pocas variaciones entre los períodos muestreados, con excepción de un incremento en el mes de diciembre 2012. Es importante resaltar las modificaciones antrópicas de los caudales observados en los ríos del piso Montano Bajo debido a las numerosas extracciones de agua directamente desde las quebradas y la construcción de azudes que represan a pequeña escala las corrientes y modifican sus características hidrológicas y geomorfológicas. Esto es particularmente evidente en los meses secos donde debido a esta intervención los cursos de agua se secan transformándose en corrientes de carácter intermi-

tente. En el piso Montano Alto el patrón temporal es inverso al observado en el Piedemonte, mayor transporte de material orgánico en los meses secos (diciembre 2012 y enero 2014) y menor transporte en los períodos de lluvia (abril 2013 y julio 2013). Al parecer al disminuir las precipitaciones en el piso Montano Alto se produce una mayor acumulación de material orgánico que entra de forma alóctona desde las riberas y por tanto se presenta una mayor probabilidad de arrastre de partículas orgánicas. Durante los períodos de lluvia, debido a las elevadas pendientes y los caudales torrenciales se produce poca acumulación de material orgánico particulado en la corriente de manera que poco material entra en suspensión.

4.5. Estructura y diversidad de los macroinvertebrados bentónicos

Los resultados de los muestreos de diciembre 2012 y abril 2013 arrojaron un total de 7.618 invertebrados colectados, distribuidos en 13 órdenes y 50 familias para los tributarios estudiados en la cuenca del Río Capaz. Según la abundancia relativa dominó el orden Diptera (37,9%), seguido de Trichoptera (24,7%) y Ephemeroptera (22,3%). Los sitios de muestreo que resultaron con la mayor densidad de invertebrados considerando el promedio de campañas de diciembre 2012 y abril 2013 (no fueron incluidos los datos de las campañas de julio 2013 y enero 2014 debido a que no ha sido culminado el proceso de identificación de los invertebrados), fueron Río Gavilanes (399 ind/m²), Quebrada Azul (337 ind/m²) y Río Ron (329 ind/m²); mientras que con menor abundancia promedio resultaron las quebradas La Azulita (43 ind/m²), Carbonera (59 ind/m²) y Zerpa (58 ind/m²). Respecto al número de familias por orden destacaron los órdenes Trichoptera (12) y Diptera (10). En términos generales, la composición taxonómica a nivel de género difirió significativamente (ANOSIM, $R_{\text{global}} = 0,36$; $p < 0,1\%$) entre las localidades de diferentes pisos altitudinales. Específicamente, la composición de macroinvertebrados de la zona Montano Alta (MA) difirió significativamente respecto de la zona del Piedemonte (PM) ($R = 0,588$; $p = 0,001$) y de la zona Montana Baja (MB) ($R = 0,289$; $p = 0,005$); pero no se encontró diferencia significativa en la composición de macroinvertebrados entre los ríos del Piedemonte y de la zona Montano Baja ($R = 0,189$; $p = 0,022$). La ordenación de las localidades mediante el MDS confirmó este resultado (Figura 8). Las muestras pertenecientes a los tributarios del piso altitudinal Montano Alto se encuentran ubicadas hacia el lado derecho del plano de ordenación. Mientras que las muestras de los tri-

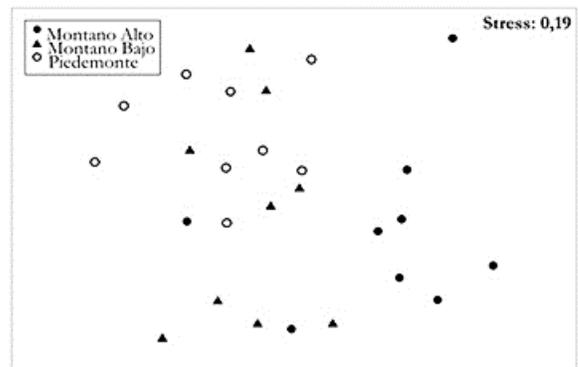


Figura 8. Diagrama de ordenación obtenido a partir del análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) practicado sobre la abundancia de géneros de macroinvertebrados bentónicos en tributarios de los pisos altitudinales Montano Alto (●), Montano Bajo (▲) y Piedemonte (○) en la cuenca del Río Capaz. Los datos de abundancia de los géneros de macroinvertebrados fueron transformados mediante la función $\text{Log}_{10}(X+1)$ para compensar los extremos en la abundancia de los géneros en la representación multivariada.

butarios del piso Montano Bajo y Piedemonte quedaron ubicadas en su mayoría hacia el lado izquierdo del plano de ordenación.

Según al análisis SIMPER, los invertebrados que contribuyen con un mayor porcentaje a la disimilitud entre los pisos Montano Alto (MA) y Montano Bajo (MB) fueron *Simulium* (15,89%), *Atanotolica* (8,98%) y *Baetodes* (8,52%). Entre los pisos Montano Alto (MA) y Piedemonte (PM) fueron *Simulium* (14,25%), *Atanotolica* (11,47%) y *Leptohyphes* (7,84%), mientras que entre los pisos Montano Bajo y Piedemonte quienes contribuyeron más a la disimilitud fueron *Leptohyphes* (11,34%), *Atanotolica* (6,04%) y la familia Chironomidae (5,87%).

Los resultados de las curvas de acumulación de las familias de invertebrados bentónicos muestran que después de una intensidad de muestreo en dos campañas y en los tres pisos altitudinales (Montano Alto, Montano Bajo y Piedemonte) no se llegó a alcanzar la asíntota (Figura 9). La diversidad en términos de número de familias observados y estimados por el índice Chao1 resultó mayor en el piso Montano Bajo (45), seguido del Montano Alto (44) y con la menor riqueza resultó el Piedemonte (34). Por su parte, los índices de diversidad Shannon (H'), Inverso de Simpson y Fisher resultaron con valores más elevados en la zona Montana Baja ($H' = 2,51$; $1/\text{Simpson} = 8,18$; Fisher = 7,21), intermedios en el Piedemonte ($H' = 2,34$; $1/\text{Simpson} = 7,27$; Fisher = 5,59) y menores en la zona Montana Alta ($H' = 2,23$; $1/\text{Simpson} = 6,13$; Fisher = 5,95).

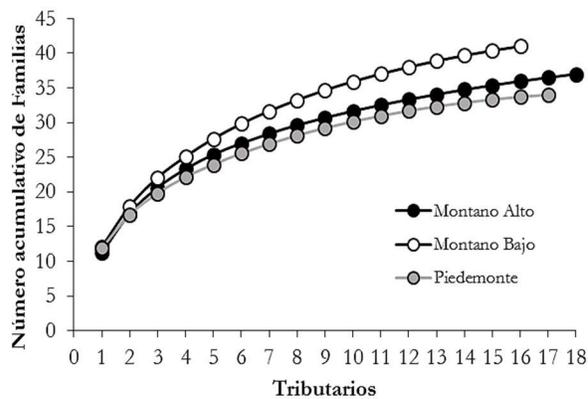


Figura 9. Curvas de acumulación de familias (Mao Tau) obtenidas de los muestreos de diciembre 2012 y abril 2013 en diferentes tributarios de los pisos Montano Alto, Montano Bajo y Piedemonte en la cuenca del Río Capaz, estado Mérida.

4.6. Índices bióticos de los tributarios de la cuenca del Río Capaz

En el piso altitudinal montano alto se presentaron una mayor cantidad de localidades en condiciones de intervención importante, grave y muy grave de acuerdo al valor del índice BMWP-Chama. Solo la quebrada San Eusebio 1 mostró una intervención mínima y una alta calidad biológica de acuerdo al índice (Tabla 2). Las localidades del piso altitudinal Montano Bajo también mostraron valores bajos del índice indicando una intervención importante; sin embargo, en este piso altitudinal no se registraron localidades con condiciones de intervención muy grave según los valores del índice BMWP-Chama y presentó dos localidades con una alta calidad y baja intervención (Quebradas Azul y Anacaos). Contrario a lo esperado, el piso del piedemonte resultó con el menor grado de intervención y la mejor calidad de las localidades estudiadas en este piso.

La mayoría de las localidades presentó una mínima o leve intervención, y solo dos (caño Tigre y Río Perdido) resultaron con intervenciones importantes y una calidad biológica media. Con la aplicación del IBF los resultados fueron similares a los arrojados por el índice BMWP (Tabla 3). Destaca el hecho de que nuevamente el piso altitudinal Montano Alto muestra un mayor porcentaje (57%) de localidades con intervención grave y calidad escasa, luego de manera similar el piso Montano Bajo muestra un porcentaje relativamente alto (42%) de localidades con intervención grave. Mientras que en el Piedemonte resultó con intervenciones desde moderadas a mínimas evidenciando las mejores condiciones biológicas de las localidades estudiadas en la cuenca.

4.7. Usos y tipos de cobertura de la tierra

El valor promedio de la cobertura de bosques obtenido a partir de los valores individuales de cada subcuenca en cada piso altitudinal fue de alrededor de 54 %, tanto en el piso altitudinal Montano Alto como en el Piedemonte, y 29 % en el piso Montano Bajo. El promedio del porcentaje de áreas intervenidas es complementario con el de la cobertura de bosques, por ello en las zonas Piedemonte y en la Montano Alta es de 45 % y en la zona Montana Baja es de 71%. Las subcuencas con mayor cantidad de bosques fueron: Eusebio 1 (87,48%) y Caño Tigre (80,57%). Sólo se cuantificó cobertura de páramo en las subcuencas de la zona Montana Alta (Blanco, Macho, Capaz y Ron).

Uniendo los usos de pastizales, cultivo y urbano se obtuvo el área de la cobertura intervenida, que en la Figura 10 se contrasta con la cobertura de bosque en cada subcuenca, observándose que los bosques predominan en las subcuencas de los tributarios del piso altitudinal Montano Alto (Eusebio, Blanco, Macho, Capaz y Ron) por lo que se puede calificar estas subcuencas como poco intervenidas y en un estado de conservación de regular a bueno. La cobertura intervenida ocupa mayor porcentaje en el piso altitudinal Montano Bajo (Quebradón, Azulita, Quebrada Azul, Las Adjuntas y Anacaos) con un estado de conservación de regular a malo; y en el Piedemonte (Gavilanes, Perdido, Tigre, Carbón y Moro) se presentan tres subcuencas con coberturas boscosas por encima del 60% y dos subcuencas presentan una intervención importante, llegando a ocupar el 70% de las coberturas de estas subcuencas, por lo que las subcuencas de los tributarios estudiados en el Piedemonte pueden ubicarse en un estado de conservación intermedio al compararlas con las subcuencas de los tributarios de los pisos montano alto y montano bajo.

4.8. Evaluación del hábitat fluvial (IHF) y la vegetación de ribera (QBR)

En general, las localidades estudiadas en el Piedemonte y en el piso Montano Bajo mostraron una calidad de hábitat fluvial (IHF) buena, con indicios de cierta alteración (Tabla 4); mientras que en su mayoría las estaciones de la zona Montano Alta mostraron una calidad de hábitat fluvial óptima. Los valores del IHF para los diferentes tributarios de la zona del Piedemonte por lo general incrementaron en el muestreo de abril 2013 con respecto al muestreo de diciembre 2012. Los valores fluctuaron entre un mínimo de 48 puntos en el río Gavilanes (diciembre 2012 y abril 2013) y un máximo de 86 puntos en los ríos Tigre y Perdido ambos obtenidos

Tabla 2. Calidad biológica obtenida mediante el Índice BMWP-Segnini en 27 tributarios a lo largo de un gradiente altitudinal en la cuenca del Río Capaz. PA: pisos altitudinales. Intervención: muy grave (MG), grave (G), importante (I), leve (L), mínima (M).

PA	Nombre de la Estación	BMWP	Intervención	Calidad
Piedemonte (50-300 msnm)	Río Tigre	72	I	Media
	Río Limones	104	L	Buena
	Caño Moro 1	110	M	Alta
	Caño Moro 2	80	I	Media
	Gavilanes	95,5	L	Buena
	Caño Carbón	68	I	Media
	Qda. Pozo Azul	81	I	Media
	Río Perdido	79	I	Media
	Qda. Perdido	45	G	Escasa
Montano Bajo (800-1.600 msnm)	Qda. Azul	130	M	Alta
	Las Adjuntas1	60	G	Escasa
	Las Adjuntas 2	72,5	G	Escasa
	Qda. La Azulita	54	G	Escasa
	Río Quebradon	88,5	I	Media
	Qda. Anacaos	102,5	I	Media
	Qda. Diablo	76,5	G	Escasa
	Caño Guayabo	90	I	Media
	Qda. Zerpa	30	MG	Mala
Montano Alto (1.700-2.200 msnm)	La Carbonera	39	G	Escasa
	Qda los Pinos	66	I	Media
	Qda. Puente Diablo	72	I	Media
	Río Blanco	75	I	Media
	San Eusebio 1	66,5	I	Media
	San Eusebio 2	100,5	M	Alta
	Río Macho	43,5	G	Escasa
	Río Ron	85,5	L	Buena
	Río Capaz	74,5	I	Media

para el muestreo del mes de abril 2013. (Tabla 4). En la zona Montano Baja los valores del IHF mostraron pocas variaciones temporales. Se observó un valor mínimo de 45 puntos en el río Quebradón en el muestreo de abril 2013 y un máximo de 92 puntos en la Quebrada Anacaos en ambos muestreos. Los valores del IHF son ligeramente mayores a los mostrados por las localidades del Piedemonte. En el piso Montano Alto también se observan importantes diferencias temporales en los valores del IHF. Encontramos un valor mínimo del IHF de 58 puntos en la Quebrada Los Pinos en el muestreo del mes de diciembre 2012, mientras que el valor máximo de 91 puntos se observó para el Río Macho durante el

muestreo de abril 2013. En general, los puntajes del IHF son más altos en el piso Montano Alto al compararlos con los puntajes del IHF obtenidos para los tributarios de los pisos Montano Bajo y Piedemonte. Los valores el índice de cubierta de ribera (QBR) muestran poca variación temporal (Tabla 4). Los valores mínimos (0-5) de la calidad de la cubierta del bosque de ribera (QBR) son obtenidos en la localidad Las Adjuntas 1 correspondiente al piso Montano Bajo. Esta localidad muestra evidencias de una gran perturbación antrópica (ver Figura 2C) producto de la canalización de un amplio segmento del río y eliminación de la cubierta de ribera. De igual modo, el río Gavilanes en el Piedemonte

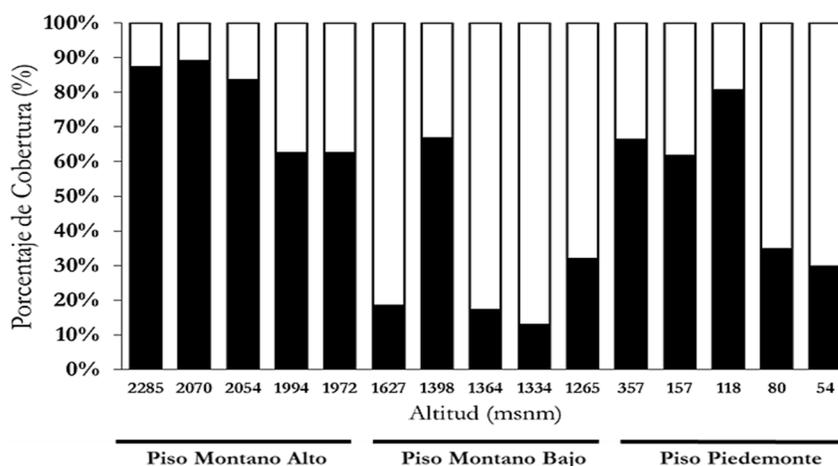


Figura 10. Porcentaje de cobertura de bosques (■) y zonas intervenidas (□) determinado para 15 tributarios distribuidos por altitud en los pisos Montano Alto, Montano Bajo y Piedemonte. Los porcentajes del área intervenida incluyen las áreas de pastizales, cultivos agrícolas y áreas urbanas.

Tabla 3. Calidad biológica de los tributarios según el Índice Biótico de Familias (1/IBF). Intervención: muy grave (MG), grave (G), importante (I), leve (L), mínima (M). Valores más altos del índice denotan mayor calidad biológica.

Piso Altitudinal	Altitud (msnm)	Nombre de la Estación	1/IBF	Intervención	Calidad
Piedemonte (50-300 msnm)	54	Río Gavilanes	0,217	G	Escasa
	80	Caño Carbón	0,417	M	Alta
	84	Caño Moro 2	0,323	I	Media
	118	Río Tigre	0,225	G	Escasa
	157	Caño Moro 1	0,267	I	Media
	160	Qda. Pozo Azul	0,313	I	Media
	260	Río Limones	0,370	L	Buena
	304	Qda. Perdido	0,323	I	Media
	357	Río Perdido	0,357	L	Buena
Montano Bajo (800-1.600 msnm)	708	Caño Guayabo	0,313	L	Buena
	1078	Qda. Diablo	0,217	I	Media
	1265	Río Quebradon	0,290	L	Buena
	1334	Qda. Azul	0,328	L	Buena
	1364	Las Adjuntas1	0,198	G	Escasa
	1375	Las Adjuntas 2	0,220	I	Media
	1398	Qda. Anacaos	0,351	M	Alta
	1627	Qda La Azulita	0,204	I	Media
	1680	Qda. Zerpa	0,200	G	Escasa
Montano Alto (1.700-2.200 msnm)	1931	Qda. Los Pinos	0,230	G	Escasa
	1939	Qda. Pte Diablo	0,177	G	Escasa
	1972	Río Macho	0,192	G	Escasa
	1994	Río Blanco	0,146	G	Escasa
	2054	Río Capaz	0,250	G	Escasa
	2070	Río Ron	0,435	M	Alta
	2087	La Carbonera	0,345	I	Media
	2256	Qda. San Eusebio 2	0,345	I	Media
	2285	Qda. San Eusebio 1	0,238	G	Escasa

obtuvo una bajo puntaje (15) del QBR con una situación similar en cuanto a la canalización del cauce del río y eliminación de la cubierta de ribera en un tramo importante del río. Se obtuvieron valores máximos (100 puntos) en el QBR en los tres pisos altitudinales, pero la mayoría en el mes de abril 2013, mientras que el piso Montano Alto registró intervalos más altos del QBR, con un puntaje mínimo de 60 y valores máximos de 100 puntos. El análisis de regresión múltiple indicó que de seis variables independientes seleccionadas solo la conductividad predijo mejor las variaciones en el índice IHF ($R^2_{adj} = 0,255$; $F_{(3, 23)} = 3,9721$, $p < 0,02035$). De manera similar, la cobertura porcentual de pastizales ($R^2_{adj} = 0,162$; $F_{(2, 24)} = 3,518$; $p < 0,0457$) predijo mejor las variaciones del índice QBR.

5. CONSIDERACIONES FINALES

5.1. Caracterización físico-química: La interacción entre el gradiente alto-térmico, la heterogeneidad en la composición litológica, hidrológica y geomorfológica, los cambios en las unidades ecológicas de vegetación y diferentes grados de intervención antrópica parecen dirigir las condiciones físicas y químicas de las distintas corrientes que irrigan la cuenca del Río Capaz. El patrón comúnmente encontrado de iones disueltos en las aguas corrientes montañosas se presenta con un aumento de la mineralización de las aguas desde las zonas altas a las zonas bajas (Allan y Castillo 2007, Jacobsen 2008). Este patrón no fue observado en este estudio. Los valores de conductividad del agua evidencian una mayor mineralización de las corrientes en el piso Montano Bajo y no en el Piedemonte como era de esperarse. Esto puede obedecer a dos factores fundamentales: a) una mayor introducción de elementos químicos debido al uso del suelo para las actividades agropecuarias y urbanas y b) una predominancia de suelos calcáreos sedimentarios en esta región de la cuenca que ha sido reportado por Gutiérrez (1983).

Los resultados sugieren que la actividad ganadera en el piso Montano Bajo promueve un incremento de la mineralización de las aguas de los ríos. Lo anterior es adicionalmente sustentado por un incremento de los iones sulfatos, nitratos, fosfatos, calcio y potasio en este piso altitudinal (ver Tabla 1). Adicionalmente, en el piso Montano Bajo también se evidenció la presencia de una mayor concentración urbana lo que, aunado al uso agropecuario, provoca un incremento de la entrada de sedimentos y sustancias químicas a las aguas (Allan et al. 1997). El uso agropecuario de los suelos ocasiona una pérdida importante de la vegetación de ribera que podría

funcionar como filtros naturales capaces de disminuir el ingreso de sedimentos y nutrientes al ecosistema fluvial (Allan y Castillo 2007). Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Segnini y Chacón (2005, 2017) para corrientes que drenan la cuenca del Río Chama en el estado Mérida.

La dinámica de la materia orgánica está vinculada a procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el ecosistema fluvial. Es por ello que cualquier alteración de la dinámica de este componente (entradas, descomposición y transporte) ha sido vinculada con los efectos del uso del suelo, la contaminación, el cambio climático o la regulación de los caudales (Elosegi y Pozo 2016). En la cuenca del Río Capaz se presenta una dinámica altamente variable del almacenamiento y transporte de la materia orgánica. Las variaciones se producen tanto espacial como temporalmente, permitiendo pocas generalizaciones y dificultando la elaboración de un patrón general claro. Múltiples factores parecen estar interactuando a una escala espacial de tramos o segmentos individuales, mientras que las variaciones que se producen a una escala mayor se complican debido al gradiente altitudinal, a la intervención antrópica y al carácter interconectado y jerárquico de la red fluvial. Un factor que debe tener una gran influencia en las entradas de materia orgánica es la eliminación de la vegetación de ribera y su conversión a pastizales. Esto no solo modifica la cantidad sino también la calidad del material orgánico que ingresa al ecosistema acuático. Con consecuencias importantes para la biota y el funcionamiento del ecosistema como un todo.

En términos de abundancia, la clase Insecta dominó la fauna de macroinvertebrados en la cuenca del Río Capaz. La composición de los órdenes más abundantes de insectos para la cuenca del Río Capaz siguió el orden *Diptera* > *Trichoptera* > *Ephemeroptera*. Estos tres órdenes aparecen comúnmente como los mayores representantes en la composición de macroinvertebrados de los ríos tropicales (Jacobsen et al. 2008). Sin embargo, como estos mismos autores han reseñado, existe una alta variación entre ríos y regiones con respecto a la composición de órdenes que dominan los ensambles de macroinvertebrados. Esta variación en los grupos dominantes es el resultado de condiciones ambientales, geológicas, geomorfológicas y climáticas de los ríos tropicales. La composición y el orden de abundancia de estos órdenes varían dependiendo del piso altitudinal y de las condiciones ambientales de cada curso de agua. Cressa (2000) también encontró variaciones en los órdenes dominantes de insectos acuáticos en varios ríos de Venezuela. Aquí, la domi-

Tabla 4. Valores de los índices de hábitat fluvial (IHF) y cubierta de ribera (QBR) obtenidos en los muestreos de diciembre 2012 y abril 2013. Se muestran los puntajes obtenidos para cada tributario en cada piso altitudinal. PA: Piso Altitudinal; (-) indica que no se evaluó la localidad.

PA	Altitud (m)	Tributario	IHF		QBR	
			Dic_2012	Abr_2013	Dic_2012	Abr_2013
Montano Alto	54	Río Gavilanes	48	48	15	15
	80	Caño Carbón	59	72	80	85
	84	Caño Moro 2	60	67	60	65
	118	Río Tigre	76	86	100	85
	157	Caño Moro 1	58	65	55	75
	160	Qda. Pozo Azul	-	74	-	95
	260	Río Limones	62	74	70	100
	304	Qda. Perdido	-	74	-	45
	357	Río Perdido	76	86	100	100
Montano Bajo	708	Caño Guayabo	-	80	-	60
	1078	Qda. Diablo	75	88	95	100
	1265	Río Quebradon	57	45	10	50
	1334	Qda. Azul	62	61	65	60
	1364	Las Adjuntas1	48	49	5	0
	1375	Las Adjuntas 2	55	61	95	60
	1398	Qda. Anacaos	92	92	100	100
	1627	Qda La Azulita	82	81	95	100
	1680	Qda. Zerpa	-	76	-	100
Piedemonte	1931	Qda. Los Pinos	58	66	60	85
	1939	Qda. Pte Diablo	82	75	75	90
	1972	Río Macho	71	91	70	100
	1994	Río Blanco	62	82	65	70
	2054	Río Capaz	67	81	60	65
	2070	Río Ron	73	88	70	100
	2087	La Carbonera	-	63	-	50
	2256	Qda. San Eusebio 2	70	90	100	100
	2285	Qda. San Eusebio 1	80	93	100	100

nancia de los órdenes Efemeroptera, Tricoptera y Díptera mostró variaciones temporales y espaciales al considerar los tributarios por separado o agrupados en los pisos altitudinales, por lo que es probable que las condiciones ambientales locales impongan filtros ecológicos para ciertas taxa (Allan y Castillo 2007). En el piso Montano Alto el orden detectado fue Díptera > Tricoptera > Efemeroptera, mientras que este orden cambió en el piso Montano Bajo a Tricoptera > Díptera > Efemeroptera, y nuevamente cambió en el Piedemonte a Efemeroptera > Tricoptera > Díptera. En este caso, las condiciones ambientales impuestas por la altitud promueven cambios en la composición de organismos aten-

diendo a las tolerancias ecológicas de los taxa individualmente. Es así que cualquier generalización en relación a los patrones de composición de los grupos taxonómicos de los macroinvertebrados se dificulta debido a la extraordinaria variabilidad de las condiciones de los ríos tropicales. La abundancia de los macroinvertebrados en los distintos tributarios estudiados en la cuenca del Río Capaz también fue muy variable. Los mayores valores no fueron restringidos a un solo piso altitudinal, sino que por el contrario fueron repartidos entre estos. En general, los valores de las densidades de invertebrados pueden ser considerados bajos (40-400 ind/m²) si se comparan con corrientes de las zonas templadas. Sin

embargo, estos valores se encuentran dentro de los reportados para otros ríos tropicales de Suramérica (Cressa 2000, Studholme 2014, Graça et al. 2015). Estas bajas abundancias pueden obedecer a condiciones ambientales adversas e impredecibles (por ejemplo, aumentos o disminuciones drásticas del flujo de agua), mala calidad del hábitat fluvial o cobertura de ribera por efectos antrópicos o escasos recursos energéticos.

Los análisis multivariados mostraron la influencia del factor altitudinal en la composición de los ensamblajes de macroinvertebrados en la cuenca del Río Capaz. La composición de macroinvertebrados en el piso altitudinal Montano Alto difirió claramente del Montano Bajo y Piedemonte. Las diferencias entre estos dos últimos no resultaron tan notorias, por lo que se infiere que la mayoría de los taxa que componen estas comunidades presentan adaptaciones que les permiten una mayor distribución en el espectro altitudinal desde el piedemonte hasta el piso Montano Bajo. Este resultado coincide con lo reportado por Jacobsen (2004).

Las curvas de acumulación de taxa (número de familias) indican varios aspectos a resaltar. En primer término, que las curvas no alcanzan la asíntota, lo que sugiere que una mayor intensidad de muestreo posibilita la obtención de un mayor número de familias, géneros y especies como predice el estimador Chao-1. Al realizar las curvas de acumulación de taxa con una resolución taxonómica a nivel de familia, obtenemos una mayor probabilidad de acierto en la identificación taxonómica; sin embargo, incrementa la incertidumbre en cuanto a la riqueza de taxa para resoluciones taxonómicas mayores (géneros o especies). En segundo lugar, se observa el efecto que ejerce el gradiente altitudinal sobre los diferentes componentes de la diversidad (riqueza y equidad). De acuerdo a los resultados, el Piso Montano Bajo presenta los mayores valores de riqueza y de los índices de Shannon, Inverso de Simpson y Fisher. Los patrones de diversidad con la altitud han mostrado ser muy variables entre los diferentes estudios publicados para las regiones tropicales (Jacobsen 2008). No obstante, estos cambios altitudinales de la riqueza pueden variar de acuerdo al nivel de resolución taxonómica del estudio. Aunque algunas familias puedan tener una amplia distribución en el gradiente altitudinal, muy probablemente los requerimientos de géneros y especies muestren una distribución más estrecha en este gradiente. Se ha reportado un patrón de riqueza de familias de invertebrados en ríos de montaña en el Ecuador que está inversamente relacionado con la altitud (Jacobsen 2004). Nuestro estudio no con-

cuerda con este patrón probablemente debido al efecto de intervención antrópica local sobre el hábitat fluvial y sobre la cobertura de ribera.

Al evaluar la condición biológica mediante la aplicación de los índices unimétricos BMWP-Chama e IBF se observó que la mayoría de las localidades estudiadas en los pisos Montano Alto y Montano Bajo presentaron una intervención grave y calidad escasa. Contrario a lo esperado, la calidad de gran parte de las localidades del piso del Piedemonte presentó intervenciones moderadas a mínimas y mejores condiciones biológicas. Es importante subrayar que ambos índices bióticos integran los conceptos de saporidad y el de diversidad pero tomando en cuenta la composición y adaptabilidad de los taxa, los cuales son consideradas al determinar la tolerancia de los diferentes grupos de organismos a los factores de perturbación. La presencia, o ausencia, de un taxón y/o su abundancia se pondera de acuerdo a la sensibilidad que presenta al factor de perturbación que se quiera valorar. El índice de Hilsenhoff (IBF) difiere del BMWP debido a que utiliza un promedio ponderado entre la abundancia del taxón y su valor de tolerancia. El índice BMWP ha probado ser más efectivo para la evaluación de ríos contaminados con materia orgánica dado que los puntajes de los valores de tolerancia de los taxa han sido desarrollados frente a esta fuente de contaminación. Tanto el BMWP como el IBF fueron inicialmente desarrollados para la evaluación de contaminación orgánica en los ríos (Johnson et al. 1993), aunque actualmente su uso se ha expandido para incluir otros tipos de contaminantes. Estos resultados de evaluación de la calidad ecológica deben ser examinados con cautela debido a que los valores de tolerancia de los taxa utilizados en el desarrollo de los índices fueron adaptados de la experiencia de otros autores, mientras que los organismos que habitan en la cuenca del Río Capaz, por tener un contexto evolutivo y ecológico distinto, podría arrojar valores de tolerancia diferentes a los utilizados. Otros aspectos que pueden influenciar el desempeño de los índices tienen que ver con la eficiencia del muestreo en recolectar una buena representación de la comunidad bentónica y con el uso de tolerancias frente a contaminantes orgánicos, mientras que al parecer el proceso de eutrofización y alteración de hábitats puede tener mayor importancia a las entradas orgánicas o tener un efecto multifactorial.

El tipo de uso y cobertura de la tierra que predominó en los pisos Montano Alto y Montano Bajo difirió en relación al de Piedemonte. En las zonas Montana Alta y Montana Baja predominan las actividades ganaderas, por lo que una superficie

importante de la cobertura de bosques originales ha sido convertida en pastizales, alterando seriamente el hábitat fluvial y la cobertura del bosque de ribera. En el Piedemonte predomina la actividad agrícola (en su mayoría cultivos de cacao), por lo que la disminución de la cobertura vegetal ha sido menor y ha tenido un menor impacto sobre los bosques de ribera y la calidad del hábitat lótico. Estos resultados son soportados por los indicadores del hábitat fluvial (IHF) y cobertura del bosque de ribera (QBR) cuyo uso ha sido satisfactorio, lo que concuerda con su aplicación en otras regiones del país (García et al. 2016). Las variaciones de estos índices se relacionan negativamente con el porcentaje de pastizales de la cuenca. De igual forma, el análisis espacial del uso y cobertura de la tierra coinciden con estos resultados e indican un menor porcentaje de bosques y una mayor porcentaje de área intervenida en la zona Montana Baja. La presencia del principal centro poblado del municipio (La Azulita) y la extensa red de carreteras ubicadas en la zona media de la cuenca (1.000 msnm) denotan la presión antrópica sobre las áreas de vegetación natural y su transformación a zonas productivas, tanto en forma de cultivos como de pastizales. Probablemente la presencia de este centro urbano en este piso altitudinal promueve una mayor actividad ganadera y un mayor impacto sobre los bosques de ribera afectando la calidad del hábitat fluvial y por tanto la calidad biológica de estos ecosistemas andinos.

De acuerdo a los resultados de este estudio el estado de conservación de la red hidrográfica de la cuenca del Río Capaz se presenta como un mosaico con áreas de elevada, moderada y baja intervención y degradación. Las actividades ganaderas han promovido gran parte de esta intervención, transformando la cobertura de vegetación natural en pastizales, alterando seriamente el hábitat fluvial y la integridad ecológica particularmente en zonas de elevaciones intermedias y altas. Es reconocido que la agricultura y ganadería son los sistemas de producción predominantes en la región (Aldana y Bosque 2008, Rodríguez et al. 2009). Las zonas del Piedemonte, aunque localmente han producido una gran degradación de algunos tributarios, en general los tributarios muestran mejor estado de conservación de la vegetación de ribera y del hábitat fluvial. En esta zona el crecimiento urbano, las actividades agrícolas y la densidad de las vías de comunicación constituyen una amenaza importante para las redes fluviales. La extracción de agua directamente de los ríos y la construcción de diques para el mismo fin, constituyen una amenaza importante para la conservación del flujo de agua en las tres zonas altitudinales estu-

diadas. En la zona Montana Baja esta situación provoca el cese del flujo de algunas quebradas durante el periodo de sequía, lo que a mediano plazo puede conducir a una seria limitación de este recurso para las poblaciones que habitan en la zona. Recientemente se ha reportado que pequeñas modificaciones al régimen histórico natural del flujo de la corriente tiene importantes consecuencias para la estructura y composición de la red de plantas ribereñas que están adaptadas evolutivamente a los cambios naturales del flujo (Tonkin et al. 2017). Unido a lo anterior, el cambio climático y la eliminación de la cubierta vegetal hacen particularmente vulnerable este recurso.

Los resultados del estudio en la cuenca del Río Capaz pueden ser tomados conservadoramente como representativos de los ríos del sur del Lago de Maracaibo (Eje Panamericano); es decir, las variadas corrientes que provienen de la vertiente norte de la cordillera de los Andes (Sierra de La Culata) y desembocan en la cubeta lacustre. Entre estos se puede mencionar los ríos Río Mucujepe, Río Perdido, Guachizón, Río Frío, Chimomó, Tucaní, Aguas Calientes, San Pedro, Torondoy, Chirurí y Pocó, entre otros. Estos cursos de agua, si bien pueden presentar características relativamente distintas, pueden ser bastantes similares en cuanto a sus orígenes, gradiente climático, unidades ecológicas, y comparten una historia de uso de suelos e intervención antrópica similares. Por lo que las consideraciones realizadas sobre las amenazas, manejo y conservación de la cuenca del Río Capaz pueden ser extrapoladas a estas cuencas.

Como síntesis se señalan entre las primeras causas de degradación de los ríos y la biota acuática de esta región las siguientes: a) transformación de la vegetación de ribera natural en pastizales debido a la extensión de la actividad ganadera sobre todo en los pisos montano bajo y montano alto, b) extracción de agua de los cauces naturales lo que conlleva alteraciones en el comportamiento hidrológico de los ríos y quebradas, c) descargas de aguas residuales de usos urbanos y agropecuarios a los cursos de agua alterando su calidad, d) deforestación a nivel de las subcuencas y cuencas lo que afecta los procesos hidrológicos que traen como consecuencias secado de los cauces durante las épocas de extrema sequía y aumentos drásticos de los caudales durante los períodos de lluvia implicando riesgos de inundación en las zonas bajas, e) canalización, remoción y extracción de materiales pétreos del lecho fluvial, alterando seriamente la granulometría, la carga hidráulica y los procesos geomorfológicos de los ríos y quebradas.

El control de las actividades ganaderas y agrícolas, así como la puesta en marcha de programas de reforestación de las cuencas y de los corredores ribereños son medidas necesarias de implementar para mejorar la conservación y el aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos de esta región. La cobertura vegetal natural es un elemento de suma importancia a considerar en el manejo hidrológico de las cuencas. La regulación hidrológica de las corrientes de agua depende en gran medida del mantenimiento de los bosques en sus cuencas. Su eliminación y conversión en pastizales ha puesto en riesgo la calidad y cantidad del recurso para las poblaciones humanas y constituye una amenaza durante los períodos de lluvias al incrementar de manera inusual los caudales de los ríos. Por otro lado, prolongadas sequías y los efectos de los eventos climáticos globales, como El Niño, provocan una disminución y escasez de este recurso, tanto para el mantenimiento de la función ecológica de los ecosistemas fluviales como para el suministro a las poblaciones humanas que lo demandan.

Agradecimientos

El presente estudio formó parte de un proyecto PEI-2011001266 financiado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Venezuela. Agradecemos las facilidades de transporte aportado por la División de Investigación de la Facultad Experimental de Ciencias de la Universidad del Zulia, asimismo agradecemos el desempeño en las labores de campo y laboratorio a Patricia Ortega, Paola Ortega, María Leal y Luis Sibira.

REFERENCIAS

Acosta R., Ríos B., Rieradevall, M. y Prat, N. 2009. Propuesta de un protocolo de evaluación de la calidad ecológica de ríos andinos (CERA) y su aplicación a dos cuencas en Ecuador y Perú. *Limnética*. 28 (1): 35-64.

Aldana, A. y Bosque, J. 2008. Cambios ocurridos en la cobertura/uso de la tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003". *GeoFocus*. 8: 139-168.

Aldana, A. y Bosque, J. 2008. Evaluación de la zonificación de uso del Parque Nacional Sierra de La Culata, Mérida-Venezuela. *Revista Forestal Latinoamericana*. 23(1): 9-34.

Allan J. D., Erickson D. L. y Fay, J. 1997. The influence of catchment land use on stream integrity across multiple spatial scales. *Freshwater Biology*. 37: 149-161.

Allan, J. D. y Castillo, M. M. 2007. *Stream Ecology: Structure and function of running waters*. Springer, The Netherlands.

American Public Health Association (APHA). 1992. *Standard Methods of Water and Wastewater*. 18th. ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation publication. APHA, Washington D.C.

Ataroff, M. y Sarmiento, L. 2004. Las Unidades Ecológicas de Los Andes. In. La Marca, E y Soriano P. J. *Reptiles de Los Andes de Venezuela*. MCTM, Mérida - Venezuela.

Benke, A. C., Van Arsdall, T. C., Gillespie, D. M. y Parrish, F. K. 1984. Invertebrate productivity in a subtropical blackwater river: the importance of habitat and life history. *Ecology*. 54: 25-63.

Bojsen, B. H. y Jacobsen, D. 2003. Effects of deforestation on macroinvertebrate diversity and assemblage structure in Ecuadorian Amazon streams. *Archiv für Hydrobiologie*. 158: 317-342.

Cárdenas, A., Carpio, R. y Escamilla, F. 2000. *Geografía física de Venezuela*. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Experimental Libertador.

Connors, M. E. y Naiman, R. J. 1984. Particulate allochthonous inputs: relationships with stream size in an undisturbed watershed. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 41: 1473-1484.

CORPOANDES. 2010. *Plan de Ordenación del Territorio del Municipio Andrés Bello*. Alcaldía Municipio Andrés Bello, La Azulita, Mérida.

Cressa, C. 2000. Macroinvertebrate community structure of 28 Venezuelan streams. *Internationale Vereinigung für Theoretische und Angewandte Limnologie: Verhandlungen*. 27: 1-8.

Duque, F. 1995. *Inventario y diagnóstico de los recursos naturales de la cuenca del Río Capaz en el marco de su ordenación legal*. Tesis de Maestría, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.

Elosegi, A. y Pozo, J. 2016. Altered organic matter dynamics in rivers and streams: ecological consequences and management implications. *Limnética*. 35(2): 303-322.

Feo, F. 1982. *Diagnóstico Conservacionista Fase I. Cuenca del Río Capaz*. MARNR. Mérida. Venezuela.

García-Silva, E, Barrios-Gómez, M., Rodríguez-Olarte, D. y Marrero C. 2016. Integración de escalas, gradientes ambientales e índices en la evaluación del estado de conservación de los ríos en la costa oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Interciencia*. 41 (5): 305-311.

Goldstein, I., Rojas-López J., Pulido, N. y Molina, Z. 2012. Sustentabilidad de los paisajes andinos de Venezuela. Emergencias territoriales prioritarias en la conservación del agua. *Revista Geográfica Venezolana*. 53(2): 213-238.

Golladay, S. W. 1997. Suspended particulate organic matter concentration and export in streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 16(1): 122-131.

González. C., Iturralde, J. y Picard, X. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas, Venezuela.

Graça, M. A. S., Ferreira, W. R., Firmiano, K., França, J. y Callisto, M. 2015. Macroinvertebrate identity, not diversity, differed across patches differing in substrate particle size and leaf litter packs in low order, tropical Atlantic forest streams. *Limnética*. 34(1): 29-40.

Gurtz, M. E., Marzolf, G. R., Killingbeck, K. T., Smith, D. L. y McArthur, J. V. 1988. Hydrologic and riparian influences on the import and storage of coarse particulate organic matter in a prairie stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 45: 655-665.

Gutierrez, E.R. 1983. *Clasificación de Tierras con fines agrícolas en la Cuenca Caus-Pocó, Estados Trujillo y Mérida*. Trabajo

- Especial de Grado. Escuela de Geografía. U.L.A. Mérida.
- Hilsenhoff, W. L. 1987. An improved Biotic Index of organic stream pollution. *The Great Lakes Entomologist*. 19: 31-40.
- Hilsenhoff, W. L. 1988. Rapid Field Assessment of Organic Pollution with a Family-Level Biotic Index. *Journal of the North American Benthological Society*. 7(1): 65-68.
- Jacobsen, D. 2004. Contrasting patterns in local and zonal family richness of stream invertebrates along an Andean altitudinal gradient. *Freshwater Biology*. 49: 1293-1305.
- Jacobsen, D. 2008. Tropical High-Altitude Streams, Chapter 8 (pp: 219-255) En: Dudgeon, D. (Ed). *Tropical Stream Ecology*. Academic Press.
- Jacobsen, D., Cressa, C., Mathooko, J. M. y Dudgeon, D. 2008. Macroinvertebrates: Composition, Life Histories and Production, Chapter 4 (pp. 66-97) En Dudgeon, D. (Ed.). *Tropical Stream Ecology*. Academic Press.
- Johnson, R. K., Wiederholm, T. y Rosenberg, W. D. 1993. Freshwater biomonitoring using individual organisms, populations, and species assemblages of benthic macroinvertebrates. (pp. 40-158) En: Rosenberg, D. M. y V. H. Resh (Eds). *Freshwater Biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Chapman y Hall, New York.
- Jones, J. B. 1987. Benthic organic matter storage in streams: influence of detrital import and export, retention mechanisms, and climate. *Journal of the North American Benthological Society*. 16: 109-119.
- M.A.R.N.R. 1991. *Situación Actual del Parque Nacional Sierra de La Culata. (Informe solicitado por la Comisión Permanente de Turismo y Ambiente de la Cámara del Senado del Congreso de la República)*. INPARQUES, Dirección Regional de Mérida.
- Minshall, G. W., Petersen, R. C., Cummins, C. E., Bott, T. L., Sedell, J. R., Cushing, C. E. y Vannote, R. L. 1983. Interbiome comparison of stream ecosystem dynamics. *Ecological Monographs*. 53: 1-25.
- Minshall, G. W. 1967. Role of allochthonous detritus in the trophic structure of a woodland springbrook community. *Ecology*. 48: 138-149.
- Naiman, R. J. y Sedell, J. R. 1979. Benthic organic matter as a function of stream order in Oregon. *Archiv für Hydrobiologie*. 87: 404-422.
- Naiman, R. J., Melillo, J. M., Lock, M. A., Ford, T. E. y Reice, S. R. 1987. Longitudinal patterns of ecosystems processes and community structure in a subarctic river continuum. *Ecology*. 68: 1139-1156.
- Ochoa, G., O., Oballos, J., Jaimes, E. y Manrique, J. 2004. Relación entre el material parental y el pH de los suelos en los Andes venezolanos. *Revista Geográfica Venezolana*. 45(2): 281-288.
- Osoario, B. y B. Andrade. 1984. *Proyecto Conservacionista de las Cuenca Alta de los Ríos Macho-Capaz, Municipio Jají, Edo. Mérida*. Tesis Ingeniería en Ciencias Forestales. Universidad de los Andes. Mérida. Venezuela.
- Pardo, I., M. Álvarez, J. Casas, J., Moreno, L., Vivas, S., Bonada, N., Albatercedor, J., Jáimez-Cuéllar, P., Moyà, G., Prat, N., Robles, S., Suárez, M. L., Toro, M. y Vidal-Abarca, M. R.. 2002. El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica*. 21: 115-132.
- Pelayo, R. y Soriano, P. 2010. Diagnóstico ornitológico del estado de conservación de tres cuencas altoandinas venezolanas. *Ecotropicos*. 23(2): 79-99.
- Rivas, R. G. y Delgado, C. H. 1980. *Estudio físico-geográfico del pie de monte andino lacustre del Sur del Lago de Maracaibo, en el sector comprendido entre los ríos Onia y Capazón (con énfasis en Geomorfología)*. Trabajo especial de grado para optar a Licenciatura de Geografía. ULA. Mérida. Venezuela.
- Roa, J. G. 2004. El sistema fluvial de la planicie Motatán-Lago de Maracaibo. Una introducción a su análisis cartográfico-histórico. *Revista Geográfica Venezolana*. 45(1): 67-90.
- Rodríguez, M. 2005. *Cambio del paisaje en la cuenca del río Capaz*. Trabajo especial de Grado. Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Rodríguez, M., Chacón, E. y Ataroff, M. 2009. Transformación del paisaje de selvas de montaña en la cuenca del Río Capaz, Andes Venezolanos. *Ecotropicos*. 22(2): 64-82.
- Segnini, S. y Chacón, M. 2005. Caracterización físico-química del hábitat interno y ribereño de ríos andinos en la cordillera de Mérida, Venezuela. *Ecotropicos*. 18(1): 38-61
- Segnini, S. y Chacón, M. 2017. El Chama: Un río en riesgo. Capítulo 2 (pp. 29-58) En: Rodríguez-Olarte, D. (Ed.), *Ríos en Riesgo de Venezuela. Volumen I*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela
- Segnini, S., Correa, I. y Chacón M. 2009. Evaluación de la calidad del agua de ríos en los andes venezolanos usando el índice biótico BMWP. Tema 14 (pp: 223-260) En: Arrivillaga, J., El Souki, M. y Herrera, B. (Eds.). *Enfoques y Temáticas en Entomología*. XXI Congreso Venezolano de Entomología. Sociedad Venezolana de Entomología.
- Smock, L. A., Metzler, G. M. y Gladden, J. E. 1989. Role of debris dam in the structure and functioning of low gradient headwater streams. *Ecology*. 70: 764-775.
- Smock, L.A. 1990. Spatial and temporal variation in organic matter storage in low gradient, headwater streams. *Archiv für Hydrobiologie*. 118: 169-184.
- StatSoft, Inc. 2004. *STATISTICA* (data analysis software system), version 7. www.statsoft.com.
- Studholme, A. M., Hipo-Leon, L. F., Ríos-Rivera, A. C. y Recalde-Moreno, C. G. 2014. Altitudinal and temporal variability of four macroinvertebrate communities in Andean streams, Sangay National Park, Ecuador. *Entomotrópica*. 29(3): 149-158.
- Tank, J. L., Rosi-Marshall, E. J., Griffiths, N. A., Entekin, S. A. y Stephen, M. L. 2010. A review of allochthonous organic matter dynamics and metabolism in streams. *Journal of the North American Benthological Society*. 29(1): 118-146.
- Uriarte, M., Yackulic, C. B., Lim, y Arce-Nazario, J. A. 2011. Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis. *Landscape Ecology*. 26:1151-1164.
- Vivas, L. 1970. *Estudio integral básico de las Cuencas de los ríos Chama y Capazón*. Estado Mérida. Venezuela. XI Convención de la unión Panamericana de Asociaciones de Ingenieros. Instituto de Geografía. ULA.

- Vivas, L. 1992. *Los Andes Venezolanos*. Academia Nacional de Historia. Caracas.
- Wasson, J. G., y Marín, R. 1988. Tipología y potencialidades biológicas de los ríos de altura en la región de La Paz (Bolivia): metodología y primeros resultados. *Memoria Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 48: 97-122.
- Webster, J. R. y Meyer, J. L. Organic matter budgets for streams: a synthesis. *Journal of the North American Benthological Society*. 16(1): 141-161.

2004



2015



En Las Claritas (Bolívar) la minería de oro es antigua, al igual que la pérdida de los suelos y sus bosques, de los ríos ríos y sus peces. Todo aún sin justicia y sin solución. La destrucción se nota en el cauce modificado (línea roja) y en las coberturas de bosque (línea amarilla). Imágenes modificadas de DigitalGlobe 2018 (<http://www.earth.google.com>).

Ríos en riesgo al Mar Caribe y al Golfo de Venezuela

Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE^{1,4}, Crispulo J. MARRERO^{2,4}
y Donald C. TAPHORN³

1. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.
douglasrodriguez@ucla.edu.ve
2. Museo de Ciencias Naturales Guanare. Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora, UNELLEZ. Guanare, estado Portuguesa, Venezuela.
krispulom@gmail.com
3. 1822 North Charles Street, Belleville, Illinois, 62221, USA.
taphorn@gmail.com
4. Red Iberoamericana para la formulación y aplicación de protocolos de evaluación del estado ecológico, manejo y restauración de ríos (IBEPECOR)

Los ríos en las vertientes al Golfo de Venezuela y al Mar Caribe Occidental y Central del país (~60.000 km²) drenan tierras con una enorme población humana, que se emplaza y crece en sus riberas, depauperando sus recursos hidrobiológicos. Para inferir sobre el estado de 65 ríos se valoró su geografía, clima, vegetación, aguas, biotas, coberturas boscosas y estado de conservación, este último mediante un índice de cobertura natural modificado. Según los registros, estas vertientes generaban unos 239 m³/s de aguas dulces, con un poco más del 50% aportados por los ríos Tocuyo y Tuy; pero se estima que estos caudales han disminuido. Alrededor de un tercio de los ríos tienen 34 embalses mayores, canalizaciones y/o desvío de sus cauces, mientras en casi todos se vierten efluentes urbanos. El endemismo de la ictiofauna es importante (32% en 102 especies) pero restringido y muchas especies están amenazadas, así como otros vertebrados acuáticos. Las áreas protegidas tienen efecto positivo pero limitado para la conservación estricta de los ríos. De la población total (7.217.558 personas) el 65% se registra en dos cuencas. Los principales impactos sobre los ríos son 1) contaminación por efluentes antropogénicos en su mayoría no tratados adecuadamente, 2) extracción de agua de los cauces, 3) deforestación de cuencas altas y bosques ribereños, 4) transformación del hábitat fluvial y 4) minería no metálica. De usual, la pérdida de coberturas naturales se asocia con las perturbaciones anteriores: más de 75% de las cuencas tiene cobertura pobre o muy pobre y menos del 1% tiene una cobertura elevada. Estas vertientes contienen los ríos más contaminados de Venezuela pero también con una diversidad biológica importante. Es de prioridad la restauración y conservación de los ríos y se prevé que en el corto plazo se apliquen protocolos adaptados para el biomonitoreo, restauración y conservación de los ríos costeros.

Palabras Clave: Ríos en riesgo de Venezuela, Mar Caribe, recursos hidrobiológicos, cuencas hidrográficas, ecosistemas fluviales

1. INTRODUCCIÓN

Venezuela es el país con mayor extensión continental costera en el Mar Caribe y le aporta un volumen importante de agua dulce a través de unas 130 desembocaduras de ríos y lagos. Estos drenajes costeros acumulan un caudal de 1.687 m³/s (MIN-AMB 2010), representando un poco menos del 5% del caudal promedio del Orinoco, pero una importancia fundamental para la región caribeña del país, pues millones de personas, emporios industriales y agrícolas subsisten gracias a los mismos y a sus recursos hidrobiológicos, económicos y culturales. Estos ríos varían en gran medida a lo largo de la geografía costera, pues su tipo y distribución, así como sus aguas, biotas y gentes, son respuesta a una notable variedad de paisajes y ecosistemas.

La vertiente Caribe de Venezuela abarca desde la Península de la Guajira (Laguna de Cocinetas) hasta la Península de Paria (Promontorio de Paria) y, de manera general, por el occidente incluye drenajes de la Península de la Guajira y el flanco interno y norte de la Cordillera de los Andes de Venezuela, expresados por varias sierras (Mérida, Culata, Portuguesa), le siguen el Sistema Coriano y la Cordillera de la Costa, esta última es dividida (Cordillera del Interior) e interrumpida al oriente, donde reaparece y conforma sendas penínsulas. La historia de la vertiente Caribe de Venezuela se asocia con la relación de un río ancestral y la tectónica de las cordilleras al norte de Suramérica. Un río ancestral (llamado aquí proto-Orinoco) desembocaba en lo que hoy son los drenajes costeros del noroccidente de Venezuela (Maracaibo-Falcón) y gracias a la orogénesis andina su curso sería desviado progresivamente al este geográfico, hasta su actual ubicación bordeando el Macizo Guayanés (Rodríguez-Olarte et al. 2009). A partir de una nueva divisoria de aguas se conformarían las cuencas pericontinentales del país, algunas con drenajes andinos (Maracaibo, Tucuyo), otras asociadas con orografías costeras (Aroa, Tuy) o con los llanos orientales (Unare), por ejemplo. La denudación en unión con climas variados, desde muy húmedos (sur de Maracaibo, Barlovento) hasta muy secos (Paraguaná, Araya), permitiría a los ríos locales modelar planicies en las depresiones y conos explayados en las taludes profundos del mar. De igual manera, la flora y fauna en esos drenajes al mar mostraría rasgos distintivos entre las grandes cuencas gracias al aislamiento geográfico prolongado, pero también a los eventos de transgresión y regresión marina y a los rigores del clima (Rodríguez-Olarte et al. 2011a).

La mayoría de los ríos al Mar Caribe drenan cuencas bajo fuertes impactos que tienen por lo regular varios siglos de recurrencia y magnificación

progresiva. A los ríos costeros ingresan las aguas residuales de grandes ciudades y centros industriales y agrícolas (Zinck 1977, Rodríguez-Olarte et al. 2015a) y a esto se suma la deforestación extensiva en toda la región (Madi et al. 2011), lo que ha disminuido el potencial de los ríos como fuente de servicios ecosistémicos, eso sin considerar su extraordinario ecológico valor como ecosistema y el de su diversidad biológica asociada.

En este siglo se han incrementado en gran medida las evaluaciones ambientales en los ríos costeros del país, principalmente en los drenajes occidentales y centrales al Mar Caribe. En la mayoría de los casos no se han aplicado protocolos estandarizados para el monitoreo de los ríos y/o para determinar los estados de conservación. Así, para los ríos al Mar Caribe es usual que los reportes tengan énfasis sobre las variables de las aguas para estimar su calidad con fines de consumo humano y, eventualmente, agrícola; de resto existe una notable vacío de información sobre el estado de conservación los ríos (ej. tipo y conformación del sustratos, comunidades biológicas) y sus riberas (ej. coberturas de bosques ribereños, erosión de taludes).

El estado de conservación es conocido solamente para algunos ríos en la región centro occidental (ej. Aroa, Tucuyo; Rodríguez-Olarte et al. 2006, 2007), pero también se han aplicado valoraciones generales en escalas mayores en los drenajes al Mar Caribe: Rodríguez-Olarte et al. (2015b) actualizaron datos e información sobre los ríos en el occidente (Mitare, Coro, Ricoa, Hueque, Tucurere, Tucuyo, Aroa, Yaracuy y Urama), mientras que González-Oropeza et al. (2015) y Lasso et al. (2015) lo hicieron para la cuenca del Tuy y los pequeños drenajes del litoral central del país, respectivamente.

No se dispone aún de la integración de la información generada sobre los ríos del país, de manera que puedan reconocerse clases o magnitudes de conservación. Se entiende entonces que la reunión de datos e información sobre las principales características de los ríos costeros de Venezuela puede servir de base para inferir sobre su estado; más aún: puede servir para crear y actualizar bases de datos con utilidad para los previsible estudios sobre la integridad de comunidades y ecosistemas, así como la aplicación de programas de monitoreo en diferentes escalas espaciales y temporales. En este capítulo se presenta una caracterización de los principales ríos que drenan las vertientes al Golfo de Venezuela, así como al Mar Caribe occidental y central de Venezuela, abarcando aspectos sobre su geografía, clima, vegetación, fauna acuática, demografía, intervención y estados de conservación.

2. MÉTODOS

Se han agrupado las cuencas costeras (pericontinentales) en vertientes hidrográficas, acorde con sus similitudes geográficas, climáticas y biológicas. De manera general, la vertiente Caribe de Venezuela se divide en cinco grupos de drenajes con características particulares (Figura 1):

- I. **Vertiente al Golfo de Venezuela.** Incluye los ríos que desembocan entre Castilletes (Península de la Guajira) hasta el Cabo San Román (Península de Paraguaná). Los drenajes en la costa occidental del golfo (Ia) van desde la Laguna de Cocinetas hasta el caño Pararú (Sagua), al norte del pueblo de Paraguaipoa. Los drenajes en la costa oriental del golfo (Ib) incluyen desde el río Maticora hasta la quebrada Macama (Punta Macama), al este el Cabo San Román, en la Península de Paraguaná. En medio de estos drenajes desemboca el Lago de Maracaibo.
- II. **Cuenca del Lago de Maracaibo.** Incluye a todos los ríos que desembocan en el lago y en el Estrecho de Maracaibo. El río Limón desemboca en el estrecho y además conforma un humedal (complejo lagunar Sinamaica-El Eneal) que se extiende a largo de la costa. Igual ocurre con el río Cocuiza, en la costa oriental del lago, donde conforma el complejo lagunar de la ciénaga de Los Olivitos.
- III. **Vertiente al Mar Caribe occidental.** Desde el Cabo San Román (quebradas Santa Cruz - El

Amparo) en la Península de Paraguaná hasta el río Sanchón, en la vertiente occidental de la Fila Los Cajeros de la Cordillera de la Costa.

- IV. **Vertiente al Mar Caribe central.** Desde el río Aguas Calientes, en la vertiente oriental de la Fila Los Cajeros, hasta el río Uchire en la Fila Maestra de la Cordillera del Interior.

- V. **Vertiente al Mar Caribe oriental.** Desde la Fila Maestra de la Cordillera del Interior hasta el extremo norte de la Península de Paria (promontorio de Paria).

Para las vertientes I, III y IV se recopilaron y actualizaron datos e información sobre 65 ríos considerando la geografía, superficies y drenajes, clima, vegetación y usos de la tierra, demografía y contaminación, entre otros. Se emplearon datos geoespaciales (cartas, mapas, archivos de capas digitales e imágenes satelitales, entre otros) obtenidos principalmente de las siguientes fuentes: 1) ediciones de los Sistemas ambientales venezolanos (proyecto VEN/79/001) y de la Comisión de Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), 2) capas digitalizadas y mapas topográficos del Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) en sus portales sobre los sistemas de Información para la Gestión y Ordenación del Territorio (SIGOT, <http://www.igvsb.gob.ve/sigot.geoportalsb.gob.ve>) y para la Gestión Integral de las Aguas (SIGIA, siga.geoportalsb.gob.ve), 3) datos del censo

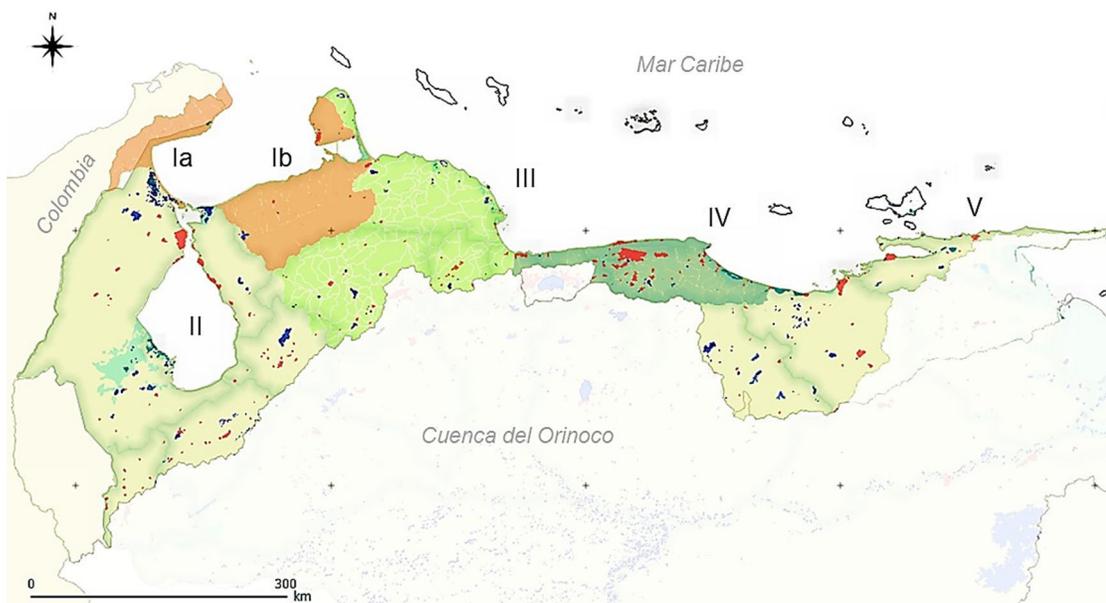


Figura 1. Drenajes al Golfo de Venezuela y al Mar Caribe. Vertiente occidental (Ia) y oriental (Ib) al Golfo de Venezuela y cuenca del Lago de Maracaibo (II). Vertientes al Caribe occidental (III), central (IV) y oriental (V). En este trabajo se incluyen solo las vertientes I (Ia y Ib) y III.

nacional 2011 (Instituto Nacional de Estadística, INE; www.ine.gov.ve), 4) la red virtual de datos ecológicos geolocalizados (Ecosig; www.ecosig.org.ve; Rodríguez et al. 2014), 5) hydrobasins (www.hydrosheds.org; Lehner y Grill 2013), 6) Libro Rojo de la Fauna venezolana (animalesamenazados.provita.org.ve; Rodríguez et al. 2015), 7) Libro Rojo de los Ecosistemas de Venezuela (www.provita.org.ve; Rodríguez et al. 2010) y 8) mapa digital del relieve de Venezuela (pubs.usgs.gov/of/2004/1322; Garrity et al. 2010). De igual manera, se accedió a las bases de datos de colecciones biológicas (Colección Regional de Peces, CPUCLA; Museo de Ciencias Naturales Guanare, MCNG).

Mediante un sistema de información geográfica (QGIS 2.16.2) se reconocieron y delimitaron las cuencas, sus áreas y ríos mediante las capas digitalizadas obtenidas en las fuentes indicadas. Mediante un visualizador geográfico (Google Earth Pro, 2015) se examinaron imágenes satelitales actualizadas sobre los drenajes costeros de Venezuela, para reconocer, delimitar y cuantificar aspectos geográficos y usos de la tierra, principalmente las intervenciones asociadas con los ríos: centros urbanos, industrias, canalizaciones y desvíos de cauces, embalses y minerías, entre otras.

En las vertientes I, III y IV se evaluaron 65 ríos en sentido oeste-este. Algunos ríos no fueron considerados por su cuenca muy pequeña (<15 km²), corriente eventual o intermitente y/o por carencia de información sobre los mismos. Los ríos mayores fueron valorados individualmente (ej. Paraguachón, Mitare, Tocuyo, Tuy) y los otros ríos menores se agruparon según accidentes geográficos. La información ordenada sobre los ríos se presentó en varias secciones.

- a) **El Paisaje, relieve e hidrografía:** trata sobre la ubicación de la red hidrográfica local en el ámbito del paisaje y el relieve, considerando su relación con las orografías, alturas y superficies. Las unidades y regiones del paisaje se tomaron de Huber y Oliveira-Miranda (2010). Aquí se indican aspectos sobre el tipo de drenaje, longitud, rumbo, tributarios y desembocadura. Los nombres empleados (accidentes geográficos, hitos, ríos, ciénagas, pueblos, etc.) son los correspondientes a los mapas topográficos (escala 1:100.000) de la Dirección de Cartografía Nacional del antiguo Ministerio de Obras Públicas de Venezuela.
- b) **Clima y vegetación:** se incluyen aspectos básicos y registros -cuando disponibles- sobre la precipitación y temperaturas locales o regionales, así como los principales tipos de vegetación en la cuenca, de usual formaciones vegetales.

- c) **Aguas:** se consideraron los datos reportados y propios sobre caudales y variables físico-químicas, usualmente pH, conductividad, sólidos totales disueltos, etc. Los registros sobre los caudales son en la mayoría de los casos, poco accesibles y desactualizados, por lo que los valores utilizados no son necesariamente representativos de las condiciones actuales.
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** se resumen los principales aspectos sobre la ictiofauna local. Eventualmente se incluyen datos sobre otros grupos de vertebrados según su relevancia o situación de amenaza. Se consideraron las versiones actualizadas de libros rojos (Rodríguez et al. 2015), publicaciones, reportes regionales y datos de colecciones biológicas. Además, se incluye información sobre usos típicos para las especies y registros sobre especies introducidas.
- e) **Áreas protegidas:** se identificaron, ubicaron y cuantificaron las principales áreas protegidas: parques nacionales, monumentos, naturales, zonas protectoras, etc.
- f) **Usos de la tierra:** se identificaron y ubicaron los principales usos de la tierra (deforestación, agricultura) y su relación con los cursos fluviales mediante imágenes satelitales y visitas de campo eventuales.
- g) **Demografía:** Se dispuso de registros del censo nacional (2011) para estimar la población y su densidad por cada cuenca hidrográfica. Se emplearon capas digitalizadas en la superposición de municipios y parroquias por cada cuenca.
- h) **Alteración de cauces:** Se revisaron mapas cartográficos e imágenes satelitales para revisar los cauces en el área de estudio. Se cuantificaron los cauces con intervenciones mayores (canalizaciones y desvíos). Se ubicaron los embalses mayores por cada cuenca, considerando sus superficies y ubicación, mediante revisión bibliográfica, capas digitalizadas e imágenes satelitales.
- i) **Estado de conservación:** Los bosques, principalmente los bosques ribereños, amortiguan el ingreso de sedimentos a los cauces, favorecen el flujo hídrico y contribuyen con la diversificación de los hábitats acuáticos y la diversidad biológica asociada (Rodríguez-OlarTE et al. 2006b). Esto indica que las coberturas y usos de la tierra predicen el estado de conservación de los ríos. Con base en lo anterior y para valorar el estado de conservación aparente de las cuencas y sus ríos se exploraron y relacionaron imágenes satelitales, las capas digitales de áreas protegidas de Venezuela (sigot.geoportalsb.gob.ve), datos del Libro Rojo de los Ecosistemas de Venezuela (Rodríguez et al.

2010) y el mapa de grados de intervención (GDI) de formaciones vegetales de Venezuela; en este último se asigna un grado de conservación expresado por un índice básico de coberturas y clases de conservación (Madi et al. 2011). Aquí, los estados se reconocieron en cuatro clases de conservación (CC). La clase 1 (CC1) fue de conservación buena, lo que equivale al predominio de coberturas naturales en la superficie de la cuenca (ej. cuencas pequeñas cubiertas por parques nacionales o monumentos naturales), clase 2 (CC2: conservación regular), clase 3 (CC3: conservación pobre) y clase 4 (CC4: conservación muy pobre); esta última clase se caracteriza por la eliminación de gran parte de la cobertura natural, usualmente predominan áreas agropecuarias y urbanas. Para complementar esta información se incluyeron consideraciones generales de los ríos con base en las secciones previas sobre el estado de conservación de los ríos y grupos de ríos.

3. RESULTADOS

3.1. Vertiente al Golfo de Venezuela: Costa Occidental (Ia)

3.1.1. Río Paraguachón (Carraipía-Paraguachón)

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera) y Región D (subregión D.1. Serranía de Perijá). El río Paraguachón (Carraipía en Colombia) drena una pequeña cuenca que nace en la Sierra de Montes de Oca (806 msnm), con 314 km² de su territorio en Colombia (municipio Maicao, departamento Guajira) y con 240 km² en el municipio Guajira del estado Zulia de Venezuela (Figura 2, Tabla 1). El cauce principal tiene una dirección inicial de sur a norte y luego, en las planicies, cambia hacia el noreste. Aguas abajo de la frontera el cauce se anastomosa y conforma la Ciénaga de Irurpana; luego, los cauces se dirigen al caño Guarúrtain para desembocar finalmente en el Golfo de Venezuela. La cuenca tiene dos unidades generales divididas por la Falla de Oca: la zona de montaña baja con colinas al sur y las planicies aluviales y fluvio-marinas, que abarcan la mayor superficie en la cuenca. En las planicies el cauce principal es excavado y con curso meándrico, destacando la erosión de taludes en las zonas bajas.
- b) **Clima y vegetación:** En la cuenca alta la precipitación y temperatura promedio anual alcanza 1.154 mm (500 msnm) y cerca de los 25°C, mientras que en las planicies es de 673 mm y cerca de 28°C. Los bosques ralos predominan en la cuenca baja y en las cercanías al mar predominan los matorrales y el suelo desnudo. Casi todas las

especies leñosas tienen importancia como madera para la construcción y leña. La vegetación está muy intervenida en toda la cuenca y sólo persisten sectores con bosques en la cuenca alta. En la zona de montaña la deforestación es limitada a la vertiente norte, mientras que en las planicies y por encima de los 40 msnm predominan los potreros para la ganadería extensiva y en menor cuantía las áreas de cultivos, ambos sistemas de producción extraen agua directamente de los cauces (Corpoguajira 2007). Los bosques ribereños tienen coberturas amplias en las cabeceras y en las planicies a mayor altura, pero en la cuenca baja son escasos gracias a las perturbaciones humanas.

- c) **Aguas:** Predominan los cauces con corrientes intermitentes, principalmente en la cuenca baja. Cuando el río Carraipía ingresa a las planicies un volumen importante de su caudal es desviado a un acueducto que provee de agua potable a la ciudad de Maicao (~100.000 habitantes). En la frontera el río es intermitente y el caudal medio registrado es de 0,8 m³/s (Tabla 1). En pocos meses el río se seca (febrero y marzo) mientras que en diciembre se registran los valores máximos, con 2,7 m³/s, medidos en la frontera (Corpoguajira 2007). En Paraguachón (frontera) el agua del río ha presentado concentraciones elevadas de coliformes y elevada demanda bioquímica de oxígeno (Corpoguajira 2007) sugiriendo fuentes de contaminación por aguas negras y residuos sólidos aguas arriba.
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** En los pocos ríos que drenan al occidente del Golfo de Venezuela (Guajira y río Limón) se han registrado un poco más de 60 especies de peces, con el predominio de las familias Loricariidae (11 especies), Characidae (nueve especies) y Rivulidae (siete especies). La mayoría de estas especies son endémicas para la provincia biogeográfica Maracaibo (Rodríguez-Olarte et al. 2011a). En la región de la Guajira su distribución es consecuencia de la intensidad más de los periodos de sequía que de los periodos de lluvias. Varios de estas peces son consideradas en situación de amenaza, como es el caso del pez anual de la Guajira (*Austrofundulus guajira*), que vive en pozos aislados en los desiertos y es considerado como vulnerable (Taphorn y Rodríguez-Olarte 2015a), y la rachovia de la Guajira (*Rachovia brevis*), la cual si está en categoría de peligro crítico (Taphorn y Rodríguez-Olarte 2015a, 2015b). Esta especie de pez anual es simpátrica con *Austrofundulus guajira* y *Rachovia hummelincki*, las cuales son -como la mayoría de los Rivulidae dulceacuícolas locales- incluidas en las listas rojas de Venezuela. Todas estas especies de

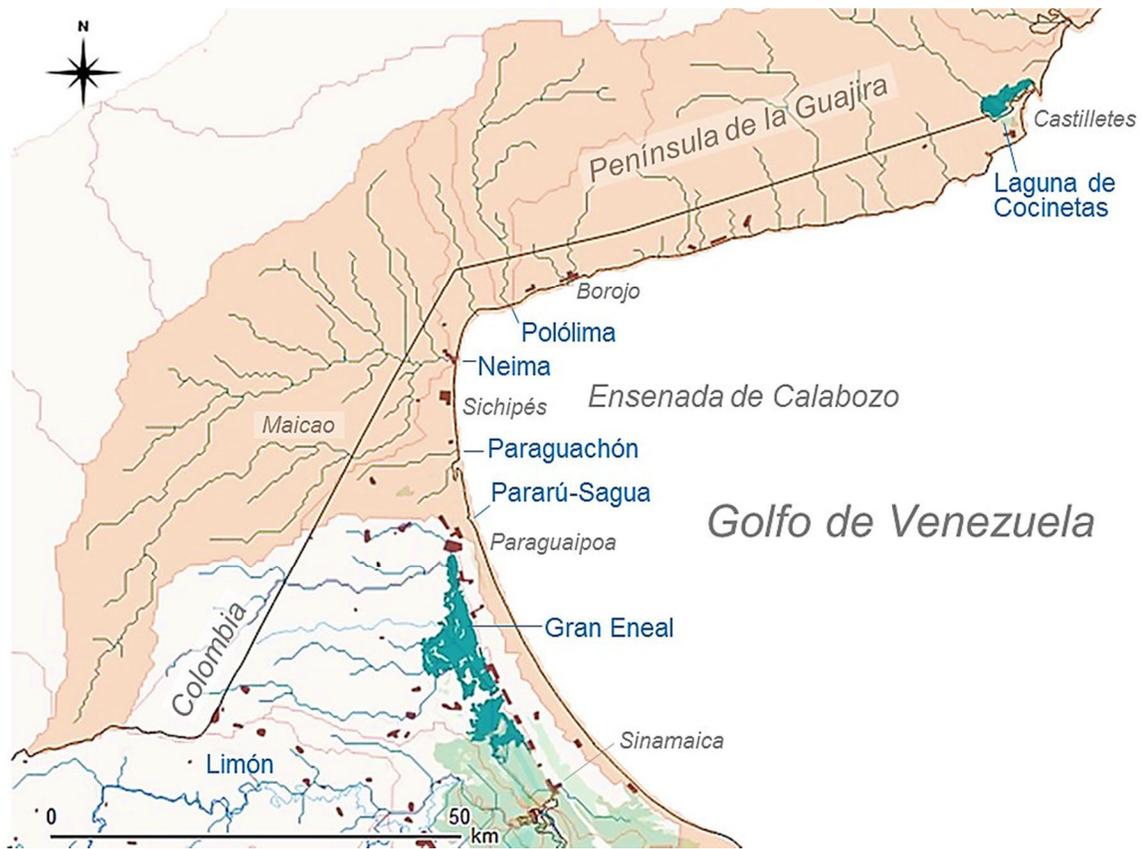


Figura 2. Vertiente occidental (Ia) del Golfo de Venezuela y sus principales ríos y lagunas. Se muestran las principales divisorias de aguas (líneas finas). Los centros poblados y designaciones geográficas están en cursiva. Las mayores ciudades son Paraguaipoa, Paraguachón y Maicao (Colombia).

peces anuales en la región están en situación de riesgo, el cual se ha incrementado notablemente en este siglo.

En la provincia Maracaibo el nivel de endemismo es muy elevado, por lo que frente a las previsiones del cambio climático y la expansión de la frontera agrícola y urbana se predice, por ejemplo, una reducción importante de los hábitats acuáticos y por consecuencia de las poblaciones de peces, lo cual puede afectar su sobrevivencia en el plazo mediano. En los ríos locales algunas especies tienen tamaño moderado e interés en la pesca de subsistencia (*Prochilodus reticulatus*, *Schizodon corti*, *Caquetaia kraussii*, *Geophagus steindachneri*, *Rhamdia quelen*, *Hypostomus* sp., *Pimelodus coprophagus*). Igualmente, tienen interés para el consumo las especies asociadas a las desembocaduras, como *Cathorops spixii*, *Centropomus* sp., *Eugerres plumieri* y *Mugil curema*, por ejemplo.

- e) **Áreas protegidas:** En las cabeceras (Colombia) la reserva forestal protectora Montes de Oca ocupa 12.294 ha; de resto, no hay parques nacionales u otras figuras de conservación importantes. Esta

área protegida en la cuenca alta y la presencia de bosques ribereños sugieren la conservación potencial del cauce y las aguas en algunos sectores.

- f) **Usos de la tierra:** La erosión es muy activa en la cuenca -salvo los cerros- y es asociada con la expansión de la frontera agrícola; no obstante, la revisión de imágenes histórica no indica cambios importantes en la ya escasa cobertura vegetal en las cuencas al norte (Cocinetas, Pololima). Más al sur (Paraguachón, Pararú) la vegetación natural (bosques bajos y matorrales compactos) tienen una deforestación importante en las planicies. En toda esta vertiente predomina la ganadería caprina.
- g) **Demografía:** el principal centro poblado en la cuenca es Paraguachón y es limítrofe, pero con mayor desarrollo en Colombia. En las divisorias al sureste de la cuenca Paraguachón y existe un cordón urbano (Guareo, Arepeta, Moina) que se asocia con las carreteras principales y se extiende hasta Paraguaipoa. Se estima que en la toda la vertiente occidental habitan unas 184.990 personas; sin embargo, alrededor de 160.000 habitan en el lado colombiano (Maicao), en la cuenca del río

Tabla 1. Principales ríos en las vertientes al Golfo de Venezuela (VGV este y oeste) y al Mar Caribe Occidental (VCO). El origen y tratamiento de los datos es indicado en los métodos. En la Corriente se indica su tipo (T): eventual (e), intermitente (i), permanente (p) y el caudal (m³/s). La Población humana es basada en el censo nacional de 2011. En Perturbaciones están: Embalses en número (N°) y superficie del espejo de agua (ha), la canalización y desvío (CD) de cauces principales (c) y tributarios (t), y los efluentes (E), que son urbanos (u) e industriales (i). La mayoría de los ríos reciben efluentes agropecuarios. Las clases de conservación (CC) son: buena (1), regular (2), pobre (3) y muy pobre (4). En los Ríos se indica: entre paréntesis para el número de áreas protegidas (parques nacionales y monumentos naturales) en su cuenca; en (a) sólo la superficie dentro de Venezuela. En Población humana (b) incluye principalmente la población de Colombia dentro de la cuenca de Maicao (b).

Ríos	Cuenca (km ²)	Corriente		Población humana	Perturbaciones				CC
		T	(m ³ /s)		Embalses		CD	E	
					N°	ha			
Golfo de Venezuela oeste ^a									
Polólima	23	e		4.100	1	0,61		u	3
Neima	93	e	0,1	160.000 ^b				ui	3
Paraguachón	240	i	0,8	4.000			ct	ui	4
Pararú-Sagua	141	i	0,1	15.000				u	4
Otros	224	i		1.800		2,2			3
Golfo de Venezuela este									
Maticora	2.713	p	9,9	16.107	1	2.966		ui	4
Borojó	526	i	0,9	23.000				u	3
Capatárída	608	i	0,6	8.052	1	234		u	3
Zazárída	925	i	1,3	5.457				ui	3
Urumaco	447	i	0,1	6.033				u	3
Mitare (1)	4.597	i	14,8	31.000	1	1.215		ui	3
Paraguaná oeste (1)	1.760	i	0,5	281.023	1	31,6	c	ui	3
Otros	3.391	i	1,0	26.500		41			3
Vertiente Caribe Occidental									
Paraguaná este (1)	930	i	0,5	54.230	2	21,8		ui	4
Coro (2)	689	i	0,9	180.812	2	1.903	c	ui	3
Ricoa (1)	813	p	1,6	11.830	1	620		ui	4
Hueque (1)	4.217	p	4,0	23.660	1	586		ui	3
El Cristo	131	p	0,5	3.341	1	207		u	4
Tucurere	684	p	0,7	19.045				u	4
Tocuyo (4)	17.722	p	48,4	490.833	7	5.428	ct	ui	4
Aroa (1)	2.463	p	6,0	83.635			ct	ui	3
Yaracuy (2)	2.481	p	16,0	497.555	2	875	ct	ui	4
Urama	590	p	2,2	69.236	1	534	ct	ui	4
Morón	147	p	1,0	60.588	1	6,8	c	ui	2
Sanchón (1)	102	p	0,4				c	u	1
Otros	697		2,0	17.500		790			3

Neima (Tabla 1). La densidad de población entre las cuencas tiene extremos importantes: al norte es muy baja, menor a 10 ind/ km², mientras que en la cuencas binacionales de Neima y Pararú-Sagua es de 99 y 106 ind/km², respectivamente.

h) **Alteración de cauces:** el cauce del río ha sido desviado y canalizado a partir del pueblo de Paraguachón y al margen de la frontera internacional

(Figura 2). Luego de Paraguachón el cauce corre paralelo a la frontera unos 6,6 km con dirección nornordeste, desemboca en otro cauce (también canalizado) con orientación sureste, cruza la frontera y retorna hasta la Ciénaga de Irurpana.

i) **Estado de conservación:** En las cuencas al norte predominó la clase de conservación 3 (CC3). Ahí la cobertura natural es dominada por el suelo

desnudo y la intervención humana es escasa. Al sur, las cuencas son reconocidas como CC4; ahí la cobertura natural en tierras medias es de bosque ralos bajo severa intervención. El río Paraguachón tiene importancia por su condición binacional, ya que los eventos en su cuenca alta tienen efecto sobre las áreas bajas en Venezuela.

La información disponible sugiere que este río tiene comprometida su conservación porque: (a) un volumen importante del agua del río es dedicada para suplir las necesidades de los centros poblados (principalmente Maicao, Carraipía y Paraguachón) y áreas de producción agropecuaria, (b) al río ingresan aguas servidas no tratadas y residuos sólidos de varios centros urbanos, (c) la canalización y desvío de cauces y (d) efectos del cambio climático, lo cual es aplicable en todas las cuencas costeras y áridas de Venezuela.

3.1.2. Otros ríos en la costa occidental del Golfo de Venezuela

Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera). Al norte y contiguo al río Carraipía-Paraguachón está el caño Neima o Kijotchom (1.603 km²; 93 km² en Venezuela. Figura 2, Tabla 1), con drenajes que se originan principalmente en las planicies. Las corrientes locales son de carácter eventual o esporádico, pero este río tiene corrientes intermitentes atribuibles a los drenajes urbanos de la ciudad de Maicao, a pesar que al norte de esta ciudad existe una laguna de tratamiento de aguas servidas.

Se ha evidenciado que las aguas residuales se orientan a los cauces naturales que finalmente se dirigen al caño Neima y de ahí al Golfo de Venezuela, lo que debe tener un efecto negativo sobre los centros poblados de la etnia Wayúu y sistemas de producción agrícola, pero también perjudica a los ecosistemas fluviales y marinos en general. Lo anterior coloca al caño Neima en situación de riesgo y demuestra un pasivo ambiental con prioridad de resolución. Más al norte -donde el clima es más severo- está el caño Polólíma que nace en la Serranía de Simaraua y cubre 436 km²; de esta superficie unos 23 km² corresponden a Venezuela en su tramo final, donde desemboca en la zona de Cojoro.

La Laguna de Cocinetas es el extremo límite de Venezuela con Colombia (Castilletes) y la misma es contenida totalmente en el territorio venezolano, pero no así desde su litoral este (Morro de las Calaveras norte) hasta el litoral norte (Hoja 5.951 Castilletes, Dirección de Cartografía Nacional, 1962). En esta laguna desemboca el caño Parsua (373 km². Figura 2) que sugiere un aporte eventual de sedimentos a la laguna pero importante porque implica el despla-

zamiento de la línea fronteriza. Al sur, el límite de los drenajes orientales al golfo está en el caño Pararú-Sagua, este nace en las planicies asociadas con la ciénaga (laguna) de los Pájaros y desemboca cerca del pueblo de Güichepe.

El complejo lagunar Sinamaica-El Eneal debe su espejo de agua permanente gracias a su conexión con el estuario del Río Limón en la Bahía de Urubá; ahí se desprende el caño Pajjana que, con dirección norte, atraviesa la península de San Carlos y tiene su desembocadura directamente en el Golfo de Venezuela; esta condición ha consolidado el nombre de Isla de San Carlos para esa península. Este caño tuvo un régimen permanente hasta mediados del siglo pasado (Medina y Barboza 2006).

3.2. Vertiente al Golfo de Venezuela: Costa Oriental (Ib)

3.2.1. Ríos Maticora, Borojó, Capatárida y Zazárida

a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera) y Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón). El río Maticora (2713 km², longitud 151 km) tiene sus nacientes en el Cerro Madre de Agua (960 msnm) y con tributarios que se desprenden de las serranías Los Cerrones, Las Copas y Lomo de Caballo). Más al este, los ríos Borojó (1.135 msnm; 526 km²), Catapárida (1.393 msnm; 608 km²) y Zazárida (1.234 msnm; 925 km²; longitud 60 km) nacen en las serranías cercanas de Las Copas, Avaria y Las Palomas. Todas estas serranías están separadas del macizo de la Sierra de San Luis por la depresión central de Falcón (Figura 2, Tabla 1). En general, estos ríos tienen orientación sur-norte, drenajes dendríticos, caudales intermitentes (excepto Maticora en tiempos pretéritos) y grandes cargas de sedimentos.

En las tierras bajas el relieve es de una llanura costera con lomeríos ondulados, con alturas hasta unos 150 msnm y pendientes usualmente bajas, asociada con un cordón de piedemonte a lo largo de montañas que raramente sobrepasan los 1.000 msnm (Matteucci et al. 1979), salvo las cabeceras del río Maticora, por encima de los 1.800 msnm. En toda la región existe un relieve muy heterogéneo. Los ríos tienen meandros estables en las planicies, donde los cauces son muy excavados. Algunos ríos pequeños y drenajes huérfanos se derraman -cuando tienen caudal- en las planicies, conformando ciénagas temporales; otros cauces se han desarrollado en las planicies a pesar de un recorrido muy corto.

- b) **Clima y vegetación:** En la franja costera de estos ríos la precipitación se ubica entre 364 y 500 mm anuales (periodo de sequía entre diciembre y septiembre) y las temperaturas alrededor de los 29,4 °C. Al oeste y al sur, en el río Maticora, ya en el piedemonte y montañas, los valores aumentan a 500 mm y 757 mm, respectivamente, pero al suroeste -igualmente en la cuenca alta del río Maticora- los valores son mucho mayores, con 1.089 mm y 29,3 °C (Matteucci et al. 1979). En las planicies la vegetación está conformada por pocas especies leñosas y cardonales en manchones y franjas, así como matorrales con coberturas ralas. Una franja importante del litoral marino es expuesta como suelo desnudo con muy pocas plantas (vegetación seca y semidesértica); luego, en las planicies la vegetación es escasa y de bajo porte. Ya en tierras elevadas y montañas hay bosques densos y deciduos en una matriz de conucos y rastrojos (Matteucci et al. 1999). El uso histórico de estas tierras es para la cría extensiva de cabras; eventualmente, en algunas zonas con mayor humedad se crían bovinos. En las zonas altas existen parches agropecuarios en las laderas. Para Oliveira-Miranda et al. (2010) los arbustales espinosos tienen grandes coberturas en esas cuencas pero la cobertura ha demostrado una reducción importante en el estado Falcón: de 10.071 km² en 1988 a 8.422 km² en 2010, sugiriendo su vulnerabilidad frente a las amenazas de extracción de madera para leña o artesanía, desarrollos urbanos e incendios de vegetación, entre otras.
- c) **Aguas:** Hace décadas el río Maticora presentó un caudal permanente cerca del pueblo de Mene de Mauroa: 8,2 m³/s (COPLANARH 1969), pero el resto de los ríos tienen caudales mucho menores y de usual intermitentes. En la cuenca media del río Zazárida se han registrado 1,3 m³/s (Tabla 1), pero estos valores fueron publicados hace más de tres décadas (MARNR 1983). El arrastre de sedimentos es notorio en todos estos ríos y estos mantiene deltas pequeños en su desembocadura al mar (Zazárida) gracias a la protección por el Golfete de Coro. Son varios los pueblos y caseríos asociados a los ríos (ej. Borojó, Dabajuro, Zazárida, Urumaco).
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** La fauna de aguas dulces es empobrecida en los ríos del litoral costero del estado Falcón. Pocas especies (invertebrados acuáticos y peces) sobreviven al clima severo y la escasez regional de agua dulce. La ictiofauna fluvial es relacionada con la provincia zoogeográfica de Maracaibo (Rodríguez-Olarte et al. 2009), predominando los peces tolerantes, de tamaño pequeño y moderado, principalmente de la familia Characidae, como *Astyanax viejita*, *Crenogobius hildebrandi*, *Gephyrocharax melanocheir* o *Hypbessobrycon sovichthys*. Algunas especies tienen historias de vida adaptadas al clima, como los peces anuales (*Austrofundulus limnaeus*, *Rachovia hummelincki*), que habitan los pozos aislados y temporales en las planicies. Pocas especies de agua dulce tienen importancia en la pesca de subsistencia: picos de frasco *Caquetaia kraussii* (Cichlidae) y bagres *Pimelodus navarroii* (Pimelodidae). En el embalse Maticora se ha introducido el pavón (*Cichla*). Es previsible que la cachama (*Colossoma macropomum*) sea criada en lagunas; además, la acuicultura (camaronicultura y piscicultura) es promoción intensa por parte de las dependencias gubernamentales. Las sequías prolongadas en medio de una situación de demanda elevada por el agua sugieren que las poblaciones remanentes de las faunas fluviales locales están en situación de riesgo, principalmente en las planicies.
- e) **Áreas protegidas:** Destaca la zona protectora y de reserva hidráulica del Río Pedregal (195.900 ha. 1976) que abarca los ríos Tubere y Pedregal. No existen parques nacionales ni monumentos naturales en estas cuencas.
- f) **Usos de la tierra:** La agricultura está común, principalmente en las tierras elevadas (ausente en las planicies bajas cercanas al mar); siendo usual que se desarrolle al margen de cauces y embalses, así como a costa de las formaciones boscosas. La deforestación es extensa pero dispersa, observándose parches boscosos en varias serranías. En estas cuencas la baja densidad poblacional en combinación con el clima agreste ha promovido a la cría extensiva de ganado caprino como el principal sistema de producción. En las planicies elevadas y piedemontes de estos ríos existen por lo menos alrededor de 200 lagunas artificiales. Caso de interés son las lagunas para la acuicultura: para el siglo pasado entre las desembocaduras al mar del río Maticora y la quebrada La Enramada la superficie de las lagunas construidas para la acuicultura era de unas 550 ha y en los primeros años del siglo XX se añadieron 120 ha. Actualmente esta superficie se ha cuadruplicado, con por lo menos unas 2.727 ha. Con crecimiento similar están las lagunas en las desembocaduras del río Cauca (74 ha) y en las puntas de Maragüey (231 ha) y Caimán (254 ha), ambas asociadas a los ríos Arajó y Mitare, respectivamente. La expansión de la acuicultura es evento común para varios estuarios a lo largo de la vertiente Caribe de Venezuela, principalmente en las costas de los estados Anzoátegui y Falcón,

donde la pérdida de manglares es importante. Se desconoce el efecto de los efluentes de estas lagunas sobre el medio natural.

- g) **Demografía:** Cerca de 60.000 personas habitan los pueblos de las planicies elevadas y piedemontes, principalmente Mene de Mauroa, Dabajuro y Urumaco, pero un número importante de caseríos se reparten a lo largo de todas las cuencas. La densidad de población es baja para estas cuencas, con promedio de 16 ind/km² (máxima en Borojó: 44 ind/km²).
- h) **Alteración de cauces:** Sobre el río Maticora existe un embalse que para su creación en 1978 tenía 2.966 ha de espejo de agua. Las imágenes satelitales demuestran que la superficie del embalse ha disminuido a 1737 ha en el año 2012 y 1.046 ha en el año 2016; esta última variación indica una merma del 65% del área original. Desde el embalse parte un acueducto hacia la Península de Paraguaná, pero nunca ha funcionado debido a sedimentación. En el tributario Agua Viva (Capatárida) se construyó un embalse de 234 ha en 1978. No se disponen evidencias sobre el tratamiento adecuado de los residuos y efluentes urbanos y agropecuarios antes de ser vertidos en el ambiente.
- i) **Estado de conservación:** En las planicies bajas y desembocaduras de estas cuencas predomina el suelo desnudo de manera natural, pero en las zonas medias, piedemontes y montañas la intervención es importante, por lo que se consideran CC3 (Tabla 1). En la cuenca del río Maticora (CC4) la intervención es más extendida y con mayor incidencia en el cauce principal en las planicies aguas abajo del embalse. Alrededor de Urumaco, y en varias cuencas del sistema Coriano, existen los yacimientos de vertebrados fósiles más diversos e importantes de Venezuela, estos dan cuenta de los grandes ríos y sus faunas ancestrales. La extracción masiva del agua de los ríos y pozos, así como la transformación de sus cauces (embalses y lagunas, complejos piscícolas) en asociación con el incremento poblacional y el régimen climático predice un empeoramiento en las condiciones de estos ríos en futuro.

Río Mitare

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón) y Región D. (subregión D.3. Sierra de San Luis y Cerro Santa Ana). El río Mitare (800 msnm; 4.866 km²; longitud 112 km. Figura 2, Tabla 1) es el mayor de los ríos con desembocadura al Golfo de Vene-

zuela. Drena diferentes sistemas montañosos (Sierras de Buena Vista, San Luis y Churuguara) y tiene sus cabeceras en las estribaciones al sur y oeste de la Sierra de San Luis, corre en dirección oeste para recibir a su tributario Pedregal (2.164 km²) en la depresión central de Falcón.

Cuando el Mitare ingresa en las planicies costeras, su cauce tiene pocos meandros y mantiene una orientación noreste hasta desembocar en el Golfete de Coro, creando un delta de tamaño importante. En las tierras bajas el relieve es similar al de cuencas vecinas ya descritas, pero más arriba es complejo y accidentado, como lo es todo el anticlinorio de Falcón. El valle central (depresión de Falcón) y los valles intramontanos se extienden entre las serranías principalmente con orientación este-oeste. El drenaje es dendrítico y los cauces corren paralelos a las serranías y filas para luego torcer rumbo al norte. En las planicies el cauce tiene poco desarrollo de meandros. En la desembocadura y gracias a las corrientes del Golfete de Coro se ha formado un delta que evidencia el aporte inusual de sedimentos de este río al mar.

- b) **Clima y vegetación:** Para Matteucci et al. (1979) en las planicies de la cuenca baja las lluvias se concentran de septiembre a noviembre, con precipitación media anual entre 406 y 480 mm y temperatura de 29,5° C. En el piedemonte costero, hasta los 500 msnm, los valores son un tanto mayores: 411-596 mm y las temperaturas son un tanto menores 28,7° C. En los valles intramontanos la precipitación y temperaturas varían: entre 590 y 1.084 mm y 24,2 y 28,7° C, respectivamente. En las montañas la precipitación va de 422 a 948 mm y la temperatura de 21,6 a 23,7° C. Es de notar que hay bolsones secos y áreas húmedas. Ya en las altas vertientes de la Sierra de San Luis la precipitación puede alcanzar los 1.621 mm y la temperatura disminuye hasta 21° C. Las laderas expuestas al noreste son más húmedas. En la cuenca baja predomina la vegetación herbácea y los arbustales desérticos (*Prosopis*), más arriba la vegetación se presenta como matorrales ralos a densos y a mayores alturas con bosques densos deciduos; estos bosques se mezclan con matorrales y bosques ralos según la orientación de las montañas Matteucci et al. (1979). Ya en las montañas con alta pendiente se asientan bosques nublados.
- c) **Aguas:** COPLANARH (1969) presentó datos sobre volúmenes escurridos anuales para los principales ríos de Venezuela; con base en esos datos el caudal del río Mitare en su desembocadura al mar fue de 11,8 m³/s, mientras que para su

- tributario Pedregal fue de 5,8 m³/s. Ahora, casi 50 años después, el río Mitare se fragmenta durante los períodos de sequía -así como la mayoría de sus tributarios- incluso en su cuenca media. Es muy poca la información disponible sobre análisis de aguas en los ríos de la región. En la cuenca media del río Mitare y durante el periodo de sequía la conductividad ha sido relativamente baja (350 µs/cm), el pH ha estado en el intervalo ligeramente alcalino, mientras que la concentración de sólidos disueltos totales ha sido baja (Rodríguez-Olarte et al. 2015a). Se estima que los mayores aportes de sedimentos en la cuenca son aportados por el río Pedregal, dada la poca cobertura vegetal en su cuenca. Es previsible que en la cuenca baja los sedimentos alcancen valores muy elevados.
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** El río Mitare presenta la mayor riqueza de especies (28) de peces entre los ríos de la provincia Maracaibo que drenan al golfo. Se dispone información previa sobre las ictiofaunas del río Mitare, su estatus y aspectos sobre su conservación (ver Taphorn et al. 2010, Rodríguez-Olarte et al. 2011a, 2011b). Una especie endémica (*Ancistrus falconensis*, Loricariidae) habita en las cuencas que drenan la Sierra de San Luis pero aún no se confirma su presencia en el río Mitare. Las especies que tienen interés en el consumo son las habituales de los ríos costeros regionales (*Hoplias*, *Rhamdia*, *Pimelodella* y *Caquetaia*, entre otras). Las ictiofaunas locales son relictuales y se consideran en riesgo debido a fragmentación y pérdida del hábitat acuático en combinación con el clima severo.
- e) **Áreas protegidas:** Las cabeceras de los ríos en la Sierra de San Luis son protegidas por el parque nacional Juan Crisóstomo Falcón (20.000 ha. 1987). Además, existen las zonas protectora de la Sierra de San Luis (86.000 ha. 1987) y la reserva nacional hidráulica Cuenca Hidrográfica del Río Pedregal (195.900 ha. 1976). Prácticamente todos los parques nacionales asociados a los ríos costeros de Venezuela tienen un efecto limitado para la conservación, ya que por estar en las montañas elevadas no resguardan la mayor parte de las biotas acuáticas (Rodríguez-Olarte et al. 2011b); no obstante, estos parques protegen las fuentes de agua, lo cual es un éxito para el sistema nacional de parques de Venezuela. En general, fuera del parque nacional, el río Mitare y sus tributarios están sujetos a una intensa extracción de agua, ya sea para el consumo humano o para los sistemas de producción agropecuaria
- f) **Usos de la tierra:** La deforestación es notable en toda la cuenca. La cría de cabras es extensiva en toda la cuenca, pero también existe la agricultura de subsistencia y áreas con desarrollos particulares para la siembra de *Agave* (cocuy) y *Aloe*. A lo largo de las riberas de los principales ríos (Mitare, Pedregal) se presentan parches agrícolas activos. En las vertientes húmedas (Sierra de San Luis) la agricultura se diversifica en gran medida.
- g) **Demografía:** En la cuenca se estima que hay 31.000 habitantes, que equivale a unos 7 ind/km² (Tabla 1) repartidos principalmente en los centros urbanos de San Luis, Pedregal, La Cruz de Taratara, Pecaya y Sabaneta, además de numerosos caseríos, estos últimos son numerosos en Sierra de San Luis.
- h) **Alteración de cauces:** En el río El Pedregal se construyó el embalse Camare (1.215 ha. 1978), pero este fue colmatado con sedimentos. Actualmente su dique está destruido parcialmente. Las lagunas artificiales son numerosas a lo largo de la cuenca media y baja; además, los cauces en las montañas son objeto de interés para los acueductos de varios pueblos de la sierra.
- i) **Estado de conservación:** La cuenca del río Mitare tiene una clase CC3. El examen de las riberas y zonas aledañas a los cauces en la cuenca media demuestra una erosión muy importante en tramos extensos, principalmente en aquellos sectores con actividad agropecuaria. Esto sugiere un posible incremento en el aporte de sedimentos a los ríos locales, ya de por sí muy elevado. Las perturbaciones indicadas, asociadas con la deforestación de bosques ribereños y vertientes, la demanda creciente de agua y las previsiones del cambio climático sugieren que el río Mitare está en situación de riesgo.

Ríos en la Península de Paraguaná

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón) y Región D. (subregión D.3. Sierra de San Luis y Cerro Santa Ana). La península (2.492 km²) ha evolucionado como isla y es recientemente -en el Holoceno- que se ha conectado con el continente gracias al Istmo de Los Médanos. En la misma predominan las bajas pendientes y las alturas menores a los 100 msnm, salvo el Cerro Santa Ana (830 msnm) y la Mesa de Cocodite (Fila de Monte Cano, 230 msnm). En la península los ríos son usualmente eventuales y se detectan cauces relictuales. Desde el cerro Santa Ana corre hacia el sur la quebrada El Cayude (146 km²), con destino al drenaje del Golfo de Venezuela. Desde el mismo cerro pero con ruta

a la vertiente Caribe occidental drena la quebrada Tura (149 km²) y desemboca en la ciénaga del mismo nombre. Desde la Mesa de Cocodite se desprende la Quebrada El Amparo (embalse: 2,1 ha), bordea por el sur a la ciudad de Pueblo Nuevo y desemboca en terrenos cenagosos al sur del pueblo de Adícora.

El resto de quebradas de la península nacen de su parte central. La quebrada Macama (112 km²) corre con dirección norte para desembocar en Punta Macama, la misma representa el río -con referencia geográfica- más septentrional de Venezuela. Con igual nacimiento, las Tres Marías (322 km²) es una quebrada que corre dirección oeste y desemboca en la Boca de Jacuque. Ambas quebradas tienen corrientes eventuales y drenan áreas con la menor densidad poblacional en la península. Por el contrario, la quebrada Guaranao corre en dirección suroeste y, atravesando la ciudad de Punto Fijo, llega a las salinas de Guaranao; de ahí al mar.

- b) **Clima y vegetación:** Predomina un clima árido. La precipitación es estacional y se acumula entre octubre y diciembre; esta varía entre los 176 y 504 mm, mientras que la temperatura está alrededor de los 28,6° C (Matteucci et al. 1999). Las comunidades vegetales mayor representadas en la península son los matorrales y los cardonales. En la península predomina la zona de vida de monte espinoso tropical, con predominio de matorrales espinosos. En las cumbres del Cerro Santa Ana existen bosques nublados.
- c) **Aguas:** En la quebrada Guaranao, y antes de su desembocadura al mar. Rojas et al. (2003) registraron el pH en 5,8 y la concentración de oxígeno disuelto en 7,0 mg/l; además, también notaron contaminación antrópica y una cantidad elevada de nutrientes.
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** Las especies de peces dulceacuícolas en la península debieron ser tolerantes a la salinidad y climas severos. En colecciones con unos 25 años de antigüedad se registraron muy pocas especies (*Poecilia reticulata*, *Poecilia kopei*, *Rachovia hummelincki*, *Caquetaia kraussii*, *Cyprinodon dearborni*). Las sequías históricas en la península, y en la mayor parte de la costa Caribe de Venezuela, han representado una fuerza climática que ha limitado la permanencia y distribución de las biotas acuáticas.
- e) **Áreas protegidas:** El Monumento Natural Cerro Santa Ana (1.900 ha, 1972. Figura 2) se asocia con la protección de la mayoría de quebradas y los acuíferos de la península. Hay otras figuras de protección en la península pero con alcance más restringido para la conservación de los ríos y sus biotas, como el refugio de fauna silvestre y reserva de pesca Laguna de Boca de Caño (453 ha. 1989) y el santuario de fauna silvestre Cuevas de Paraguaná (35,2 ha. 2008).
- f) **Usos de la tierra:** La intervención agropecuaria ocupa gran parte de la península, además de los asentamientos urbanos y la industria petrolera; salvando sectores al norte y noroeste, donde las condiciones climáticas son más adversas. Los pocos cauces con agua -usualmente con carácter intermitente o eventual- se restringen a las áreas elevadas del monumento natural. Al suroeste la quebrada Guaranao recibe efluentes no tratados y residuos sólidos en casi todo su curso. No se conocen medidas para la conservación de los escasos ríos en la península, mientras que la intervención desmedida los ha situado en colapso y riesgo extraordinario, comprometiendo su permanencia en el futuro cercano.
- g) **Demografía:** La península tiene una densidad de población más elevada (Tabla 1) y se concentra principalmente en los drenajes al Golfo de Venezuela, en las ciudades de Punto Fijo y Pueblo Nuevo (Figura 2); pero los pequeños pueblos y caseríos se diseminan en la mayor parte de la península. En los drenajes al Golfo de Venezuela la densidad alcanza 132 ind/km², mientras que al este es de 58 ind/km².
- h) **Alteración de cauces:** Los mayores embalses están en las quebradas El Cayude (0,43 km²) y Tura (embalse: 0,2 km²), estos han tenido una reducción muy grande o pérdida total (Tura) de su espejo de agua en los últimos años, según el examen de imágenes satelitales.
- i) **Estado de conservación:** Los drenajes al oeste de la península se estimaron en CC3, mientras que al este fueron CC4 (Tabla 1). Sin embargo, la situación de los ríos en la península es de riesgo extremo y colapso generalizado y es previsible que bajo todas las presiones humanas y los riesgos climáticos estos ecosistemas sean extirpados en el futuro. En toda la Península de Paraguaná -en general, casi todo el litoral marino del occidente del país- es muy susceptible a los efectos del cambio climático, principalmente por la ocurrencia de sequías fuertes. Estos eventos tienen ocurrencia periódica y se extienden también al norte costero de Venezuela. Por ejemplo, refiere Foghin-Pillin (2015) un recuento de las varias sequías extraordinarias que asolaron al país, como la del año de la humareda en 1869, acompañada de incendios en extensas superficies de las vertientes costeras del país, o la de 1911-1912, que produjo

hambruna y migraciones en la península. En este siglo las sequías extraordinarias y las humaredas son eventos recurrentes.

3.3. Vertiente Caribe Occidental (III)

Ríos de la Sierra de San Luis

a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón) y Región D. (subregión D.3. Sierra de San Luis y Cerro Santa Ana). Además del río Mitare, los ríos Coro, Ricoa y Hueque nacen en la Sierra de San Luis. El río Coro o río Seco (742 km², longitud 45 km) es el de menor recorrido (Figura 3, Tabla 1), nace al oeste de la Sierra de San Luis (Urucure, ~1.000 msnm) y en el piedemonte recibe su principal tributario (Meachiche) que nace en el noroeste de la sierra. Al salir de las montañas el río transcurre entre pequeñas elevaciones y, por un abra entre el Cerro Caujarao y la Fila El Malecón, alcanza luego las planicies fluvio-marinas, luego bordea la ciudad de Coro y desemboca al oeste del pueblo de La Vela de Coro. El río Ricoa (765 km², longitud 60 km) drena las vertientes este y sureste de la sierra. Las cabeceras del río Ricoa discurren entre filas paralelas dentro de la sierra, confluyen en Dos Bocas, de ahí el río atraviesa lomeríos bajos y llega las ciénagas litorales (Estero de Ricoa y Ciénaga del Padre).

El río Hueque (4.080 km², longitud 115 km) tiene un nacimiento más diversificado: drena la vertiente sur de la Sierra de San Luis, tiene un tributario (río Remedios) que drena un vasto sector norte de la Sierra de Churuguara. El Hueque atraviesa con un cauce encajonado y poco meándrico una extensa planicie aluvial salpicada de terrenos cenagosos (ej. ciénaga Quererepa). La vasta planicie es surcada además por varios tributarios. El río Remedios se asocia también con ciénagas (Los Calzones, La Josca, Grande, Agua María), luego se denomina río Upipe y en una breve anastomosis se une al río Hueque, al igual que el río Guamure, que nace en el cerro Jácura y se pierde en la ciénaga de Tacarigua. De ahí el cauce recibe la quebrada Machiconga (con nacientes en la Fila de la Tocineta) y arriba al humedal (estuario) del Hueque, donde también desemboca el río Curarí.

b) **Clima y vegetación:** La humedad varía en el eje de las cumbres de la Sierra de San Luis: al noreste las laderas son más húmedas, le siguen las laderas al norte y luego al sur; esto se expresa en medias anuales entre los intervalos de 29,2-21° C y 474-

1.621 mm Matteucci et al. (1979). En la desembocadura del Hueque la precipitación se ha registrado en 778 mm y la temperatura alrededor de los 27° C (Cartaya et al. 2005). A menores alturas en la sierra predominan los bosques y matorrales ralos, pero a medida que se asciende se tornan densos y ya en las máximas alturas se desarrollan bosques nublados. Allende al parque nacional la deforestación es generalizada, donde se mezclan los cultivos; ya en las áreas bajas la cría de cabras predomina (Matteucci et al. 1999), pero en las planicies del Hueque persisten grandes fragmentos de bosques deciduos, acaso los más importantes en la región.

c) **Aguas:** Estos ríos son de corrientes permanentes en las montañas, pero luego de las mismas se fragmentan durante los periodos de sequía. El caudal del río Hueque se estimó en 3,6 m³/s en las estribaciones de las montañas (COPLANARH 1969), los caudales de los otros ríos son mucho menores. Estos ríos tienen aguas similares y muestran gradientes según la altura. El pH varía entre 6,7 y 8,1. Los sólidos totales disueltos usualmente son menores a 20 mg/l en las montañas, pero el río Hueque ya en su discurrir por las planicies onduladas alcanza los 274 mg/l; similar tendencia ocurre con la conductividad en la misma condición: 790 μ s/cm (Rodríguez-Olarte et al. 2015). Los cursos al oeste y noreste de la sierra tienen mayores arrastres de sedimentos.

d) **Fauna, usos y amenazas.** La fauna de peces locales es transicional entre los dominios Magdalénico y Caribe (Rodríguez-Olarte et al. 2009). Los peces de estas cuencas son similares a los registrados en cuencas vecinas (Mitare). En las montañas y piedemontes se registran 26 especies de peces (Rodríguez-Olarte et al. 2011b) y el único pez endémico en las cuencas de Ricoa y Hueque, el *Ancistrus* de Falcón (*Ancistrus falconensis*, Loricariidae). Esta especie, una vez descrito, ha sido considerada en riesgo (Taphorn et al. 2010), principalmente por su área de distribución muy restringida. En los acuíferos kársticos en la sierra se registran peces troglobios (Trichomycteridae).

Áreas protegidas: En la Sierra de San Luis está el Parque Nacional Juan Crisóstomo Falcón, mientras que en las planicies costeras se extiende el parque nacional Médanos de Coro (195.900 ha. 1976) y es atravesado por río Coro (Figura 3). Además, existen otras áreas de interés, como la zona protectora Sierra de San Luis (86.000 ha. 1987). En la desembocadura del río Hueque y las Salinas de Sauca existe desde 2005 la reserva de fauna silvestre Hueque-Sauca (37.150 ha).

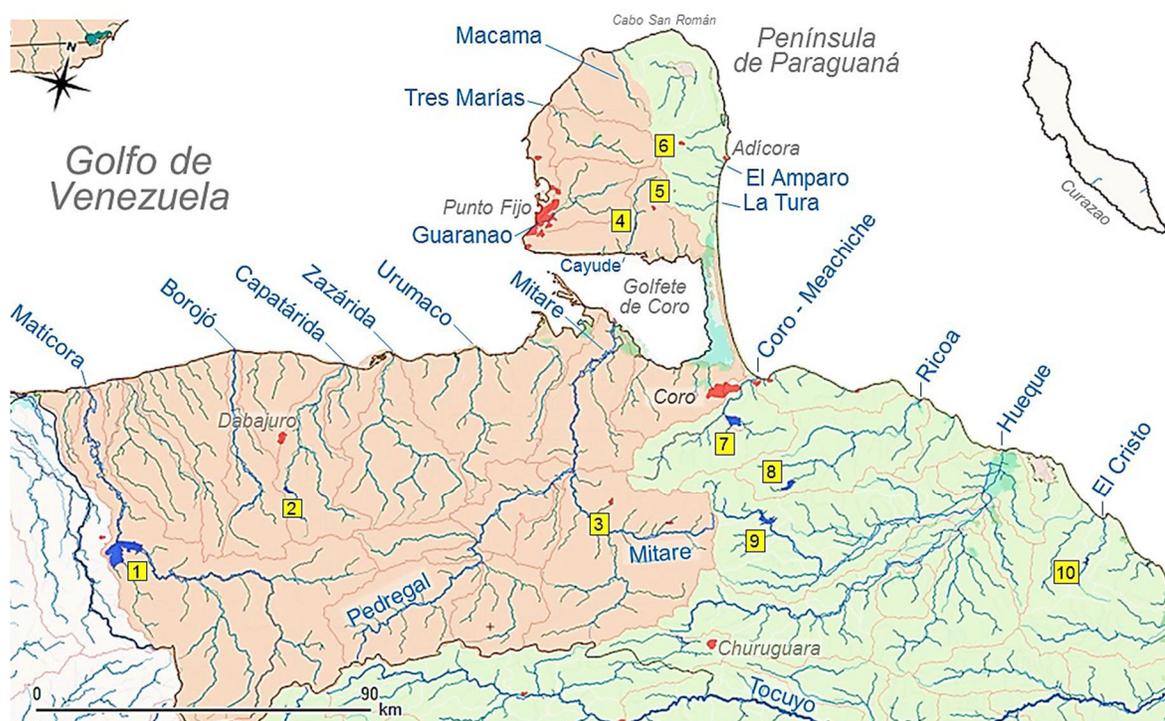


Figura 3. Principales ríos, lagunas y embalses en la Vertiente oriental (Ib) del Golfo de Venezuela y norte de la Vertiente Caribe Occidental (III). Se muestran las principales divisorias de aguas (líneas finas claras). Los centros poblados y designaciones geográficas están en cursiva. Las mayores ciudades son Coro, Punto Fijo y Churuguara. Los principales embalses son: 1) Maticora, 2) Dabajuro, 3) Pedregal (inactivo), 4) Cayude, 5) Pueblo Nuevo, 6) Tura, 7) El Isiro, 8) Ricoa, 9) Hueque, 10) El Cristo. Por condiciones de espacio la imagen ha sido rotada (15°).

- e) **Usos de la tierra:** Predomina la producción agropecuaria. En las zonas elevadas de la sierra los cultivos son variados (café, hortalizas) mientras que en las vertientes secas al norte y oeste (Coro) prima la ganadería caprina y cultivos específicos (*Agave*, *Aloe*). En las vertientes húmedas al sur y al este la agricultura es más diversificada. En las planicies de las cuencas Ricoa y Hueque es común la ganadería vacuna extensiva y acuicultura en las desembocaduras.
- f) **Demografía:** Mientras que en las cuencas de los ríos Ricoa y Hueque la densidad humana es menos de 15 ind/km², en la cuenca del río Coro alcanza los 262 ind/km² (Tabla 1); esta densidad es dada principalmente en las planicies donde está la capital del estado, pues en el resto de la cuenca es sensiblemente menor. La cuenca del río Hueque tiene una población muy baja en comparación con su tamaño.
- g) **Alteración de cauces:** La primera presa de Venezuela fue construida sobre el río Coro (Dique El Malecón o Caujarao. 1866), esta fue averiada por una crecida en 1885 y refaccionada en 1913; ahora es un monumento histórico nacional. El río Meachiche nutre al embalse El Isiro (1.900 ha. 1963,

Figura 3, Tabla 2) y luego desemboca en el río Coro, que tiene su curso canalizado parcialmente cuando bordea la ciudad homónima, la cual aporta un nivel de contaminación importante a sus aguas. Es de interés que desde la ciudad de Coro parte un canal de desagüe -con rumbo noroeste- que lleva aguas servidas hacia un sistema de lagunas de tratamiento que se asocian con el parque nacional Médanos de Coro, convirtiendo el área en un extenso humedal, según la revisión de imágenes satelitales.

En las tierras elevadas de la Sierra de San Luís hay otros embalses: el río Macoruca, es represado en Barrancas (621 ha. 1980) antes de caer al río Ricoa (Figura 3). De igual manera, el río Hueque está represado (586 ha. 1995). En las planicies de la cuenca del río Hueque existen varias y extensas lagunas artificiales. En las desembocaduras de varios ríos se asocian grandes complejos de lagunas acuícolas, como en el Ricoa (1.138 ha), Hueque (324 ha) y Sauca (1.092 ha). Se desconoce la situación actual de estos sistemas de producción; sin embargo, estos tienen efluentes directamente al mar o a los cauces, además de modificar notablemente los hábitats fluviales y el paisaje local.

- h) **Estado de conservación:** El río Coro (CC3) tiene un cauce comprometido por represamiento doble, canalización y recepción de efluentes urbanos, aun cuando su cobertura natural es moderadamente conservada en las cabeceras. Dada la antigua y continua intervención de las planicies el río Coro ha perdido sus biotas originales. La cuenca del río Ricoa presenta una clase de conservación muy pobre (CC4), mientras que la de Hueque alcanzó una CC3.

Estas cuencas presentan en las planicies algunas áreas con pérdida importante de la capa vegetal (suelo desnudo) y que parece estar asociada con las actividades agropecuarias y la susceptibilidad de los suelos. La extracción de agua a lo largo de los cauces y la presencia de industrias acuícolas tiene un efecto pernicioso sobre los ciclos vitales de inundación y de las faunas acuáticas.

Ríos en los cerros de Capadare y Jacura

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón). Desde el extremo oeste de los cerros Capadare (412 msnm) y Mirimire (388 msnm) nace el río El Cristo (130 km². Figura 3) tiene un recorrido corto entre lomeríos bajos en dirección norte, para desembocar en el estuario de Boca El Ostión bajo el resguardo de la Punta Agüide. Al norte del Cerro Capadare nacen varios cursos que al final conforman caños y pequeños ríos (San Diego, Curamichate) que se asocian con ciénagas (Tacal) y salinas (Obispo) en el litoral. Desde el cerro Jacura (602 msnm) se desprenden radialmente varios cursos de agua: Jacura y Tono que van al Hueque, el Araurima hacia el Tocuyo, y el Caidié (277 km²) y el Tucurere, con cursos directos al mar. El río Tucurere (683 km². Figura 3) drena el flanco oriental del Cerro Jacura (Cerro San Antonio) y a este se le incorpora el río Capadare, que nace entre de los cerros Capadare y Mirimire. El Tucurere tiene un recorrido corto, conforma un humedal de tamaño considerable y desemboca en Boca de Mangle (Golfo Triste).
- b) **Clima y vegetación:** Estos drenajes se ubican en valles marítimos. En las planicies del Tucurere la temperatura media es de 26,7° C y la precipitación alcanza 945 mm, con el período de lluvias entre septiembre y diciembre (Yáñez y Gamboa 2001). En la cuenca los bosques son deciduos, salvo en las tierras elevadas. En las áreas bajas y desembocadura existen manchas de mangle herbazales costeros y arbustales xerófilos. En las planicies costeras

los cocotales han suplantado la mayor parte de la vegetación original.

- c) **Aguas:** En la cuenca alta del río Capadare (65 msnm) los valores de conductividad han sido registrados en 320-450 $\mu\text{s}/\text{cm}$, los sólidos disueltos totales de 10-15,5 mg/l y el pH de 7,5-7,7 (Rodríguez-Olarte et al. 2015).

Fauna, usos y amenazas: En el río Capadare se registra una baja riqueza de peces dulceacuícolas (13 spp) respecto a ríos vecinos de mayor tamaño. Las especies comunes son *Astyanax viejita*, *Gephyrocharax* spp, *Synbranchus marmoratus*, *Andinoacara* sp, *Pimelodella odynea*, *Rhamdia cf quelen* y *Hyphessobrycon fernandezii*. Se desconoce la riqueza de la ictiofauna en el humedal de Tucurere, pero se ha detectado la pesca de subsistencia y eventualmente comercial (*Mugil*, *Tarpon*, *Elops*, *Centropomus*, *Cathorops*, *Bagre*). El caimán de la costa (*Crocodylus acutus*, Crocodylidae), una especie catalogada en peligro (Seijas et al. 2015), ha sido registrado en los tramos finales en estos ríos, pero su presencia es común en los ríos al Golfo Triste (lo era en toda la costa marina de Venezuela), con las mayores poblaciones en los tramos finales de los ríos Tocuyo (embalses de Játira y Tacarigua) y Yaracuy, ambientes que no cuentan con protección oficial.

- d) **Áreas protegidas:** La cuenca Tucurere es objeto de protección con el Área Boscosa Bajo Protección Río Tucurere (73.473 ha. 1998) y la Reserva de Fauna Silvestre Tucurere (17.800 ha. 2001), que protege un extenso humedal en las planicies cercanas al mar (Figura 3).
- e) **Usos de la tierra:** La intervención es similar a la registrada en la región, pero aquí predomina la cría de ganado vacuno y a esta se suma en las planicies cultivos variados, destacando los cocos en el litoral marino. En todos estos ríos y en sus cuencas altas persisten tramos de bosques ribereños, pero más abajo son muy fragmentados y en algunos sectores son inexistentes. La deforestación, los cultivos y las áreas de producción bovina son extendidas en las tierras bajas; más aún, varios ríos y tributarios tienen pueblos que bordean sus cauces y dirigen sus efluentes (Capadare Boca de Mangle en Tucurere, Mirimire en El Cristo).
- f) **Demografía:** Los principales pueblos de estas cuencas (Mirimire, Capadare, San Juan de los Cayos y Boca de Mangle) y varios caseríos acumulan un poco más de 22.000 personas (Tabla 1). La densidad en estas cuencas está alrededor de 27 ind/km².
- g) **Alteración de cauces:** El río El Cristo tiene un embalse en el cauce principal (207 ha. 1987) y en las planicies son muchas las lagunas artificiales.

Tabla 2. Características del río Tocuyo y algunos tributarios según un gradiente de altura. Las variables del agua fueron medidas en el periodo de sequía (Cond: conductividad, SDT: sólidos disueltos totales). Los usos de la tierra se basan en los registros de campo y valoración de imágenes satelitales. La intervención dentro de los parques nacionales de usual se expresa en sus fronteras. El índice de conservación fluvial (ICF) se expresa en clases de conservación: muy alta (ma), alta (a), moderada (m) y baja (b). Modificado de Rodríguez-Olarte et al. (2007).

Subcuenca	Río Quebrada	Altura (msnm)	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	SDT (mg/l)	Usos de la tierra	ICF (clase)
Alto Tocuyo	Jabón	2.000	6.97	240	0.08	Parque nacional, hortalizas, pecuario	ma
Guarico	Guagó	1.343	6.96	240	0.11	Parque nacional, café	a
Guarico	Guarico	1.100	6.10	400	0.25	Café, hortalizas, urbano	m
Curarigua	Curarigua	772	7.28	85	0.25	Caña hortalizas, urbano	m
Morere	Villegas	690	7.47	360	0.24	Pecuario, hortaliza	a
Churuguara	El Toro	520				Parque nacional, Pecuario	ma
Morere	Quediches	504	5.80	6	0.06	Pecuario	m
Urama	Totoremo	140	6.94	87	0.36	Pecuario, cultivos anuales	a
Araurima	Araurima	79				Pecuario, cultivos anuales	a
Bajo Tocuyo	Boca al mar	3	6.18	84	0.62	Pecuario, cocotales, urbano	b

h) **Estado de conservación:** Estas cuencas tienen una clase CC4, excepto Caidié (CC3, Figura 3) y mantienen presiones humanas similares que las cuencas vecinas al norte. Aun cuando el humedal de Tucurere está protegido la frontera agrícola se cierne sobre sus recursos. Es posible que el crecimiento de los pueblos costeros de San Juan de los Cayos y Boca de Mangle tenga un efecto pernicioso sobre la circulación y mantenimiento del humedal de Tucurere, además de aportar aguas servidas y residuos a los cauces.

Ríos andinos: El Tocuyo

a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón), Región D (Subregión D.2. Cordillera de los Andes. Subregión Cordillera de la Costa Central: sector D.4.1. Sierra de Aroa). El Tocuyo (páramo del Cendé: 3585 msnm; 17.854 km²; longitud 440 km. Figura 3) es un río alóctono con aportes principales de las vertientes andinas de las sierras de Barbacoas y Portuguesa que atraviesa depresiones semiáridas, discurre por planicies aluviales húmedas y desemboca en el litoral marítimo seco del Golfo Triste. Muy pocos son los tributarios con caudales permanentes y/o intermitentes, siendo principales por el margen izquierdo: el río Curarigua (Páramo Los Nepes, 2.990 msnm, 610 km²), que nace también de los páramos andinos, el río Morere (2.987 msnm, 4.613 km²), que cruza la depresión de Carora y

drena desde las serranías de Barbacoas (sur), Jirajara (oeste) y Lomo del Caballo (norte). También está el río Baragua (2.058 km²), que drena las serranías de Baragua, Matatere, Buena Vista, Copeyal y el Buco. Ya en las planicies cercanas al mar se incorpora el río Araurima (Sierra de Churuguara, 1.107 msnm, 452 km²), que proviene de la Serranía de Churuguara. Por el margen derecho el río Tocuyo recibe al río Urama (1.186 msnm, 2.588 km²) que drena la serranía de Bobare. De resto los tributarios son de corrientes eventuales o esporádicas. El drenaje es dendrítico y con cauces bien desarrollados -a menudo encajados- que atraviesan los lomeríos y depresiones asociadas con el sistema orográfico Coriano. Ya en las planicies, el río Tocuyo es meándrico y tiene una desembocadura con cauce único y poca acumulación de sedimentos.

b) **Clima y vegetación:** Para Carmona y Márquez (2015) los registros históricos demuestran una variación importante en la precipitación: En los 1.500 msnm de las montañas andinas (Jabón) la precipitación anual es de 1184 mm, mientras que al norte de la depresión de Carora (Baragua, 383 msnm), tienen una condición semiárida, con una precipitación de 480 mm, y estos valores disminuyen más al sur de la depresión (Bobare, 650 msnm), con 372 mm anuales. Con los mismos registros, la precipitación se incrementa a 1059 mm en la cuenca media (Moroturo, 190 msnm) y a 1.358 mm en la cuenca baja (Araurima, 33 msnm), para luego descender a 887 mm cerca de

- la desembocadura (Tocuyo de la Costa, 6 msnm). En la mayor parte los registros climáticos se evidencia una tendencia a la disminución de la precipitación (Carmona y Márquez 2015). La vegetación varía aún más: en los páramos predomina la vegetación de bajo porte (bosques bajos, herbazales, frailejones) y más abajo se desarrollan bosques nublados. En las vertientes áridas, depresiones y toda la cuenca media predomina la vegetación xerofítica, con bosques secos y deciduos, pero también los matorrales. En la cuenca baja los bosques son densos. El suelo desnudo tiene una cobertura grande en varios sectores de la depresión de Carora y las montañas de Baragua.
- c) **Aguas:** El río Tocuyo es el más caudaloso de la región occidental, con caudales entre 55 m³/s (COPLANARH 1969) y 59 m³/s (Fundambiente 2006), aun cuando una valoración de las principales características de los ríos en la cuenca es aportada por Rodríguez-Olarte et al. (2007), quienes reconocen una gradiente en las características físico-químicas, principalmente en el pH (5,2-7,9) y la conductividad (18,8-480 μs/cm), así como en aniones (18,2-787,3 mg/l) y cationes (10,9-301,1 mg/l), lo que también se evidencia en los sólidos disueltos de las aguas (Tabla 2). El arrastre de sedimentos en el río Tocuyo es muy elevado y su pluma se detecta en gran parte del litoral marino occidental, con un efecto negativo sobre los corales del parque nacional Morrocoy, efecto también compartido con los ríos Aroa y Yaracuy (Bone et al. 1993). Las altas concentraciones de NO₃ en el tramo final y desembocadura de los ríos Aroa, Tocuyo y Yaracuy sugieren un efecto importante de la agricultura y las aguas residuales (Barreto et al. 2007).
- d) **Fauna acuática, usos y amenazas:** Un poco más de 60 especies de peces dulceacuícolas habitan en la cuenca, unas 130 considerando las especies marinas y estuarinas que frecuentan el estuario de la desembocadura y caños de marea. Este es el río con mayor riqueza de especies en la vertiente Caribe occidental y varias de ellas son endémicas: el diente frío del Tocuyo (*Creagrutus crenatus*, Characidae) habita la cuenca media del río Tocuyo y es considerado vulnerable, pero de otras especies endémicas, como *Hyphessobrycon paucilepis* (Characidae) o *Hypostomus pagei* (Loricariidae), por ejemplo, se desconoce su estatus. En las cuencas altas el nivel de endemismo se estima elevado pero no se han descrito tales especies (*Chaetostoma*, *Cetopsorhamdia*, *Trichomycterus*).
- e) La cuenca del río Tocuyo reúne la mayor cantidad de especies de peces introducidas, tanto en sus ríos como en embalses. Desde un gradiente de altitud la trucha (*Oncorhynchus mykiss*, Salmonidae) habita los ríos en las altas montañas del parque nacional Dinira; más abajo, en la mayoría de los embalses y lagunas han sido introducidas las cachamas (*Colossoma macropomum*, Characidae), los bagres *Pimelodus blochii* y *Pseudoplatystoma* (Pimelodidae), tilapias (*Oreochromis niloticus*) y pavones (*Cichla*, Cichlidae). En los embalses Atarigua y Dos Cerritos existe acaso el mayor número de especies introducidas. Las tilapias y cachamas tienen una distribución amplia en la cuenca por su introducción en lagunas. Se desconoce el impacto que estas especies han tenido sobre la ictiofauna local; no obstante, participan activamente en la pesca de subsistencia y deportiva, aun cuando eventualmente son comercializadas. De las especies que frecuentan los estuarios un grupo notable es de interés para la pesca de subsistencia y comercial (Rodríguez-Olarte et al. 2015), entre ellas son usuales los róbalo (*Centropomus*), sábalo y malachos (*Megalops*, *Elops*) y bagres (*Sciades*, *Bagre*).
- f) **Áreas protegidas:** Varios parques nacionales se incluyen parcial o totalmente en la cuenca. En la vertiente andina están el Dinira (45.328 ha. 1988) y Yacambú (29.580 ha. 1962), mientras que en la cuenca media y semiárida se extiende Cerro Saroche (32.294 ha, 1989) y en las cumbres de la Sierra de Churuguara está Cueva de la Quebrada del Toro (4.885 ha. 1969). Estas áreas protegidas tienen pertinencia moderada para la conservación de la ictiofauna continental (Rodríguez-Olarte et al. 2011). También se reconocen zonas protectoras en la cuenca alta del río Tocuyo: sectores Curarigua (74.358 ha. 1992) y Dos Cerritos (71.940 ha. 1990), y en la Sierra de Bobare (101.000 ha. 1990). De la Reserva Forestal Río Tocuyo (47.640 ha. 1969), la cual es compartida con la cuenca del río Aroa, solo quedan muy pequeños fragmentos dispersos entre predios ganaderos. Aun cuando las superficies dedicadas a la protección en la cuenca son considerables, los problemas ambientales son, también, considerables.
- g) **Usos de la tierra:** La deforestación es generalizada y salvo las áreas protegidas, gran parte de la cuenca ha perdido su cobertura boscosa, quedando los mayores fragmentos de bosques en las vertientes aisladas, semiáridas y/o poco pobladas, como es conocido en algunas serranías y filas (ej. Andes, Curarigua, Baragua, Matatere, Araurima, Parupano y Guaidima). Los bosques ribereños en el cauce principal también han sufrido una retracción notable en su cobertura -principalmente en la cuenca baja- y los fragmentos más impor-

tantes se asocian con los tramos del río entre montañas y lomeríos con muy pocas o ningunas planicies asociadas. Este nivel de deforestación en asociación con la presencia natural de suelo desnudo incrementa las pérdidas de suelo, la sedimentación de cauces e incluso, la colmatación de embalses y lagunas.

La agricultura predomina en un gradiente de altura y clima: en las altas montañas al sur los cafetales ocupan las vertientes, pero también las hortalizas. En las planicies húmedas el cultivo de caña de azúcar ha sido preponderante, tanto que existen varios ingenios azucareros en la cuenca, la mayoría con efluentes no tratados de manera adecuada. En las zonas áridas la cría de cabras es usual pero es relevada por el ganado vacuno en la cuenca baja.

- h) **Demografía:** Cerca de medio millón de personas habita en la cuenca, principalmente en las ciudades de Carora, El Tocuyo, Quíbor y Siquisique, así como centenares de pueblos. No obstante, la densidad en la cuenca es de 28 ind/km². La población se concentra en las estribaciones andinas, excepto Carora y pueblos de las serranías al norte.
- i) **Alteración de cauces:** Dos embalses se han construido sobre el río Tocuyo: Dos Cerritos (917 ha. 1973) y Atarigua (2.025 ha. 1977), pero prácticamente todos los principales tributarios tienen embalses: río Los Quediches (Los Quediches: 300 ha. 1979), río Diquiva (Ermitaño: 140 ha. 1988; Puricaure: 404 ha, como suma de cuarto embalses mayores), Río Baragua (Mapará, 226 ha. 1964), quebrada Las Mulas (El Tacal 80 ha) y Játira-Tacarigua (1.740 ha. 1971). El número de lagunas de tamaño mediano a grande sobrepasa ampliamente el millar y su densidad es muy elevada en zonas agrícolas y/o secas, como en las áreas planas del valle de Quíbor (~250 km²), donde existen alrededor de 300 lagunas.

Las mayores ciudades, así como muchos pueblos y caseríos se expanden en las riberas del cauce principal y/o sus tributarios. En la mayoría los casos, las aguas servidas se encauzan hacia sistemas de tratamiento ya colapsados o directamente en los cauces, lo que también ocurre en varios centros agroindustriales y, al parecer, es un mal regional. A la par, el cauce principal y prácticamente todos los tributarios son objeto de extracción directa de agua; esto es especialmente evidente en las cuencas altas y áreas agropecuarias, donde incluso se desvían las aguas mediante acequias para acueductos urbanos o cultivos. Se estima que lo anterior representa las causas principales para la reducción de los caudales. Era

tal magnitud el caudal del río Tocuyo que para el siglo XIX el tramo final aún era navegable para embarcaciones de tamaño mediano y en una distancia considerable desde su desembocadura (~220 km). Hubo planes fallidos para mejorar la navegación al mar limpiando el cauce y desviándolo en su tramo final hacia el Golfete de Cuare (Mac-Pherson 1883).

- j) **Estado de conservación:** La cuenca del río Tocuyo tiene una clase CC4. El estado de conservación del cauce principal y algunos tributarios en la cuenca ha sido valorado mediante índices ambientales (Tabla 2), encontrándose que el mayor estado de conservación ocurre en áreas protegidas, vertientes andinas y cauces no represados. Lo contrario ocurre en los ríos asociados con centros poblados y sectores agrícolas. El estado de conservación ha sido moderado a elevado en los ríos de piedemonte (Rodríguez-Olarte et al. 2007). Sin embargo, recientes prospecciones de campo y la revisión de imágenes satelitales indican que las condiciones que han causado la depauperación en los ríos en la cuenca no han cesado, sugiriendo un empeoramiento de aquellos ríos que estaban en situación de riesgo.

Ríos entre la Sierra de Bobare y la Cordillera de la Costa

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región C (subregión C.1. Sistema de colinas y sierras bajas Lara-Falcón), Región D (Subregión D.4. Cordillera de la Costa Central: sectores D.4.1. Sierra de Aroa, D.4.3. Serranía del Interior). La cuenca de Aroa (2.463 km²) cubre las estribaciones de las sierras de Bobare al noroeste, las estribaciones de Churuguara al norte y Aroa al sur, donde están sus cabeceras (1.400 msnm), mientras que la de Yaracuy (2.481 km²) tiene a Sierra de Aroa en su flanco Norte y a la Cordillera de la Costa (Macizo de Nirgua) entre el sur y el este. La cuenca de Urama (440 km²) drena completamente la Cordillera de la Costa, así como la cuenca del río Sanchón (87 km², 1769 msnm) y la del río Morón (119 km², 1.702 msnm).

Las cuencas Aroa y Yaracuy tienen una planicie aluvial (fluvio-marina) común y sus cauces principales tienen meandros bien desarrollados en las planicies (salvo las canalizaciones en el río Yaracuy), así como áreas de muy baja pendiente; esto no ocurre con los ríos menores, que tienen poco desarrollo de sus cauces y sus planicies son pequeñas. A unos 30 km antes de su desembocadura el río Yaracuy se asocia con terrenos inun-

dables, donde existen varios complejos de ciénagas y lagunas, al norte del pueblo de Taria, en la confluencia de los ríos Mayorica y El Salado, y a partir de la confluencia con el río Taria, estas últimas se extienden hasta la desembocadura del río Yaracuy al mar y se entrelazan con las albuferas y lagunas costeras. Varias de estas áreas de inundación han sido desecadas y transformadas en terrenos agrícolas o baldíos.

- b) **Clima y vegetación:** El clima es macrotérmico y estacional, con la mayor parte de las lluvias entre julio-agosto y al final del año. En las planicies y valles aluviales llueve menos (800 mm) que en las montañas de Aroa (1.500 mm). Ya en las nacientes occidentales de las cuencas de Aroa y Yaracuy la precipitación es menor y el clima es transicional hacia la condición semiárida. En la cuenca del río Canoabo (Urama) la precipitación tiene un patrón bimodal y varía entre 1.000-1.200 mm con menores valores en tierras medias, mientras que la temperatura es de 16° C en las cumbres y 25,5° en la confluencia del río Canoabo con el río Urama, a unos 135 msnm (Sevilla et al. 2009).

Entre las cuencas de Aroa, Yaracuy y Urama la vegetación es variada y de usual expresada por bosques secos deciduos y semideciduos, pero en las montañas existen selvas densas y nubladas. En las planicies aluviales y los piedemontes se identifican selvas veraneras, mientras que en el cordón litoral la mayor parte de la vegetación original ha sido sustituida por cocotales y urbanismos, salvo en las ciénagas de Yaracuy y algunos caños de marea, en estos últimos predominan los manglares, de resto, la vegetación es xerófila. Las cuencas de los ríos Sanchón y Morón tiene una cobertura completa de bosques, salvo las planicies, y en sus mayores elevaciones existen bosques nublados.

- c) **Aguas:** Los ríos en la zona de transición entre piedemontes y planicies tienen aguas variables: la conductividad ha sido 140-620 $\mu\text{s}/\text{cm}$, los sólidos disueltos totales de 4,8-133,2 mg/l y el pH de 6,3-7,9 (Rodríguez-Olarte et al. 2015). A pesar de la contaminación extrema del río Yaracuy los datos sobre la misma son poco visibles; sin embargo, se ha legislado de manera particular con las normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del río Yaracuy (Decreto nacional 2.181. 1998). Los caudales fueron moderados décadas atrás: 5,6 y 16,1 m^3/s en la desembocadura de los ríos Aroa y Yaracuy, mientras que Urama fue de 4,2 m^3/s (COPLA-NARH 1969) y su afluente Canoabo tiene 1,2 m^3/s . En el río Sanchón el caudal ha sido medido

en 0,96 m^3/s , pero en el periodo de sequía de 2016 fue menor a 0,1 m^3/s .

- d) **Fauna, usos y amenazas:** Las biotas en estos ríos son de interés para la conservación. Se han registrado un poco más de 50 especies de peces y su endemismo ronda el 20%, y alcanza el 30% en la escala de provincia biogeográfica (Rodríguez-Olarte et al. 2006a, 2011a). Las especies endémicas (*Bryconamericus charalae*, *Creagrutus lassoi*, *Creagrutus lepidus*, *Hyphessobrycon fernandezii*, *Chaetostoma yurubienense*, *Farlowella martini*, *Apteronotus ferrarisii*, *Austrofundulus leoboignei*) se consideran en riesgo principalmente por lo reducido de su distribución (Aroa y Yaracuy suman menos de 5.000 km^2) y además, por la depauperación importante del río Yaracuy (Rodríguez-Olarte et al. 2011b, 2015). El río Urama ha demostrado una inusitada riqueza de especies de peces, lo contrario del río Sanchón, con predominio de peces marinos o estuarinos (*Awaous*, *Gobiomorus*, *Microphis*). A lo largo de estas cuencas se han introducido varias especies de peces, ya sea por el manejo piscícola inadecuado o por la introducción deliberada en embalses. El bocachico *Prochilodus mariae* y la cachama *Colossoma macropomum* tienen distribución amplia en las planicies bajas, la primera es usual en la pesca de subsistencia en el propio río Aroa y la segunda es acaso la especie con mayor importancia en la piscicultura regional (Rodríguez-Olarte et al. 2005). En los embalses se identifican, además de cachamas, los pavones (*Cichla*, Cichlidae).
- e) **Áreas protegidas:** El parque nacional Yurubí (23.670 ha. 1960) cubre las mayores alturas y los tributarios más importantes para el río Aroa, mientras que el monumento natural Cerro de María Lionza (11.712 ha. 1960) cubre las fuentes del río Yaracuy. El parque nacional Morrocoy (32.090 ha. 1974) cubre principalmente ambientes marino-costeros, pero también algunas pequeñas quebradas y áreas de inundación con importancia para las biotas de aguas dulces. Además, existen otras áreas protegidas: zona protectora de la Sierra de Aroa (114.103 ha. 1990), área de protección y recuperación ambiental Valle del río Aroa (300.000 ha. 1980). Casi toda la cuenca del río Sanchón es una reservas nacional hidráulica (8100 ha. 1976), igual ocurre con la cuenca del río Morón.
- f) **Usos de la tierra:** Salvo en áreas protegidas, algunos predios privados y montañas apartadas estas cuencas tienen una deforestación considerable, principalmente en las áreas bajas (valles y planicies). El río Aroa mantiene algunos fragmentos de matorrales -bosques de palmas- en la cuenca baja (Colonnello et al. 2014) pero la gana-

dería y los cultivos (naranja, cocos) predominan en las planicies. En el río Urama, aun cuando tiene un embalse en sus montañas y la intervención humana en la cuenca alta es considerable, tiene una mayor cobertura de bosques ribereños en la cuenca alta y en parte del tramo final. No obstante, antes de su desembocadura al mar el río recibe los efluentes de lagunas de tratamiento del complejo petroquímico de Morón.

- g) **Demografía:** Ambas cuencas suman 581.190 habitantes, pero con el 86% en la cuenca del río Yaracuy, lo que explica que en la cuenca del río Aroa la densidad de población sea de 34 ind/km² y en la de Yaracuy alcance 201 ind/km². Las principales ciudades en Yaracuy (San Felipe, Chivacoa) y Aroa (Aroa, Yumare) se asocian con las riberas del cauce principal o de los tributarios. Las otras cuencas mucho más pequeñas tienen densidades elevadas (Tabla 1), como Urama (117 ind/km²) y Morón (412 ind/km²), esta última la densidad más elevada en la vertiente occidental. Como caso único: la cuenca contigua del río Sanchón, al parecer no tiene habitantes permanentes.
- h) **Alteración de cauces:** En la cuenca de Yaracuy están los embalses Cumaripa (851 ha. 1971, sobre el mismo río) y Durute (23,5 ha. 1969), mientras que sobre el río Urama se creó el embalse Canoabo (534 ha. 1995) y en el río Morón existe un embalse pequeño (7,5 ha). La extracción de agua directamente de los ríos es permanente, ya sea para acueductos urbanos o actividades agropecuarias. Varios tributarios son intermitentes y sugieren una fragilidad importante de las cuencas altas frente a la pérdida de cobertura vegetal, pues la acumulación de sedimentos en los cauces de tierras bajas es enorme en la mayoría de los casos, esto es patente en los ríos Urachiche, Cocuaima, Quebrada Grande (Yaracuy), Tupe, Cupa y San Antonio (Aroa).

Otra perturbación de interés son las canalizaciones; estas han sido aplicadas en tramos de cauces principales pero también en sus tributarios, tanto en Aroa (Agua Linda, Crucito) como en Yaracuy (Macagua, Marcano). Sobre el río Yaracuy existen canalizaciones previas. En años recientes hubo una canalización importante, despejando el tramo final por decenas de kilómetros. El río Urama desembocaba en el tramo final del río Yaracuy (sector El Vegote); el cambio brusco en la orientación del cauce del río Urama cuando ingresa en las planicies (de norte a este) se asocia con su canalización a principios del siglo pasado, donde parte de su caudal sería desviado al río Salado, ahora su principal tributario.

El río Yaracuy es acaso el más afectado por la intervención humana en la región occidental, pues recibe efluentes y residuos urbanos, agrícolas e industriales, en la mayoría de los casos sin tratamiento adecuado de las aguas servidas. Ingenios azucareros, fábricas de papel, destilerías, y grandes monocultivos, por ejemplo, han contaminado el cauce principal, tributarios y embalses (Cumaripa, Durute) con efectos deletéreos sobre el río y sus biotas, pero además sobre los habitantes locales, la productividad agrícola e incluso sobre el turismo. Esta situación ha sido reconocida hace décadas, donde el río ha sido clasificado en una clase crítica de atención inmediata (COPLANARH 1971) e incluso se han generado leyes específicas. Cuando el río Morón ingresa en las planicies de inmediato es canalizado y embaulado (5 km), atraviesa la ciudad de Morón y desemboca al mar, todo esto en medio del aporte de efluentes urbanos e industriales variados. El río Sanchón recorre una planicie corta (~900 m) en medio de vegetación secundaria en retracción; sin embargo, este río tiene el cauce con mayor protección en la región.

- i) **Estado de conservación:** Los ríos Yaracuy y Urama tienen la peor clase de conservación (CC4), le siguen los ríos Aroa (CC3), Morón (CC2) y Sanchón (CC1). Algunos tributarios y/o tramos de los ríos (Aroa, Yaracuy) han sido propuestos como un área de protección dedicada (refugio, reserva o santuario, por ejemplo); más aún, se ha planteado extender algunas de las áreas protegidas regionales para cubrir secciones de tributarios y así incrementar la efectividad para la conservación de la ictiofauna (Rodríguez-Olarte et al. 2006a).

En la cuenca del río Yaracuy los tributarios Guáquira y Guarataro (Figura 3) son de interés para su conservación, pues estos mantienen caudales, hábitats acuáticos y poblaciones peces en buen estado de conservación. En la cuenca del río Aroa previamente se propuso al tributario Galápagos (entre los pueblos de Socremo y Yumare) con interés para su conservación, pero la intervención local ha aumentado. Actualmente, el río Agua Linda reúne mejores coberturas de bosques ribereños, por lo que debe ser considerado en los programas de conservación. Los ríos Morón y Sanchón tienen una cobertura total de vegetación (exceptuando las planicies) y es probable que sus cuencas sean las más conservadas de la región, esto obedece principalmente a los programas de manejo y de reforestación aplicados a esas cuencas; es de notar que una parte considerable del agua de estos ríos es empleada en la industria petrolera (Refinería El Palito).

3.4. Vertiente Caribe Central (IV) Ríos en la Cordillera de la Costa: Fila Los Cajeros - Cabo Codera

a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región D (Subregión D.4. Cordillera de la Costa Central: sectores D.4.2. Serranía del Litoral, D.4.3. Serranía del Interior). Los ríos que drenan la vertiente norte de la Cordillera de la Costa en este tramo provienen de valles marítimos en cuencas hidrográficas pequeñas (<200 km²), alargadas, con pendientes muy elevadas (~25%). Sus ríos tienen recorridos cortos (< 30 km) entre montañas y vallecitos de piedemontes (Figura 4). De usual las desembocaduras son asociadas con el cambio abrupto de pendiente conformando abanicos que se encuentran en expansión periódica. Las planicies aluviales de usual son pequeñas. Las pendientes elevadas y las costas de acantilados se asocian con una plataforma continental pequeña e impiden una acumulación importante de sedimentos fluviales, siendo característicos los valles inundados (rías), pero también hay estuarios de cauces únicos y algunas ciénagas y lagunas. La Cordillera de la Costa en este tramo se divide en dos secciones, desde la Fila Cajeros hasta el abra de Catia (oeste) y desde ahí hasta Cabo Codera

(este). Al este los ríos principales son Aguas Calientes (181 km²), San Esteban (40 km²), Ocumare (140 km²), Cata, Cuyagua, Choroní, Chuao (195 km²), Maya (121 km², Pico El Cenizo: 2407 msnm), Limón, Chichiriviche, Uricao Petaquire (137 km²) y, en abra de Catia, la Quebrada Tacagua (104 km²). Al este, donde la orografía tiene menor desarrollo horizontal pero mayores alturas y pendientes, destacan la quebrada San José de Galipán (16 km²) y varios ríos: Piedra Azul (22 km²), Río Grande (25 km²), Naiguatá (33 km²; Pico Naiguatá: 2.765 msnm), Camurí Grande (43 km²) y Los Caracas (78 km²). A partir de la Fila de San Juan y hasta Cabo Codera las alturas disminuyen drásticamente y se desarrolla un piedemonte que por el norte es asociado con lomeríos bajos; ahí los principales ríos son Caruao (68 km²), Chuspa (67 km²), Aricagua (83 km²) y Chirimena (Tabla 3).

b) **Clima y vegetación:** En las tierras bajas predomina el clima seco (semiárido) y, por contraste, es húmedo en las montañas inmediatas; este gradiente se expresa en un intervalo de precipitación entre los 500-600 a 800-1.200 mm desde las tierras bajas hasta las cumbres, similar al de la temperatura: 24-26° C a 10-14° C. Esta variación ocurre en un intervalo de pocos kilómetros entre el nivel del mar y las cumbres (5-16 km) y es expli-

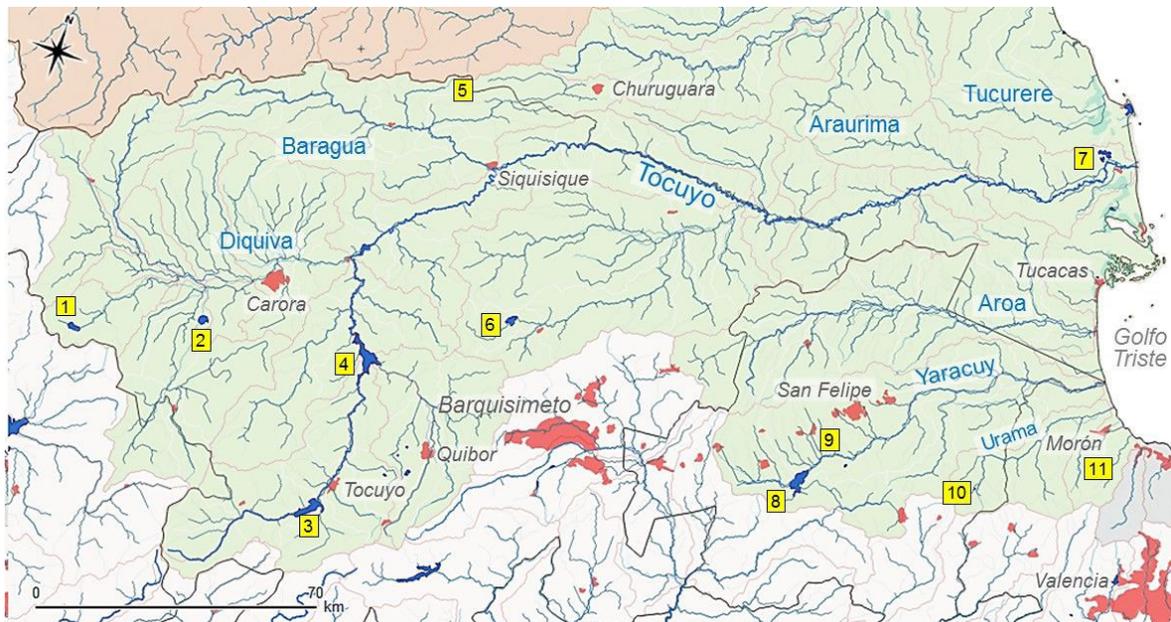


Figura 4. Principales ríos, lagunas y embalses en la Vertiente Caribe Occidental (III). La sección norte de la vertiente se indica en la Figura 3. Se muestran las principales divisorias de aguas (líneas finas claras). Los centros poblados y designaciones geográficas están en cursiva. Las mayores ciudades dentro de la vertiente son Carora, Tocuyo, Quibor y San Felipe. Los principales embalses son: 1) El Ermitaño, 2) Los Quediches, 3) Dos Cerritos, 4) Atarigua, 5) Mapará, 6) El Tacal, 7) Játira-Tacarigua, 8) Cumaripa, 9) Cabuy, 10) Canoabo, 11) Morón. Por condiciones de espacio la imagen ha sido rotada (20°).

cada por el efecto de los vientos alisios, que descargan su humedad en la vertiente norte de la cordillera. La región costera central del país es propensa a eventos extraordinarios de precipitación con efectos importantes en los ríos locales: entre los días 14 y 16 de diciembre de 1999 llovieron entre 400 y 900 mm sobre las montañas ya saturadas por lluvias previas, lo que propició una gran cantidad de deslizamientos y derrumbes. El material removido fue acarreado por ríos torrenciales fue enorme y arrasó con las cuencas bajas, ocasionando -además de pérdidas humanas y materiales- una transfiguración de los ríos y el paisaje litoral costero (López 2011). Desde el litoral hasta las montañas se muestra un gradiente notable en la vegetación.

En las cercanías al mar predominan los bosques xéricos y matorrales secos, incluso con vegetación armada y suculenta. En alturas medias la vegetación se expresa en bosques tropófilos deciduos de porte bajo, pero a mayores alturas existen bosques ombrófilos densos (selvas nubladas) que de usual se asocian con nieblas orográficas, estas proporcionan una cantidad importante de agua a los ríos locales. Por encima de los 2.200-2.500 msnm se desarrolla una vegetación de subpáramo, con predominio de plantas de porte bajo.

- c) **Aguas:** Para COPLANARH (1969) el escurrimiento anual para varios de estos ríos (Tabla 2) indica que tienen caudales bajos: Morón (1,2 m³/s), San Esteban (0,6 m³/s), Ocumare (1,8 m³/s), Chuao (3,8 m³/s), Petaquire-Mamo (0,1 m³/s), Chuspa (1,0 m³/s). En el río Piedra Azul (213 msnm) Barrientos et al. (2005) midieron la conductividad específica en 306 µS/cm, los sólidos totales disueltos en 301 ppm, el pH en 8,13 y el oxígeno disuelto en 1,6 mg/l. En los ríos con intervención de las cuencas altas se evidencia una concentración elevada de coliformes fecales, usualmente por encima de la norma, como el río Piedra Azul y la quebrada Osorio, ambas de utilidad en acueductos locales (Barrientos et al. 2005). Es de prever que en todos los drenajes con asentamientos humanos en la cuenca alta presenten coliformes en las aguas.
- d) **Fauna, usos y amenazas:** Se reconocen 45 especies de peces en los ríos costeros, con un predominio de grupos marinos y muy pocas especies estrictas de aguas dulces. Las especies representativas son marinas o estuarinas, destacando *Mugil curema*, *Agonostomus monticola*, *Awaous banana* y *Sicydium plumieri* y en las colecciones biológicas se han registrado 22 especies dulce-

acuícolas: *Astyanax bimaculatus*, *A. fasciatus*, *Hoplias malabaricus*, *Poecilia* spp., *Anablepsoides hartii*, *Andinoacara* y *Synbranchus marmoratus* (Rodríguez-OlarTE et al. 2011b). Desde los extremos de la Vertiente Caribe Central la riqueza disminuye a valores mínimos en el centro, como en el río Caruaa, con cuatro especies, mientras que al este, en el río Chuspa, se reconocen 16 especies (Lasso et al. 2015). Al oeste y en la frontera zoogeográfica, la riqueza de peces dulceacuícolas es de 27 especies (río Alpargatón, Urama). No se reconocen especies de peces endémicas para estos ríos. Es previsible que algunas poblaciones se encuentren en riesgo por la pérdida de hábitat en varios ríos pequeños, la transformación de cauces o los eventos climáticos, incluso la combinación de todas estas causas. Esto se asociaría con los ríos Aguas Calientes, San Esteban, Borburata, Ocumare, Choróni, Petaquire y Naiguatá. Alrededor de 21 especies de peces se incluyen en la pesca de subsistencia, casi todas marinas y estuarinas (*Elops*, *Agonostomus*, *Centropomus*, *Awaous*, *Gobiomorus*). El consumo de camarones de río (*Macrobrachium*, *Atya*), es usual en estos ríos costeros, incluso su comercialización (Lasso et al. 2015).

- e) **Áreas protegidas:** Tres parques nacionales resguardan varias cuencas en esta vertiente al mar: San Esteban (43.500 ha. 1987), Henri Pittier (107.800 ha. 1937) y Waraira Repano o El Ávila (81.900 ha. 1958. Figura 4). La cobertura boscosa natural en estos parques es elevada, salvando las áreas bajas asociadas con las desembocaduras y centros urbanos, pero existen áreas en las cuencas elevadas con intervención importante (Galipán, Piedra Azul). Igualmente, también destaca el Monumento Natural Pico Codazzi (11.850 ha. 1991), con una intervención importante en su superficie, expresada por una matriz agropecuaria.
- f) **Usos de la tierra:** Los ríos que tienen una cobertura forestal completa en todo su cauce principal -desde las montañas hasta la desembocadura- son pocos y asociados con las áreas protegidas (Tabla 2). La intervención en esta sección de la vertiente Caribe es diferencial y abrupta: existe un litoral costero con intervención extrema por centros urbanos, industriales y vías de comunicación, y donde los ríos son muy degradados. Por otro lado, existen áreas bajo protección oficial y/o con buen estado de conservación donde los ríos tienen un estado de conservación elevado.

La intervención se concentra e intensifica entre las cuencas de Maya y San José de Galipán (Figura 4), donde las laderas de las montañas reflejan un uso agrario notable y la franja costera con una muy

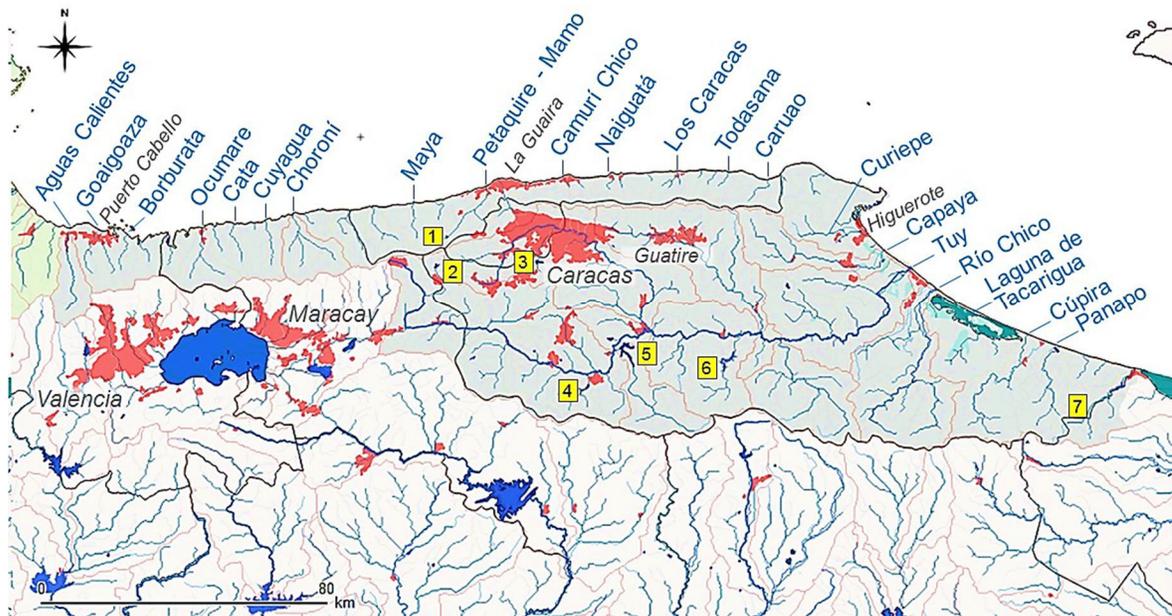


Figura 5. Principales ríos, lagunas y embalses en la Vertiente Caribe Central (IV). Se muestran las principales divisorias de aguas (líneas finas claras). Los centros poblados y designaciones geográficas están en cursiva. Las mayores ciudades dentro de la vertiente son Caracas, La Guaira, Guatire e Higuero. Los principales embalses son: 1) Petaquire, 2) Agua Fría, 3) La Mariposa, 4) Ocumarito, 5) Lagartijo, 6) Taguaza, 7) Guapo.

elevada densidad de población. Por el oeste, el río Aguas Calientes está bordado por carreteras, autopistas, pueblos y fábricas. Estos usos de la tierra cubren alrededor del 50% de la cuenca y, aun cuando su flanco oriental es protegido por el Parque Nacional San Esteban, los impactos sobre el ecosistema fluvial son grandes y evidentes. La mayor pérdida de cobertura boscosa se ha detectado en las cuencas contiguas de Tacagua y Petaquire (Mamo en la cuenca baja). La quebrada Tacagua drena un amplio sector del noroeste de la ciudad de Caracas y, aun cuando tiene algunas laderas de la cuenca media con cobertura vegetal elevada, atraviesa la ciudad de Catia La Mar (Figura 4). La agricultura se desarrolla en las pequeñas planicies de las cuencas bajas, donde el cacao es el cultivo con mayor cobertura, le siguen cultivos variados pero con poca extensión. En las zonas intervenidas de las áreas protegidas (ej. Galipán) el cultivo de flores y hortalizas es común.

- g) **Alteración de cauces:** El cauce del río Sanchón recibe los efluentes y residuos urbanos e industriales en todo su recorrido; además, ha sido canalizado en algunos tramos y al final de su curso está flanqueado por el pueblo de El Palito y una refinería de petróleo. Fuera del Parque Nacional San Esteban los ríos Goaiagoza y San Esteban ingresan a la ciudad de Puerto Cabello, son canalizados y reciben efluentes urbanos e indus-

triales antes de desembocar al mar. La canalización (transformación de cauces, desvíos) ocurre en casi todos los ríos de franja urbanizada en estas vertientes.

- h) **Demografía:** El litoral costero (~27 km) entre los centros urbanos de El Palito y Gañango (incluyendo la ciudad de Puerto Cabello, Figura 4) contiene unos 150.000 habitantes. Hacia el este, una franja casi continua de centros urbanos -desde Puerto Carayaca hasta Caraballeda- se extiende por unos 38 km de la costa. Estos caseríos, pueblos, ciudades y fábricas han sido creados y consolidados gracias a los ríos costeros, lo que se expresa en el tramo final de los mismos, que es muy afectado por efluentes, residuos y canalizaciones. Además, la mayoría de estos ríos suplen de agua a la población, que ahora puede alcanzar un poco más de 241.000 habitantes (incluyendo las cuencas altas). La densidad poblacional se dispara en la franja costera, pero aun así tiene valores muy elevados, los mayores entre todas las cuencas de las vertientes estudiadas. La menor densidad se ubica en las cuencas de los ríos Maya y Chuao, con 9 y 8 ind/km², respectivamente. Una densidad de población elevada pero menor a 100 ind/km² ocurre en Aguas Calientes y el grupo de cuencas Ocumare-Cuyagua, por ejemplo. Los valores se incrementan mucho en las cuencas con ciudades en su superficie, como San Esteban (ciudad de

Puerto Cabello) y Naiguatá, que alcanzan 687 y 542 ind/km², respectivamente. Valores extraordinarios son ostentados por las cuencas de Tacagua con 1.446 ind/km², que drena una fracción de la ciudad de Caracas y la ciudad de Catia La Mar (esta densidad es superada por el tributario Guaire, que drena la ciudad de Caracas en la cuenca del río Tuy), San José de Galipán (1.252 ind/km²) y Piedra Azul (1218 ind/km²).

- i) **Estado de conservación:** Las cuencas de los ríos Petaquire, Tacagua y San José de Galipán tienen clases CC4 y seis alcanzan la clase 3 (Tabla 2); aun cuando estas cuencas tienen urbanismos extensos (ej. San Esteban), una parte considerable de su superficie tiene una cobertura de bosques, condición propiciada por las áreas protegidas. Las cuencas de Naiguatá y Los Caracas tuvieron clases CC2 y CC1, respectivamente. La mayoría de estos ríos presentan una situación de conservación de interés a resolver: en las montañas los cauces se asocian con bosques ribereños que tienen de usual muy baja intervención. En las planicies y desembocaduras sucede todo lo contrario: la deforestación de riberas y la transformación de cauces es extendida. Las faunas (peces e invertebrados) en las zonas medias y altas están afectadas por la interrupción en los ciclos hidrológicos y temporales, principalmente aquellos grupos que tienen ciclos de vida entre el río y el mar. El fenómeno anterior debe tener una ocurrencia similar en el resto con cuencas con una cobertura boscosa relevante pero con desembocaduras asociadas a los centros urbanos. La lista es larga, siendo más práctico indicar aquellos ríos en donde existe la menor urbanización: Turiamo, Chuao, Cepe, Tuja, Anare y Los Caracas, entre algunas cuencas muy pequeñas (<10 km²) que tienen muy baja o nula intervención, acaso como respuesta a la ausencia de ríos permanentes en las mismas. Los eventos de precipitación extraordinarios de 1999 ocasionaron la pérdida generalizada de los acueductos locales, por lo que ocurrieron nuevas transformaciones de cauces para suplir de agua a los centros urbanos; esta situación, aunada al incremento de población predice un aumento en la depauperación de estos ríos costeros.

Ríos entre la Cordillera de la Costa y Cordillera del Interior.

Río Tuy

- a) **Paisaje, relieve e hidrografía:** Unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región D (Subregión D.4. Cordillera de la Costa Central: sectores D.4.2. Serranía del

Litoral, D.4.3. Serranía del Interior). El río Tuy nace en el Pico Codazzi (2.426 msnm) y drena 6.606 km² las vertientes sur de la Cordillera de la Costa y norte de la Cordillera del Interior. Desde su nacimiento en la Colonia Tovar corre al sur hasta la falla La Victoria (El Consejo); ahí tuerce al este hasta la Fila Las Veras, donde coge rumbo al sureste siguiendo el rumbo de la falla La Victoria, hasta los Valles del Tuy, donde luego de recibir al río Súcuta sigue al norte bordeando la Fila La Pastora hasta el Topo Lele, donde toma rumbo este, recibe al río Guaire, bordea por el sur a la Fila Las Hermanitas y luego penetra la depresión de Barlovento, luego de recibir a los ríos Taguaza y Grande, donde bordeará por las planicies el flanco norte de la Serranía del Interior. Luego de las Sabanas de Rubio y antes del sector Madre Vieja el río Tuy cambia abruptamente su curso al noroeste, corre unos kilómetros y otra vez retoma su curso previo y por un canal llega al mar. Así, el río Tuy ha recorrido 269 km (Figura 4).

La cuenca del Tuy se puede dividir en cuenca alta, desde las cabeceras hasta la Falla La Victoria (Fila El Picacho), cuenca media (tramo El Picacho – desembocadura del río Taguaza) y la cuenca baja, de ahí hasta el mar. Los principales tributarios por el norte son los ríos Guaire (1.185 km²), que atraviesa el Valle de Caracas pero antes recibe los ríos El Valle (San Diego, 1.310 msnm, 79 km²), San Pedro (Topo El Arado, 2.050 msnm, 123 km²) y Macarao (Alto Ño León, 2.122 msnm, 109 km²). El río Guaire desemboca en el río Tuy bordeando la ciudad de Santa Teresa del Tuy. Siguiendo el curso de río Tuy, le siguen los ríos Grande o Cauagua (817 km²) y Merecure, este último se integra con ciénagas boscosas en las planicies cercanas a Tapipa, muy cerca del río Tuy. Aguas abajo y en las mismas planicies cenagosas nacen los caños Las Brisas y Colorado, que desembocan de inmediato en el río Tuy. A unos dos kilómetros de la desembocadura al mar desde el río Tuy parte el caño de marea Boca Vieja y corre en dirección noroeste, casi paralelo a la costa, hasta unirse con el río Capaya justo en la desembocadura.

Por el sur los principales tributarios son los ríos Cagua, Guaire (Fila Las Cotizas, 1.453 msnm, 181 km²), Ocumarito, Lagartijo (Filas La Rasante y Maestra, 1.374 msnm, 324 km²), Taguacita, Taguaza (Fila de Guatopo, 1.576 msnm, 270 km²), Cuira (Fila Maestra, Cerro Aserradero, 1.503 msnm, 557 km²). Entre los lomeríos y planicies de la cuenca baja existen algunas ciénagas y lagunas: Caño Negro, Laguna Grande, La Unión y La Maroma, esta última a la margen derecha del Tuy. Ya cerca

del litoral marino el río atraviesa planicies inundables, como las sabanas de Guardalagua, Oro, Toro y Bajos de Manatí (Figura 4, Tabla 3).

- b) **Clima y Vegetación:** En las cumbres de la Cordillera de la Costa (Monumento Natural Pico Codazzi) las temperaturas son de 13-16° C y las precipitaciones entre 1.000 y 1.500 mm anuales; ahí, el periodo de sequía es breve, entre enero y marzo (Parkwatch 2003). En Caracas (Observatorio Cajigal, 1.035 msnm) la precipitación anual ha sido registrada en 826 mm y la temperatura en 20,8° C y estos valores tienden a bajar hasta el río Grande (Guarenas-Guatire), donde las temperaturas medias están alrededor de los 23,5° C y con 852 mm de precipitación anual. Ya en la depresión de Barlovento la humedad se incrementa gracias a los vientos alisios húmedos que originan precipitaciones orográficas en las cadenas montañosas que bordean la depresión. En Caucagua la temperatura es de 26,4° C y la precipitación de 2.075 mm, mientras que al sureste, en las montañas de Guatopo, las precipitaciones anuales están entre los 2.200 y 2.500 mm y las temperaturas superan los 26° C (Márquez 2006). Es conocido que en las planicies bajas de Barlovento (Tapipa, El Clavo, Panaquire) la precipitación puede llegar a los 2.800 mm y en el litoral (San José de Río Chico), los 1.488 mm, con temperaturas que rondan los 26° C (Jaimes et al. 2006); ahí el periodo seco se extiende de noviembre a mayo y el de lluvias de junio a octubre.

En las montañas elevadas la vegetación es de subpáramo arbustivo en las mayores alturas (Pico Naiguatá), pero a lo largo de las áreas protegidas en las cordilleras de la Costa y del Interior predominan los bosques montanos siempreverdes (bosques nublados) y semidecíduos estacionales. En el valle medio del río Grande (Guarenas-Guatire) los bosques secos deciduos tienen una cobertura elevada en las tierras bajas, pero ya en la depresión de Barlovento la humedad permite el desarrollo de densos bosques húmedos y áreas de vegetación baja asociadas con ciénagas y humedales herbáceos. En las cercanías al mar y hacia el este el clima es más seco y la vegetación tiende a ser decidua, mientras que en litoral, las desembocaduras y albuferas están bordeadas por manglares y vegetación halófitas de porte bajo.

- c) **Aguas:** El río Tuy tiene el mayor caudal en la vertiente Caribe, con 80 m³/s (Tabla 3). En la cuenca media y antes del ingreso de los principales afluentes (Guaira y Grande) se ha medido el caudal en 18,6 m³/s (COPLANARH 1969), mientras que en la depresión de Barlovento (El Clavo) ha

alcanzado 70,7 m³/s (Márquez 2006). El río Grande ha mostrado un caudal de 6,3 m³/s. En Barlovento otros tributarios tienen variables, por el norte el río Merecure tiene 0,2 m³/s en los lomeríos y por el sur los ríos Taguaza y Cuira tienen caudales importantes: 9,7 y 26,8 m³/s, respectivamente. A partir de la cuenca media del río Tuy sus aguas son muy contaminadas, debido al ingreso de efluentes urbanos en los Valles del Tuy y de sus principales tributarios al norte (Guaira y Grande); sin embargo, el río tiene tributarios con aguas limpias que provienen usualmente de áreas protegidas, por lo que los reportes sobre los aspectos físicos y químicos de sus aguas son variables. En el río Tuy los valores medios de conductividad son 200 µS/cm y oxígeno disuelto de 8,4 mg/l; mientras que el pH ha sido medido en 7,4 (Mogollón et al. 1993). El río Guaira antes de su desembocadura ha mostrado una corriente con 14,1 m³/s y 5,8 mg/l de oxígeno disuelto, mientras que en el río Grande la corriente fue de 11,6 m³/s y el oxígeno disuelto con 4,2 mg/l (Hernández 2011). En la mayor parte de los tributarios de la cuenca los valores de coliformes fecales son elevados..

- d) **Fauna, usos y amenazas:** En el río Tuy y las pequeñas cuencas vecinas (Curiepe, Capaya, Guapo, Uchire) los registros dan cuenta de 60 especies de peces de aguas dulces (Rodríguez-Olarte et al. 2011b), incluyendo un número elevado de géneros (45) respecto a todas las cuencas que drenan al Mar Caribe. Los Characiformes (26 especies) y los Siluriformes (17 especies) abarcan un poco más del 70% de la riqueza. Son varias las especies endémicas estrictamente a la cuenca (*Moenkhausia pittieri*, *Chaetostoma guairense*, *Cordylancistrus nephelion*, *Rineloricaria caracasensis* y *Trichomycterus mondolfi*), pero también otras endémicas para la vertiente, como el caribe del Neverí (*Serrasalmus neveriensis*). En la cuenca del río Tuy son varias las especies en situación de amenaza según el Libro Rojo de la fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015). En la categoría En Peligro están varios bagres Loricariidae (*Chaetostoma pearsei*, *Cordylancistrus nephelion*, *Rineloricaria caracasensis*) y un bagre Trichomycteridae (*Trichomycterus mondolfi*) y como vulnerables son las especies *Chaetostoma guairense*, *Moenkhausia pittieri* y *Serrasalmus neveriensis* (González-Oropeza et al. 2015).

Es previsible que las poblaciones de varias especies hayan sido extirpadas en las subcuencas o tramos muy contaminados y/o con hábitats fragmentados por la transformación o desecación de cauces; de igual manera, la ictiofauna local -y la

biota acuática asociada- se encuentra en una situación de amenaza generalizada. No se disponen de datos sobre las especies estuarinas y marinas que frecuentan el tramo final del río Tuy, pero se supone son similares a las registradas en el resto de los ríos locales.

La mayoría de las especies de peces en la cuenca son de tamaño pequeño a moderado, pero de usual tienen importancia en la pesca de subsistencia, como las guabinas (*Hoplias*), corronchos y bagres (*Chaetostoma*, *Hypostomus*, *Pimelodella*, *Rhamdia*), viejas, mataguaro y picos de frasco (*Andinoacara*, *Cichlasoma*, *Crenicichla*, *Caquetaia*), y las sardinitas (*Astyanax*, *Steindachnerina*). Varias especies tienen importancia ornamental, especialmente *Moenkhausia pittieri* y algunos bagres (*Chaetostoma*, *Corydoras*, *Microglanis*). Se reportan como especies introducidas a la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) en el embalse Agua Fría y las tilapias (*Oreochromis*) en el cauce del río Tuy (González-Oropeza et al. 2015). En las pequeñas quebradas que drenan el Parque Nacional Waraira Repano (ej. Los Chorros) ha sido habitual introducir diferentes especies de peces ornamentales. También se reconoce una incipiente cría de cachamas (*Colossoma*) promovida por oficinas gubernamentales en varios sectores de la cuenca.

- e) **Áreas protegidas:** En la cuenca se mezclan varias áreas protegidas: En la Cordillera de la Costa está el Parque Nacional Waraira Repano (81.900 ha. 1958) y los monumentos naturales Pico Codazzi (11.850 ha, 1991) y Cueva Alfredo Jahn (58 ha, 1978), este último se incluye en el drenaje del río Curiepe. Por el sur están los parques Macarao (15.000 ha. 1973) y Guatopo (122.464 ha. 1958). Además, existen las zonas protectoras de la cuenca del río Chuspita (5.642 ha, 1976) y de los embalses La Mariposa (Embalse 2.825 ha, 281.069 ha, 1988) y La Pereza (330 ha, 1982). Prácticamente toda la cuenca del río Tuy tiene prioridad de tratamiento y conservación: Área Crítica con Prioridad de Tratamiento (877.974 ha, 1992). A pesar que la superficie acumulada de estas áreas administrativas se solapa y duplica el área de la cuenca, el río Tuy y muchos de sus tributarios tienen una situación de depauperación generalizada y extrema.

Usos de la tierra: Aun cuando en toda la cuenca del río Tuy existe una deforestación generalizada debido a la expansión de la frontera agrícola y urbana, aún existen lugares con vegetación natural y/o muy poco intervenida, como en el extremo oriental de la Cordillera del Interior y bosques en la planicie de Barlovento. No obstante, en la depresión de Barlovento los cultivos de cacao, que

tienen una gran extensión, se ubican en los estratos bajos de los bosques. La agricultura es común y dispersa a lo largo de la cuenca. La minería no metálica (gravas) es intensa y extendida a lo largo del río Tuy y sus tributarios; esta minería es usualmente ribereña y sus efectos sobre el medio local y aguas abajo son evidentes. Un examen de imágenes satelitales muestra que el río Tuy en su cuenca baja (Barlovento) y entre los poblados de Araguaita y Panaquire tiene por lo menos 10 minas de grava; estas son usualmente ribereñas. A su vez, el río Grande muestra por lo menos once minas desde Guatire hasta su desembocadura en el Tuy. La densidad de minas de grava en estos tramos es quizá la más elevada del país. Otras tantas minas de gravas se detectan en la cuenca media del río Tuy. Aparte, existen otros tipos de minerías (calizas, cemento) dispersas en las montañas y lomeríos.

- f) **Demografía:** La cuenca del río Tuy concentra la mayor población de Venezuela y la revisión de registros del censo de población 2011 indica que ahí habitan 4.536.886 personas (Tabla 3), con un aporte de 1.943.901 habitantes por el Distrito Federal y 2.675.165 por el estado Miranda. Lo anterior indica una densidad de 687 ind/km² para la cuenca., La cuenca del principal tributario (río Guaire 1.185 km²) y que contiene la mayor población, la densidad alcanza 2.915 ind/km². Nótese que la densidad de población para Venezuela es de unos 34 ind/km².
- g) **Alteración de cauces:** Los ríos en la cuenca han sido transformados en gran medida. El río Tuy era navegable por embarcaciones pequeñas desde la confluencia con el río Guaire hasta el mar; este último accionó en 1895 la primera planta hidroeléctrica de Venezuela. Alrededor de las carreteras y las autopistas muchos tramos de ríos han sido canalizados, como el Guaire y varios de sus tributarios, que han sido embaulados en su curso urbano. También son varios los embalses en la cuenca, siendo principales: La Mariposa (54 ha. 1949), Agua Fría (44 ha. 1949), Quebrada Seca (95 ha. 1961), Lagartijo (451 ha. 1962), La Pereza (8.7 ha. 1969), Ocumarito (75 ha. 1969) y Taguaza (580 ha, 1997), pero existen muchos otros pequeños embalses públicos y privados. En la cuenca media el río Tuy y sus tributarios reciben las descargas de grandes centros urbanos, sumándose extensos centros industriales. Estos efluentes son recibidos principalmente por los ríos Guaire y Grande. Para Hernández (2011), el río Tuy tiene poca contaminación solo en su cuenca alta, pero los mayores tributarios de la cuenca están muy con-

Tabla 3. Principales ríos en la Vertiente Caribe Central (VCC). El origen y tratamiento de los datos es indicado en los métodos. En la Corriente se indica su tipo (T): eventual (e), intermitente (i), permanente (p) y el caudal (m³/s). La Población humana es basada en el censo nacional de 2011. En Perturbaciones están: Embalses en número (N°) y superficie del espejo de agua (ha), la canalización y desvío (CD) de cauces principales (c) y tributarios (t), y los efluentes (E), que son urbanos (u) e industriales (i). La mayoría de los ríos reciben efluentes agropecuarios. Las clases de conservación (CC) son: buena (1), regular (2), pobre (3) y muy pobre (4). En los Ríos se indica entre paréntesis el número de áreas protegidas (parques nacionales y monumentos naturales) en su cuenca. Los grupos de ríos son: Goaiagoaza y San Esteban (a), Borburata y Patanemo (b), Turiamo, Ocumare, Cata y Cuyagua (c). Se indica el abra de Tacagua o Catia (d).

Ríos	Cuenca (km ²)	Corriente		Población humana	Perturbaciones			CC	
		T	(m ³ /s)		Embalses N°	ha	CD		E
Vertiente Caribe Central									
Aguas Calientes (1)	181	p	1,0	17.212			c	ui	3
San Esteban (1) ^a	164	p	0,5	112.742			c	ui	3
Borburata-Patanemo (1) ^b	115	p	2,0	17.496			c	ui	3
Ocumare-Cuyagua (1) ^c	399	P	4,0	12.816					2
Choroní (1)	114	P	1,0	5.815				u	2
Chuao (1)	217	i	1,0	1.853				u	1
Maya (1)	122	i	0,5	1.000				u	3
Limón (1)	112	p	1,0	6.200				u	3
Petaquire (1)	137	i	0,2	39.000	1	18,5	c	ui	4
Tacagua (1) ^d	104	i	0,5	150.366			c	ui	4
Piedra Azul (1)	26	p	0,2	31.657				u	3
San José de Galipán (1)	16	p	0,2	20.033				u	4
Naiguatá (1)	33	p	0,2	17.877			c	u	2
Los Caracas (1)	77	p	1,0	5.902				u	1
Chirimena	26	p	1,0	3.500				u	3
Curiepe (2)	174	p	1,0	45.090			c	ui	3
Capaya	349	p	5,0	27.001			c	ui	4
Tuy (4)	6.606	p	65	4.536.886	8	1.432	c	ui	4
Guapo (1)	836	p	12,0	37.944	1	600	c	u	3
Uchire	257	p	2,0	21.831	1	2.000	c	u	3
Otros	431		4	11.000		65			3

taminados, con valores elevados en la conductividad y en las concentraciones de Na, K, Ca, Mg SO₄²⁻ y HCO₃⁻, al igual que metales traza (Al, Fe, Mn). Esto se ha evidenciado por el norte en los ríos Guaire y Grande (Caucagua) y por el sur en varios ríos y quebradas asociadas con centros urbanos (ej. Guayas, Ocumare, Lagartijo, Cagua, Cua, Charallave), incluso en la desembocadura, sugiriendo aportes relevantes de aguas residuales domésticas e industriales, así como también de actividades agropecuarias.

- h) **Estado de conservación:** La cuenca tiene una clase CC4, pero su situación es más compleja que en otras ríos costeros del país, principalmente por la intensidad de los impactos y la extensión y variedad de perturbaciones, todo esto en una matriz dinámica de centros urbanos, campos

agrícolas, áreas protegidas en montañas, áreas especiales de manejo fragmentos de bosques en algunos sectores y una diversidad biológica elevada y con endemismo importante. Al parecer, la cuenca genera más agua de la que emplea como agua potable. El río Tuy tiene un caudal promedio de: 65 m³/s (Tabla 3) y la oferta de agua potable para la Región Metropolitana Caracas (RMC) en 2010 fue de unos 26 m³/s (Martínez 2013); la misma provenía en gran medida de los ríos embalsados en la cuenca del río Tuy, pues una parte proviene de pozos profundos y del sistema con origen en el embalse Camatagua (7.648 ha. 1968) en la cuenca del río Guárico, sistema del Orinoco.

El interés para la depuración de las aguas servidas antes de ser descargadas en los cauces es recurrente y tiene cerca de un siglo, con principal

foco de acción en el río Guaire, mediante planes de alcantarillado, colectores y proyectos integrales de saneamiento. El último de estos proyectos fue presentado a principios de este siglo, pero aún no se ha logrado el tratamiento de las aguas residuales generadas por la ciudad de Caracas (Martínez, 2013). A parte del previsible crecimiento de la población y de los efectos negativos del clima en los diferentes escenarios del cambio climático, la ausencia de correctivos adecuados para evitar o disminuir la deforestación de bosques ribereños, contaminación de los cauces, la fragmentación y pérdida de hábitats, así como la pérdida de la diversidad biológica acuática.

Otros ríos en la vertiente Caribe Central

En las unidades del paisaje: Región A (subregión A.2 Continental costera), Región D (Subregión D.4 Cordillera de la Costa Central: sectores D.4.3. Serranía del Interior). Otros ríos menores son asociados al río Tuy: al norte destacan los ríos Curiepe y Capaya (411 km²). El río Curiepe nace en el flanco sur en las estribaciones orientales de la Cordillera de la Costa (Cerro Carrizal, Fila Palmital), sus tributarios corren al sur, pero el río principal tiene dirección este, atraviesa las planicies cenagosas (Laguna Moreno) donde se incorporan pequeñas quebradas para luego ser canalizado y orientado hacia la ciudad de Higuerote, la cual atraviesa antes de desembocar en la bahía (Figura 4). Este río tendría una desembocadura asociada con las lagunas Loma del Viento y La Reina, esta última objeto de extensos urbanismos litorales. En la cuenca alta los bosques tienen poca intervención, debido a la protección parcial del Parque Nacional Waraira Repano, pero en la cuenca son varios los centros urbanos en el curso del río: Curiepe, Birongo e Higuerote, este último es además un centro turístico importante en la región. La población en la cuenca es de unas 45.090 personas y con una densidad elevada (259 ind/km²). El río Capaya tiene el mismo origen que el río anterior (Fila Las Perdices) pero sus cabeceras no son protegidas y presentan una cobertura agropecuaria moderada, pero esta se incrementa en el resto de la cuenca.

En toda la cuenca los bosques se muestran usualmente en pequeños fragmentos asociados con los sistemas de producción agropecuaria. El río Capaya atraviesa varios caseríos y centros poblados, como Capaya, Tacarigua de Mamporal y Sotillo; estos suman unas 27.000 personas (77 ind/km²). Ya en las planicies el río es canalizado -con rumbo norte y por unos seis kilómetros- hasta el mar. El río Capaya desembocaba anteriormente más al este y es posible que en el algún momento desembocara en el río Tuy. En el río

Curiepe los caudales han sido registrados entre 1-3 m³/s, mientras que en el río Capaya son un poco mayores, con 3,2 m³/s (COPLANARH 1969). El río Curiepe tiene una clase CC3 y al Capaya le corresponde la clase CC4 (Tabla 3).

Al sureste del río Tuy los principales drenajes son los ríos San José, Guapo, Cúpira (378 km²), Chupaquire, Panapo (137 km²) y Uchire (285 km²). El tramo final del río San José ha sido modificado en gran medida: atraviesa el pueblo costero de San José de Río Chico y es canalizado y derivado hacia un complejo de canales artificiales de Río Chico. La cuenca alberga unas 37.994 personas (45 ind/km²). El río Guapo nace en Fila Maestra (1.087 km². Figura 4) de la Cordillera del Interior, corre al norte y al mar Caribe por una planicie pequeña (~20 km). En esa cuenca la precipitación anual es de 2.303 mm y la temperatura media de 25,7° C. Este río desembocaba directamente en Puerto Tuy, unos tres kilómetros al este de la desembocadura de Río Chico (Caño Copey) y a 9,6 km al este del río Tuy. Sin embargo, unos cinco kilómetros aguas abajo del pueblo de San Fernando del Guapo el río fue desviado al este y canalizado por unos 5,2 km hacia la Laguna de Tacarigua, que es una albufera con un típico cordón litoral con 26,7 km de longitud y una superficie de 7.800 ha.

La Laguna de Tacarigua y sus manglares son protegidos por el Parque Nacional Laguna de Tacarigua (39.100 ha. 1974). En su nueva desembocadura el río Guapo ha conformado un delta que ha evolucionado acorde con la represa del Guapo, aguas arriba (Méndez et al. 2000). El caudal del río Guapo se ha medido en 2,2 m³/s. En el río Guapo se construyó un embalse antes de ingresar a las planicies (600 ha. 1981), este fue averiado durante eventos de precipitación extraordinaria en 1999. El río Guapo tiene una clase CC3.

El río Cúpira, con clase CC2, mantiene una mayor cobertura de vegetación en la cuenca alta (Fila Zumbador) y de bosques ribereños respecto a los otros ríos locales y su cauce no ha sido transformado en gran medida. Aparte de varios caseríos ribereños, en las planicies el río bordea los pueblos de Cúpira y Machurucuto, este último en la desembocadura. Los ríos Chupaquire y Panapo tiene condiciones geográficas similares al río Cúpira, pero sus cuencas son menos pobladas; no obstante, el río Panapo es intermitente. Ya más al este el clima es menos húmedo y los bosques en las estribaciones de la cordillera son más secos y deciduos, pero con coberturas extensas. El río Uchire drena el límite oriental de la vertiente. Esta cuenca es más intervenida (CC3) y alberga una población de 21.831 habitantes (85 ind/km²). Las tierras altas tienen extensas coberturas agropecuarias

y presencia de caseríos y pueblos (Sabana de Uchire), en la cuenca media existe con cobertura elevada de bosques y se asienta un embalse (200 ha. 1978). En las planicies el río es canalizado y bordea el pueblo costero de Boca de Uchire (Figura 4, Tabla 3).

4. CONSIDERACIONES FINALES

Cerca del 60% de las cuencas evaluadas tiene menos de 1.000 km²., mientras que el 10% de los ríos tiene caudales mayores a los 5 m³/s; además, el 98% de la superficie de la vertiente Caribe corresponde a ríos en las clases de conservación 3 y 4 (CC4: 58.2%, Figura 5), además, los 20 ríos que drenan las vertientes más secas (40.874 km²) son clase CC3 y superior. Sólo siete cuencas tienen clases CC1 y CC2 y estas son muy pequeñas, en promedio 156 km², con caudales pobres (usual <1 m³/s) y muy baja diversidad biológica en las aguas respecto a las cuencas vecinas. Por paradoja, la mayoría de las cuencas grandes contienen la mayor población humana, más intervención de sus ambientes naturales, caudales más voluminosos y contaminados, así como una diversidad biológica y endemismo elevados pero en situación de riesgo.

Aun cuando las varias áreas protegidas en la vertiente han tenido un efecto positivo para la conservación de las coberturas boscosas y, en consecuencia, de los hábitats y caudales en los ríos, tienen un efecto limitado respecto al curso total de los ríos; excepto en las áreas protegidas de la Cordillera de la Costa, donde

los parques nacionales tienen una cobertura extendida de esas pequeñas cuencas; no obstante, en estos casos los tramos finales y las desembocaduras no tienen protección y están muy intervenidas.

Los drenajes al Golfo de Venezuela y en las vertientes al Mar Caribe Occidental y Central tienen la menor cantidad de ríos y caudales en el país. Por ejemplo, asociada también con el Mar Caribe, está la cuenca del Lago de Maracaibo, que genera unos 1300 m³/s. Los 239 m³/s de caudales de todos los ríos costeros evaluados representan sólo un 0,5% del total nacional, pero son de interés fundamental para 7.217.558 personas, a este volumen se añade el aporte de acuíferos subterráneos y trasvases desde cuencas vecinas. Entre los caudales acumulados que estos ríos descargan al Mar Caribe (recuérdese que los datos no son actualizados) a los ríos Tocuyo, Yaracuy y Tuy (los más grandes y más contaminados) le corresponden cerca del 60%; esto es, unos 130.000 litros de agua contaminada que cada segundo ingresan al mar, pero que antes dejan su efecto en los hábitats y sus biotas, depauperando a su vez a las riberas y empobreciendo a sus gentes.

Existen 34 grandes embalses que acumulan 19.578 ha; de estas, la cuenca del río Tocuyo tiene 5.428 ha repartidas en siete embalses, mientras que la cuenca del río Tuy, con ocho embalses, acumula 1.432 ha de espejo de agua; esto, además de las seguramente miles de lagunas artificiales y complejos piscícolas a lo largo

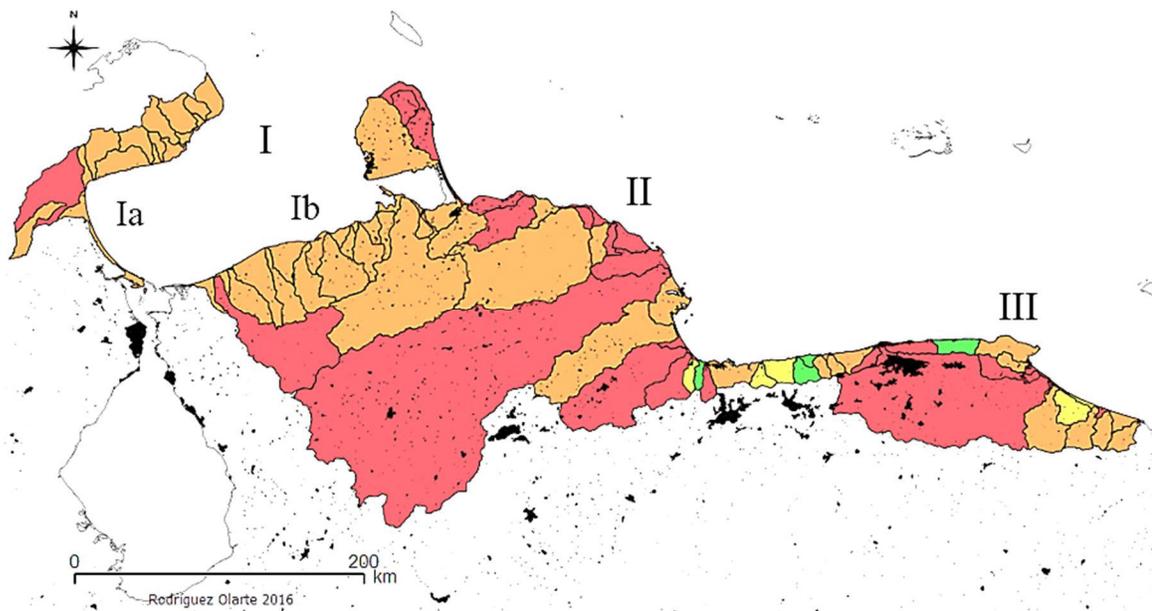


Figura 6. Clases de conservación en la Vertiente Caribe de Venezuela: Golfo de Venezuela (drenajes occidentales, Ia; drenajes orientales Ib), Vertiente Caribe Occidental (II) y Vertiente Caribe Central (III). Las clases de conservación son: 1 (conservación buena, verde), clase 2 (conservación regular, amarillo), clase 3 (conservación pobre, naranja) y clase 4 (conservación muy pobre, rojo). Los puntos y polígonos negros e irregulares representan los centros poblados.

de las cuencas. Cerca del 71% de los embalses se ubican en ríos con clase CC4 y la mayoría de sus áreas de drenaje, lejos de estar protegidas para amortiguar la erosión, tienen una intervención manifiesta. En la mayoría de los ríos -y con mayor expresión en las cuencas secas- los cauces son transformados para represar o desviar sus aguas hacia acueductos urbanos y áreas agropecuarias; parte de estas aguas regresan a los ríos contaminadas con efluentes urbanos y residuos agrícolas. La extracción y uso del agua fluvial no es objeto de reglamentación y lo usual es que aguas abajo no se disponga del recurso hídrico en condiciones ecológicas y sanitarias adecuadas. En varios casos los ríos son totalmente desecados a partir de las cuencas medias debido a la extracción masiva del agua en las tierras elevadas.

El uso intenso, extenso y desordenado de los recursos acuáticos fluviales en las cuencas secas y con las previsiones del cambio climático tiene pronósticos muy desfavorables en el futuro cercano. Los datos e información disponible sugieren que existe una situación de riesgo generalizado para la mayoría de ríos costeros en las vertientes estudiadas, pero aún no se aplican protocolos específicos para evaluar en sentido amplio en diferentes escalas espacio-temporales los atributos físicos, biológicos y sociales asociados con el estado de conservación de los ríos costeros de Venezuela. No obstante y como se ha referido, se disponen de evaluaciones iniciales en sectores de piedemonte de algunas cuencas, como Aroa y Tocuyo que han permitido generar bases de datos locales de interés para la conservación. El monitoreo de los recursos hidrobiológicos fluviales es de prioridad para su restauración y conservación, pero aún es incipiente y no es asistido por programas gubernamentales de manejo. Es necesario que en el corto plazo se inicie un programa de monitoreo, que aplique protocolos adaptados para la evaluación de los ecosistemas acuáticos y que incluya la restauración y manejo adecuado de los mismos.

Agradecimientos

Este trabajo es el resultado parcial de la información generada en proyectos de investigación auspiciados por la Colección Regional de Peces (CPUCLA) y financiados por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (CDCHT-UCLA: 001-AG-2005, 041-AG-2009, 000-AG-2015, 1081-AG-2017). Agradecemos a los árbitros anónimos.

REFERENCIAS

Barreto, E., Meléndez, W. Yanes, C. y Barreto, M. 2007. Estudio hidrogeoquímico de las aguas superficiales de la zona costera comprendida entre las bocas de los ríos

- Yaracuy y Tocuyo, estado Falcón, Venezuela. *Memoria IX Congreso geológico venezolano*. Caracas, Venezuela.
- Barrientos, Y., Suárez, C. Pacheco, H., Ruiz, S., Devia, B. y Perdomo Y. 2005. Calidad microbiológica del agua y riesgo sanitario de dos acueductos rurales en el estado Vargas, Venezuela. *Investigación y Postgrado*. 20(1): 115-141.
- Bone, D., Losada, F. y Weil, E. 1993. Origin of sedimentation and its effects on the coral communities of a Venezuelan national park. *Ecotrópicos*. 6(1): 10-21.
- Carmona, H. y Márquez, A. 2015. Extreme events in low Tocuyo river basin, Venezuela. In the context of climate change. *E-proceedings of the 36th LAHR World Congress*. 1-6.
- Cartaya, S., Méndez, W. y González, L. 2005. Geomorfología y sedimentología de los ambientes depositacionales recientes del complejo estuarino de los ríos Hueque y Curarí, Estado Falcón, Venezuela. *Investigaciones Geográficas*. 58: 7-33.
- Colonnello, G., Grande, J. R., y Oliveira-Miranda, M. A. 2014. Distribución, estructura y composición florística de los bosques de palmas (Chaguaramales) de la cuenca del río Aroa, Venezuela. *Acta Biológica Venezuelica*. 34(1): 35-6.
- COPLANARH. 1969. Inventario nacional de aguas superficiales. Volumen I. Comisión del plan nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, Caracas. Venezuela.
- COPLANARH. 1971. Potencial de polución. Publicación N° 21. Comisión del plan nacional de aprovechamiento de los recursos hidráulicos, Caracas. Venezuela.
- Corpoguajira 2007. Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Carraipía Paraguachón. Corporación Autónoma Regional de La Guajira, Corpoguajira. Informe técnico.
- Foghin-Pillin, S. 2015. El año de las humaredas: Registro histórico de algunas sequías extremas en Venezuela. *Bitácora-e*. 2: 3-25.
- Fundambiente. 2006. *Recursos hídricos de Venezuela*. Fundación de Educación Ambiental. Fundambiente. Ministerio del Ambiente, Caracas. Venezuela. 1^{ra} edición.
- Garrity, C. P., Hackley, P. C., y Urbani, F. 2010. *Digital shaded relief map of Venezuela (v. 2.0)*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1322, 1 p. text, plus metadata.
- González-Oropeza, K., Lasso, C. y Lasso-Alcalá, O. 2015. Ictiofauna Dulceacuicola de la cuenca del río Tuy, vertiente Caribe, Venezuela: composición, uso y conservación. Capítulo 8.11. (pp: 397-414). En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte (Eds.). *XII. Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Hernández, N. 2011. *Estudio geoquímico de los sólidos disueltos de la cuenca del río Tuy*. Trabajo especial de grado. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela.
- Huber, O. y Oliveira-Miranda, M. 2010. Ambientes terrestres de Venezuela (pp: 29-86). En: Rodríguez, J., Franklin, S. y Giraldo, D. (Eds.). *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Provita. Caracas.

- Jaimes, E., Pineda, C., Neida, M., y Mendoza, J. 2006. Homogeneidad mesoclimática de algunas zonas de vida de Venezuela. *Interciencia*. 31(11): 772-786.
- Lasso, C. A., Lira, E., Lasso-Alcalá, O. M. y Cabrera, A. 2015. Biodiversidad acuática (peces, crustáceos y moluscos) de los ríos costeros del litoral central, vertiente Caribe, Venezuela: composición, uso y conservación Capítulo 8.13 (pp: 433-455). En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte (Eds.). XII. *Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Lehner, B. y Grill G. 2013. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. *Hydrological Processes*. 27(15): 2171-2186.
- López, J. L. 2011. Una visión crítica sobre el desastre de Vargas: ¿Qué se ha hecho? ¿Qué falta por hacer? *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. 26(3): 63-81.
- Mac-Pherson, T. A. 1883. *Diccionario histórico, geográfico, estadístico y biográfico del estado Lara*. Imprenta Segrestaa. Puerto Cabello, Venezuela.
- Madi, Y., Vázquez, J., León, A., y Rodríguez, J. 2011. Estado de conservación de los bosques y otras formaciones vegetales en Venezuela. *Biollania Edición especial*. 10: 303-324.
- MARNR 1983. *Recursos hidráulicos de Venezuela*. Sistemas ambientales venezolanos. Serie II, sección I. Documento N° 3. Código II-1-3. Proyecto VEN/79/001. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Venezuela, Caracas.
- Márquez, R. 2006. *Censo e inventario de aguas con fines de uso agrario en el estado Miranda*. Instituto Nacional de Tierras. Ministerio de Agricultura y Tierras. República Bolivariana de Venezuela.
- Martínez, R. 2013. *La gestión del agua potable y el saneamiento en el Área Metropolitana de Caracas*. Instituto Latinoamericano de Investigaciones Sociales (ILDIS). Caracas, Venezuela.
- Matteucci, S. D., Colma, A., y Pla, L. 1999. Biodiversidad vegetal en el árido falconiano (Venezuela). *Interciencia*. 24(5): 300-307.
- Matteucci, S., Colma, A. y Pla, A. 1979. *Análisis regional de la vegetación y el ambiente del estado Falcón: La vegetación de Falcón*. Informe técnico. Instituto Universitario de Tecnología. Ministerio de Educación, Venezuela.
- Medina E. y Barboza F. 2006. Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: Distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotrópicos*. 19: 128-139.
- Méndez, W., Suárez, C. y Cartaya S. 2000. Morfología del delta lagunar del río Guapo y características mineralógicas del frente deltaico, laguna de Tacarigua, estado Miranda, Venezuela. *Boletín de la Sociedad venezolana de Geología*. 25(1): 48-57.
- MINAMB. 2010. *Geo Venezuela. Perspectivas del medio ambiente en Venezuela*. Convenio PNUMA-MPPpA-IFLA. Ministerio del Poder Popular para el Ambiente de Venezuela.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Instituto Forestal Latinoamericano. Caracas.
- Mogollón, J. L., Ramirez, A., Garcia, B. y Bifano, C. 1993. Uso de los parámetros físico-químicos de las aguas fluviales como indicadores de influencias naturales y antrópicas. *Interciencia*. 18(5): 249-254.
- Parkwatch. 2003. *Perfil Área Protegida - Venezuela: Monumento Natural Pico Codazzi*. www.parkswatch.org.
- Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. 2015. Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F. y Giraldo, D. (eds.) 2010. *Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela*. Provita, Shell Venezuela, Lenovo (Venezuela). Caracas: Venezuela.
- Rodríguez, J. P., Zambrano-Martínez, S., Lazo, R. y Oliveira-Miranda, M. A. (eds.). 2014. *Representación Digital de las Áreas Naturales Protegidas de Venezuela: Parques Nacionales, Monumentos Naturales, Refugios de Fauna, Reservas de Fauna y Reservas de Biósfera*. Centro de Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y Total Venezuela, S. A. Caracas, Venezuela.
- Rodríguez-Olarte, D., Amaro, A. y Coronel, J. 2005. Introducción del coporo *Prochilodus mariae* Eigenmann 1922 (Pisces: Prochilodontidae) en el río Aroa, cuenca del Caribe, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 163: 133-137.
- Rodríguez-Olarte, D., Amaro, A., Coronel, J. L. y Taphorn, D. C. 2006a. Los peces del río Aroa, cuenca del Caribe de Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 164: 125-152.
- Rodríguez-Olarte, D., Amaro, A., Coronel, J. L. y Taphorn, D. C. 2006b. Integrity of fluvial fish communities is subject to environmental gradients in mountain streams, Sierra de Aroa, north Caribbean coast, Venezuela. *Neotropical Ichthyology*. 4(3): 319-328.
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios, M., Coronel J. y Marrero C. 2015a. Ríos costeros y sus ictiofaunas en el occidente de Venezuela: biogeografía y conservación. Capítulo 8.12. Pp. 415-431. En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte (Eds.). XII. *Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Rodríguez-Olarte, D., Coronel, J. L., Taphorn, D. C. y Amaro, A. 2007. Los Peces del río Tocuyo, Vertiente del Caribe, Venezuela: un Análisis Preliminar para su conservación. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 165: 45-72.
- Rodríguez-Olarte, D., Mojica, J. I. y Taphorn D.C. 2011a. Chapter Fifteen. Northern South America: Magdalena and Maracaibo Basins (pp: 243-257). En: Albert, J. S. y Reis, R. E. (Eds.). *Historical Biogeography of Neotropical Freshwater Fishes*. University of California Press: Berkeley, CA, USA.
- Rodríguez-Olarte, D., Taphorn, D. C. y Lobon-Cervia, J. 2011b. Do protected areas conserve Neotropical fresh-

- water fishes? A case study of a biogeographic province in Venezuela. *Animal Biodiversity and Conservation*. 34(2): 273-285.
- Rodríguez-Olarte, D., Taphorn, D. C. y Lobón-Cerviá, J., 2009. Patterns of Freshwater Fishes of the Caribbean Versant of Venezuela. *International Review of Hydrobiology*. 94(1): 67-90.
- Rojas, Y., Jordán, M., Yegres, F. y Araujo, J. 2003. Caracterización microbiológica del suelo, agua y aire en el humedal Quebrada de Guaranao, Paraguaná, estado Falcón. *Revista de la Universidad del Zulia*. 4(9): 11-33.
- Seijas, A. E., Barros, T. y Babarro, R. (2015). Caimán de la Costa, *Crocodylus acutus*. En (Rodríguez J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Sevilla, V., Comerma, J. y Silva, O. 2009. Caracterización de la cuenca del río Canoabo en el estado Carabobo, Venezuela. I. Análisis climático y de producción de agua. *Agronomía Tropical*. 59(1): 33-4.
- Taphorn, D. C. y Rodríguez-Olarte, D. 2015a. Pez anual de La Guajira, *Austrofundulus guajira*. En: Rodríguez, J. P. García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, R. (eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Taphorn, D. C. y Rodríguez-Olarte, D. 2015b. Rachovia de La Guajira, *Rachovia brevis*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (eds.) *Libro Rojo de la Fauna Venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Taphorn, D. C., Armbruster, J. W., Rodríguez-Olarte, D. 2010. *Ancistrus falconensis* n. sp. and *A. gymnorhynchus* Kner (Siluriformes: Loricariidae) from central Venezuelan Caribbean coastal streams. *Zootaxa*. 2345: 19-32.
- Yáñez, L. y Gamboa, L. 2001. Caracterización física y biológica de la cuenca baja del río Tucurere. Costa oriental de Falcón. *Terra*. 17(26): 93-122.
- Zinck, A. 1977. Ríos de Venezuela. Cuadernos Lagoven. Caracas. Venezuela.

Estatus de los tributarios de la depresión del Lago de Valencia. Un caso de estudio en el río Los Guayos

Belkys PÉREZ GARCÍA¹, Vincenzo STORACI KOSCHELOW²,
Liliana NIETO CAICEDO¹ y Rafael FERNÁNDEZ DA SILVA²

1. Centro de Estudios en Zoología Aplicada.

2. Centro de Biotecnología Aplicada.

Departamento de Biología de la Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología.

Universidad de Carabobo.

belperezster@gmail.com, vastoraci@uc.edu.ve, liniето78@gmail.com, rfernandez2@uc.edu.ve

La cuenca endorreica del Lago de Valencia es una depresión intramontana de origen tectónico demarcada por las serranías del Litoral y del Interior de la cordillera de la Costa, dentro de la cual discurren 21 tributarios, entre cursos naturales y canales artificiales. El presente estudio aborda dos temáticas para esta región hidrográfica: la primera compila la información disponible sobre la geografía, hidrografía, clima, biodiversidad, demografía y uso de la tierra en la depresión del lago y la segunda aborda la evaluación puntual de la subcuenca del río Los Guayos a través de la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos, hifomicetos acuáticos y coliformes totales y fecales en tramos que difieren en las condiciones ambientales locales, ubicados tanto aguas arriba como aguas abajo de los asentamientos urbanos e industriales. Los conflictos de uso de la tierra producto de la presión antrópica, han sustituido los ecosistemas naturales por áreas urbanas, industriales y agrícolas, las cuales a su vez han afectado la calidad de las aguas de los tributarios de la cuenca, especialmente en la depresión. Como caso puntual, en la subcuenca del río Los Guayos, se comparó la composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de diferentes tramos del cauce mediante un análisis de escalamiento multidimensional no métrico, y complementariamente se utilizó el índice BMWp/Col para estimar la calidad biológica de las aguas a través del uso de estos organismos. La subcuenca del río Los Guayos mantiene, en los tramos ubicados aguas arriba de las áreas urbano-industriales, comunidades de macroinvertebrados bentónicos y de hifomicetos acuáticos, características de ríos con poca a leve intervención, mientras que en los tramos ubicados cerca de su desembocadura, la degradación ambiental solo permite el desarrollo de coliformes.

Palabras Clave: integridad de los ríos, recursos hidrobiológicos, síndrome de ríos urbanos, biología de la conservación

1. INTRODUCCIÓN

El Lago de Valencia se ubica en la región centro norte de Venezuela, entre los estados Aragua y Carabobo, y ocupa una mayor extensión en el segundo (Figura 1). El lago descansa sobre una depresión tectónica originada por la acción de la falla de la Victoria y delimitada por las serranías del Litoral y del Interior de la Cordillera de la Costa y es el tercer lago más importante después del Lago de Maracaibo (Huber y Oliveira-Miranda 2010, Córdova y González 2015). En el presente estudio se abordan dos esquemas de investigación, el primero documental y el segundo de campo, para entender el estado actual de conservación de esta región hidrográfica, legalmente definida por las cuencas de los ríos Aragua, Limón, Turmero, Maracay, Carabobo, Cabriales y Las Minas, según la Ley de Aguas (Gaceta Oficial de la República Bolivariana de Venezuela, No. 35.595 de 2-1-2007). El primer esquema se centra en compendiar la información disponible sobre aspectos geográficos, climáticos, hidrológicos, demográficos y biodiversos, entre otros, que caracterizan la región, y el segundo evalúa la calidad ecológica de las aguas de uno de sus principales, el río Los Guayos, mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos, hifomicetos acuáticos y coliformes totales y fecales, en conjunto con parámetros fisicoquímicos y morfométricos, en diferentes tramos ubicados en la cuenca media y alta de dicho tributario, como un método para evidenciar el posible efecto de los cambios en las condiciones ambientales locales sobre las comunidades acuáticas.

2. ASPECTOS AMBIENTALES GENERALES DE LA CUENCA DEL LAGO DE VALENCIA

2.1. Ubicación geográfica y política

Según Schubert (1979) el origen del Lago de Valencia se remonta a finales del Terciario y principios del Cuaternario, periodos en los cuales un río efluente del lago denominado río Valencia discurría naturalmente hacia el río Pao (perteneciente a la cuenca del río Orinoco). No obstante, hace unos 278 años y por efecto de balances hídricos negativos, la cota del lago se ubicó en 427 msnm, lo cual produjo la desconexión de este con la cuenca del río Pao, convirtiéndolo en un lago endorreico (Bockh 1956, Jelambi 1995).

La cuenca endorreica del Lago de Valencia al presentar en sus planicies un relieve con pendientes menores de 1%, es catalogada como una depresión intramontana, con una superficie de 3140 km² y un perímetro de 127 km (Blanco et al. 2015). La delimitación de las serranías del Litoral y del Interior de la Cordillera de la Costa, comprende desde Las Tejerías hasta Campo de Carabobo, aproximadamente entre las coordenadas 09°57' - 10°26' N y 67°07'

- 68°12' O. Por el norte limita con la cuenca del Mar Caribe, por el sur con las cuencas de los ríos Guárico y Pao, por el este con la cuenca del río Tuy y por el oeste con la cuenca del río Pao (Cressa et al. 1993, MARNR-JICA 2001, Sucre 2003).

Una descripción más detallada de su ubicación geográfica se encuentra en las normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del Lago de Valencia (decreto N° 3.219, Gaceta Oficial N° 5.305 de fecha 1-2-1999). En este documento, se considera al río Cabriales como parte de la cuenca, dado que en 1978 el Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables decidió desviar sus aguas hacia el lago, vía caño central, por la alta contaminación que aportaba al embalse Pao-Cachinche (Córdova y González 2015). No obstante, por decreto presidencial, a partir de 2007 las aguas de este río fueron devueltas a su cauce original como afluente del río Pao (Blanco et al. 2015). Por lo tanto, el área y perímetro actual de la cuenca del lago son menores a lo citado en la literatura disponible.

2.2. Hidrología

Según Apmann (1979) la red hidrológica se formó antes de la elevación de las cordilleras por lo cual se presume que los cauces originales de los ríos se esconden debajo de los sedimentos depositados, estos últimos datan del Pleistoceno y del Holoceno. La red de drenaje en la actualidad comprende 21 tributarios distribuidos en 18 ríos y tres caños que drenan sus aguas hacia el Lago de Valencia (MARNR-JICA 2001). Los ríos cuyas nacientes se localizan en la serranía de Litoral, dentro los parques nacionales San Esteban (noroeste) y Henri Pittier (noreste), discurren de norte a sur hacia el lago y a la mayoría de ellos se asocian a ciudades capitales de municipios y demás centros poblados. En el estado Carabobo de noroeste a noreste, discurren los siguientes ríos: Los Guayos, Caño Dividive, Caño El Nepe, Guacara, El Ereigue, Cura y Mariara, mientras que en el estado Aragua (noreste) están los ríos El Limón, canales industriales Corpo Industria, Papelera y Sudamtex, Güey, Maracay, Turmero y Aragua; por otro lado, los ríos que nacen al sur de la cuenca, de suroeste a sureste, son: Caño Central, Caño La Negra y río Güigüe en el estado Carabobo y los ríos Magdalena, Tocarón y Caño Aparo en el estado Aragua (Figura 1, Tabla 1).

En general, los tributarios tienen poco caudal y de usual es mantenido por el aporte de fuentes puntuales de aguas residuales urbanas e industriales; no obstante, a nivel de las cabeceras los caudales fluctúan con las estaciones de sequía y lluvias, por lo que los valores son variables. Se han reportado los mayores caudales para los ríos Güey (0,550 - 1,564 m³/s), Los Guayos

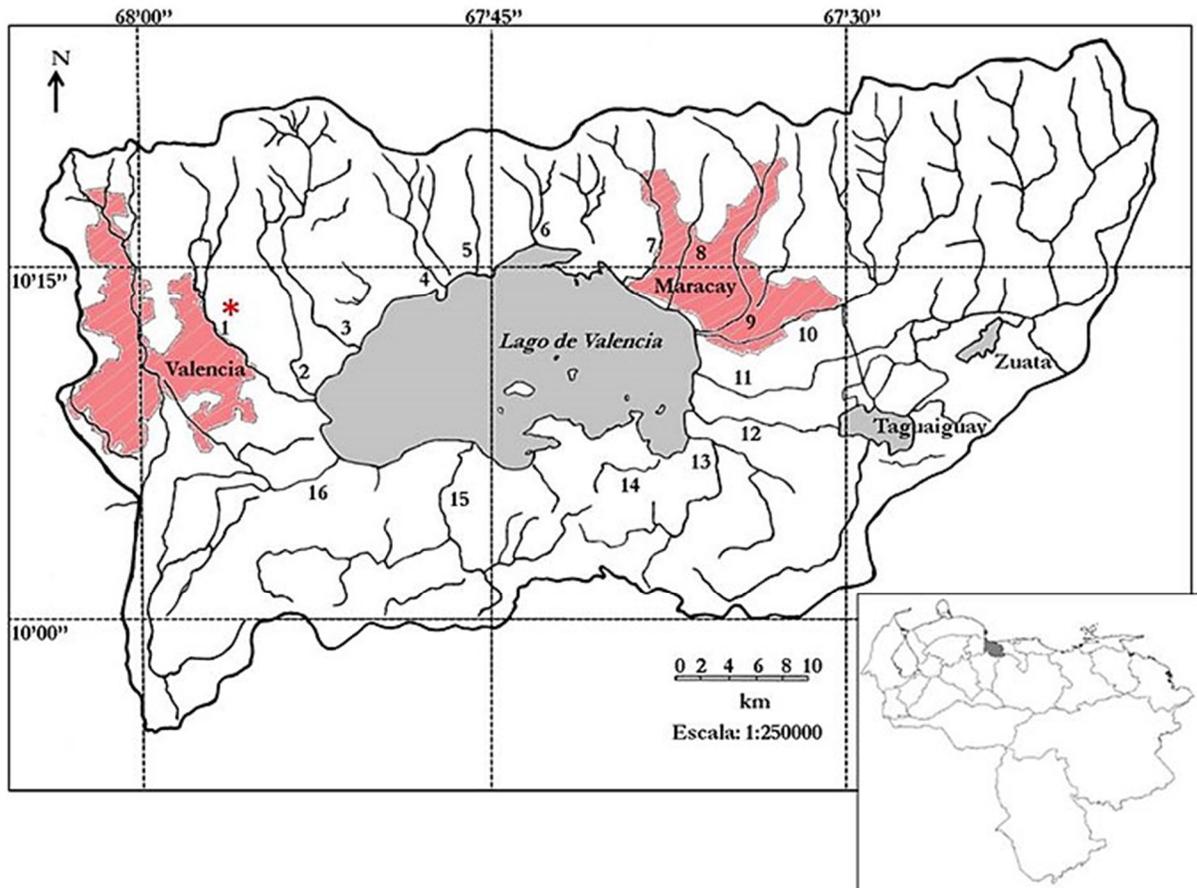


Figura 1. Mapa de la región hidrográfica de la cuenca del Lago de Valencia (modificado de Mujica et al. 2005). La mayoría de los tributarios numerados en el mapa se encuentran identificados en la Tabla 1): el número 1 (asterisco) corresponde al río Los Guayos. Valencia y Maracay son capitales de estado.

(0,999-3,619 m³/s) y Caño Central (0,837-4,560 m³/s), el último con la mayor variación. El resto de los cursos de agua presentan caudales menores de 1,0 m³/s; además, también existen ríos con caudales muy reducidos o menores de 0,1 m³/s la mayor parte del año, como el caño Aparo, Mariara, Cura, Ereigue, Magdalena, Divide y caño La Negra (MARNR-JICA 2001).

Tanto los tributarios como los canales artificiales han sido convertidos en vertederos de aguas residuales contaminantes cuyo receptor final es el propio lago, quien percibe alrededor del 80% de las descargas. En tal sentido, los principales contaminantes que transportan los efluentes son la materia orgánica, nutrientes, sales disueltas, sólidos en suspensión, coliformes y metales pesados, entre otras sustancias tóxicas (MARNR-JICA 2001).

2.3. Clima

El clima en la cuenca es definido como tropical lluvioso siguiendo la clasificación de Köppen (1928).

Presenta dos estaciones bien diferenciadas, una de bajas precipitaciones o periodo de sequía, de noviembre a abril y una de precipitaciones abundantes o periodo de lluvias de mayo a octubre. La precipitación media anual está entre 1.000 y 1.800 mm en los sistemas montañosos, mientras que en la depresión se ubica entre 900 y 1.300 mm, aproximadamente. Esta variación entre zonas geográficas es debida a factores como el relieve y la elevación sobre el nivel del mar; por ejemplo, la zona de la depresión se ubica en un intervalo de altitud de 413 a 478 msnm y las cordilleras alcanzan los 1120 msnm.

La temperatura, muestra una máxima media de 32,1°C y una mínima media de 18,3°C; con las temperaturas medias más altas en marzo y abril, y las medias más bajas en enero y febrero. La evaporación potencial anual promedia los 1988 mm, siendo el mes de marzo el de mayor evaporación, mientras que la evapotranspiración potencial media anual es de 1413 mm y la humedad relativa media anual es de 81% (Bisbal 2000, MARNR-JICA 2001).

Tabla 1. Características geográficas y ambientales de los ríos en la cuenca del Lago de Valencia (Modificado de MARNR-JICA 2001). Las fuentes de contaminación son aguas residuales agrícolas (a), domésticas (d) e industriales (i). Se excluye el río Cabriales dado que en la actualidad sus aguas son desviadas al embalse Pao-Cachinche, perteneciente a la cuenca hidrográfica del río Orinoco. * La numeración de los ríos se corresponde con la Figura 1. s.d.: sin datos. PN: Parque Nacional.

	Subcuenca	Localización y nacientes	Longitud (km)	Área (km ²)	Fuentes de contaminación
1*	Los Guayos	Noroeste. PN San Esteban	26	150	d, i
17	Caño El Nepe	Noroeste. Cerro las Josefinas	20,5	s.d.	d, a
2*	Caño Los Dividive	Noroeste. Canal Monzanga	s.d.	s.d.	d, i, a
3*	Guacara	Noroeste. Serranía del Litoral en los topos del Caobal	26	148	i
4*	Ereigue	Norte. Serranía del Litoral	13	72	d, i
5*	Cura	Norte. Fila Los Aguacates de la Serranía Litoral	14	51,5	a
6*	Mariara	Norte. Serranía del Litoral. Cumbres Periquitos, Corales y Cogollal, PN Henri Pittier	10	40	d, i
7*	El Limón	Noreste. PN Henri Pittier	21	85	d
8*	Güey	Noreste. Serranía del Litoral	14	38	d, i
9*	Maracay	Noreste. Cerro Piedra Turca, PN Henri Pittier	27	135	d, i
10*	Turmero	Noreste. Por la confluencia de los ríos Pedregal y Paya	41	245	d, i, a
11*	Aragua	Noreste. Por la confluencia de los ríos Macanillal y San Carlos	58	398	d, i, a
12*	Caño Aparo	Este. Aliviadero del embalse Taiguaguay	15	s.d.	aguas del embalse
13*	Caño Tocarón	Sureste. Confluencia de los ríos Cataure y el Aguacate	23	166	d, i
14*	Magdaleno	s.d.	s.d.	s.d.	domésticas
15*	Güigüe	Sur. Cerro El Naranjillo	20	274	d, i, a
16*	Caño Central	Suroeste. Fila Santa María	40	232	d, i
18	Canal Corpoindustria	Noreste. Av. Anton Phillips al sur de la Autopista Caracas-Maracay	s.d.	s.d.	d, i
19	Canal Papelera	Noreste. en la Av. Aragua a la altura de la Industria MANPA	s.d.	s.d.	d, i
20	Canal Sudamtex	Noreste. Centro de Maracay, Av. Constitución a la altura del Cuartel Páez	s.d.	s.d.	d, i

2.4. Conflictos de uso de la tierra y su relación con la demografía

A grandes rasgos, en las áreas de la depresión al norte del lago predominan los usos urbano e industrial, mientras que al sur, extendidas de este a oeste, son predominantes las actividades agroindustriales (De La Rosa 2009). La depresión del lago es una zona con alta densidad demográfica, la cual se ha incrementado en los últimos años. En 2001 la población superaba los dos millones de habitantes, alrededor del 10% de la población total del país (Ormeño y Viloría 2005).

De La Rosa (2009) planteó un modelo espacial de la estructura urbano-industrial que permite explicar la distribución de la población y las áreas urbanas y agroindustriales. Según este modelo la cuenca está conformada por cuatro subconjuntos de centros poblados y sus respectivas áreas metropolitanas: 1) el

valenciano, 2) el maracayero, 3) el victoriano y 4) el villacurano. En el primer subconjunto destaca la ciudad de Valencia localizada al noroeste de la depresión (Figura 1) y agrupa al 47,66% del total de la población; mientras que San Joaquín y Güigüe siguen con el 2,44%. En el segundo subconjunto está la ciudad de Maracay con el 38,28%; mientras que los subconjuntos restantes corresponden a las ciudades de Victoria y Villa de Cura, que acumulan el 11,62% de la población.

El aumento de la población ejerce fuertes presiones sobre el uso de la tierra. Aun cuando los suelos de la depresión son de excelente calidad para su aprovechamiento agrícola, no obstante, las presiones demográficas vinculadas al desarrollo económico han reducido su uso agrícola y desviándolo al desarrollo industrial y urbano (Ormeño y Viloría 2005). Durante

los años 90 la presión estaba dirigida principalmente al desarrollo industrial más que al urbano; no obstante, en años recientes la contracción económica ha mermado al primero y las políticas sociales han promovido al segundo (Ormeño y Viloria 2005, De La Rosa 2009).

Existen sistemas de clasificación de los tipos de suelos de la depresión de la cuenca del lago. La Ley Orgánica para la Ordenación del Territorio, establece que las tierras en la depresión son zonas de aprovechamiento agrícola (ZAA), es decir, áreas especiales de producción que por sus condiciones edafoclimáticas deben ser resguardadas para su explotación agrícola, dentro de un régimen de mayor o menor preservación, entendiéndose por preservación el impedir usos distintos a los agrícolas (Rojas-López 2007). No obstante, Ormeño y Viloria (2005) señalaron que los suelos también son aptos para otros usos como el urbano-industrial, por presentar condiciones de habitabilidad, accesibilidad y buena capacidad para soportar infraestructuras. Lo anterior evidencia los conflictos de uso que actualmente experimenta la cuenca. Un ejemplo de ello es la transformación de tierras de calidad agrícola tipo I y II en zonas residenciales e industriales.

Zinck (1977) estimó la tasa de transformación de la tierra potencialmente agrícola en centros urbanos, a una tasa de 10.000 a 13.000 has urbanizadas cada cinco años; pronosticando tres umbrales espacio-temporales de transformación: 1) de 1977 a 2010 cerca de 81.000 Has se incorporarían a espacios urbanos; 2) de 2010 a 2015 se incorporarían 16.000 Has y finalmente 3) de 2015 a 2020 se incorporarían 15.000 Has a espacios urbanos. Bajo este panorama desde el 2020 en adelante la cuenca estaría dominada por una extensa área metropolitana que habrá expulsado todo tipo de actividad agrícola.

Ormeño y Viloria (2005) también remarcaron la pérdida de tierras con otros usos potenciales, como las catalogadas en la clase VIII, que corresponden a vegas de ríos, bordes de embalses y del lago mismo, debido al crecimiento urbano. Según los autores estas tierras deberían ser dispuestas para la conservación de la vida silvestre en lugar de transformarlas en áreas residenciales, ya que de por sí no son aptas para tal uso. Ejemplos de áreas que se han desviado de sus objetivos de preservación corresponden a las vegas de los ríos que atraviesan zonas residenciales del estado Aragua tales como El Limón, El Castaño y Guayabita, entre otras.

2.5. Biodiversidad

Vegetación: Huber y Oliveira-Miranda (2010) sugieren que la depresión del lago debe ser clasificada como

una zona intervenida, con áreas donde la matriz vegetal original no es reconocible producto de la transformación del paisaje generada por las actividades industriales, urbanas y agrícolas. No obstante, con base en los relictos de bosque que aún persisten y de acuerdo con la zonas de vida (Holdridge 1966) se estima que en la depresión predominaban el bosque seco tropical y el bosque seco premontano (Huber y Riina 1997); siendo las especies vegetales más frecuentes: lecherito (*Euphorbia caracasana*), parapara (*Sapindus saponaria*), jobo (*Spondias mombin*), samán (*Samanea saman*), taque (*Geoffroea spinosa*), taparo (*Crescentia cujete*), bucare (*Erythrina* sp.), bucare Anauco (*Erythrina fusca*), vera (*Bulnesia arborea*), indio desnudo (*Bursera simaruba*), carocaró (*Enterolobium cyclocarpum*), camoruco (*Sterculia apetala*), ceiba (*Ceiba pentandra*), majomo (*Lonchocarpus sericeus*), mamón (*Melicoccus bijugatus*) y guácimo (*Guazuma ulmifolia*) (MARNR 1983).

La zona de transición entre los bosques muy seco y seco de piso tropical alrededor del lago, presentan tres áreas de distribución de su vegetación; en la primera de ellas, en la llanura lacustre con presencia de suelos fértiles y alto nivel freático, se encuentran árboles como camoruco (*Sterculia apetala*), bucare (*Erythrina* sp.), ceiba (*Ceiba pentandra*) y samán (*Samanea saman*); en la segunda, en las lomas más bajas la vegetación es compuesta por especies típicas como cardones (cactáceas), cujies (*Acacia* sp. y *Calliandra* sp.) e indio desnudo (*Bursera simaruba*); y la tercera en las lomas altas, donde hay una vegetación de sabana con chaparros dispersos (*Byrsonima* sp., *Curatella* sp., *Petrea* sp.), los cuales se queman periódicamente (MARNR 1991).

En las montañas de la Serranía del Litoral, donde nacen la mayoría de los tributarios de la cuenca, por encima del bosque montano aparece una selva altamente diversa, denominada selva nublada (Huber y Riina 1997, Huber y Oliveira-Miranda 2010), donde predominan especies arbóreas de más de 5 m de altura, destacando el cucharón o niño (*Gynerthera caribensis*), una especie endémica que alcanza hasta 60 m de altura y tiende a agruparse en pequeñas poblaciones en relación a otros árboles comunes, como lo son ramón (*Brosimum alicastrum*), lechero (*Sapium* sp.) y el higuero (*Coussapoa villosa*); además, abundan especies de palmas, helechos, malangas, epifitas y la herbácea de hojas gigantes (*Gunnera pittieriana*), endémica de la zona. Badillo et al. (1984) reportaron para el Parque Nacional Henri Pittier más de 1.500 especies de plantas con flores, mientras que Steyermark (1979) listó unas 40 especies endémicas.

En la Serranía del Interior la vegetación presenta un grado muy elevado de intervención humana y las laderas se encuentran cubiertas por sabanas secunda-

rias con pocas especies, con predominio de poblaciones grandes de agaves (*Agave*) (Huber y Oliveira-Miranda 2010).

Hifomicetos acuáticos: Los hifomicetos acuáticos u hongos Ingoldianos son un grupo de hongos imperfectos microscópicos de ríos de bajo orden, potencialmente responsables de la degradación de cualquier material vegetal que cae en las corrientes de agua, facilitando la transferencia de nutrientes en niveles tróficos superiores, por lo cual, sirven como bio-indicadores de calidad de agua, ya que su desarrollo está asociado a buenas condiciones fisicoquímicas y microbiológicas de la misma (Smits 2005, Fernández et al. 2010). La comunidad de estos organismos lo conforman las estructuras esporulantes de diferentes especies que se desarrollan sobre la superficie foliar o los conidios liberados desde las hojas, encontrándose en restos vegetales en descomposición y la espuma formada en los remansos del cuerpo de agua (Chamier y Dixon 1982, Bärlocher 2000, Descals y Moralejo 2001).

La descripción taxonómica de la mayoría de estos hongos se ha hecho principalmente en las regiones frías y templadas, y en menor grado en los trópicos, lo cual impide efectuar buenas estimaciones de la diversidad de hifomicetos acuáticos neotropicales (Duarte et al. 2016). Entre las limitaciones que afectan su colecta e identificación están la estacionalidad, los métodos inadecuados de toma de muestra, la poca turbulencia, el bajo contenido de nutrientes y la competencia con otros organismos por el recurso vegetal (Graca et al. 2015). Schoenlein-Crusius y Piccolo (2003) señalaron la existencia de 11 especies para Venezuela, pero en la actualidad el valor se ha elevado a 88 (Fernández y Smits 2015) y de estas, 66 especies (75%) comprendidas en 38 géneros se han registrado en la cuenca del Lago de Valencia (Tabla 2), específicamente en los ríos Cabriales (Fernández y Smits 2005, 2009, Smits et al. 2007), Cúpira (Pinto et al. 2009, Storaci et al. 2013, 2014) y Vigirima (Obispo 2015). Seis de las 66 especies son hasta el momento, registros únicos para la cuenca del Lago: *Anguillospora gigantea*, *Dactylella submersa*, *Helicoma* sp, *Subulispora procurvata*, *Trinacrium* sp y *Tripospermum porosporiferum* colectadas específicamente en los ríos Cúpira y Vigirima.

La Tabla 2 refleja que el 68,42% de los géneros registrados en la cuenca son monoespecíficos, seguidos de un 10,53% con dos especies, un 7,89% con tres y cuatro especies y apenas el 2,63% con entre cinco y seis especies por género. Los más diversos en orden decreciente son *Flabellospora* (6 spp.), *Triscelophorus* (5 spp.), *Anguillospora* (4 spp.), *Campylospora* (4 spp.) y *Helicomyces* (4 spp.).

Tabla 2. Lista de géneros de hifomicetos en la cuenca del Lago de Valencia. Del total de 38 géneros, el 68,42% son monoespecíficos y solo para dos géneros se registran más de cinco especies (*Flabellospora* y *Triscelophorus*).

Géneros	Número de especies	% de especies por género
1 <i>Flabellospora</i>	6	2,63
2 <i>Triscelophorus</i>	5	2,63
3 <i>Anguillospora</i>	4	
4 <i>Campylospora</i>	4	7,89
5 <i>Helicomyces</i>	4	
6 <i>Camposporidium</i>	3	
7 <i>Diplocladiella</i>	3	7,89
8 <i>Scorpiosporium</i>	3	
9 <i>Clavatospora</i>	2	
10 <i>Lunulospora</i>	2	10,53
11 <i>Phalangispora</i>	2	
12 <i>Tetracladium</i>	2	
13 <i>Alatospora</i>	1	
14 <i>Articulospora</i>	1	
15 <i>Beltrania</i>	1	
16 <i>Brachiosphaera</i>	1	
17 <i>Clavariopsis</i>	1	
18 <i>Culicidospora</i>	1	
19 <i>Dactylella</i>	1	
20 <i>Dicranidium</i>	1	
21 <i>Dwyaangam</i>	1	
22 <i>Flabellocladia</i>	1	
23 <i>Helicoma</i>	1	
24 <i>Heliscus</i>	1	
25 <i>Hydrometrospora</i>	1	68,42
26 <i>Isthmolongispora</i>	1	
27 <i>Isthmotricladia</i>	1	
28 <i>Jaculispora</i>	1	
29 <i>Lemmoniera</i>	1	
30 <i>Magdalaena</i>	1	
31 <i>Scutisporus</i>	1	
32 <i>Speiropsis</i>	1	
33 <i>Subulispora</i>	1	
34 <i>Tetrachaetum</i>	1	
35 <i>Tricladium</i>	1	
36 <i>Trinacrium</i>	1	
37 <i>Tripospermum</i>	1	
38 <i>Varicosporium</i>	1	
Total	66	100

Macroinvertebrados: Con respecto al conocimiento de la biodiversidad de los macroinvertebrados que habitan en los tributarios de la cuenca, los trabajos son escasos y fragmentados. La mayoría se ha enfocado en estudios de ecología de comunidades y su utilidad

como bioindicadores de la calidad del agua. Destacan los trabajos de Graterol et al. (2006), quienes evaluaron la calidad del agua del río Guacara mediante el uso de macroinvertebrados bentónicos, Leal (2009) quien evaluó la calidad del agua del río San Diego-Los Guayos mediante y Medina (2009), quien estudio la estructura comunitaria de los tricópteros del río San Diego.

El Libro Rojo de la Fauna venezolana (Rodríguez et al. 2015) señala a tres especies de macroinvertebrados, tanto acuáticos como terrestres, endémicas de la cuenca y que se encuentran en peligro debido a la pérdida de sus hábitats, a saber: *Macrobrachium reyesi* (camaroncito de río del lago de Valencia) tiene su localidad tipo en un afluente del río Limón y ha sido colectada en la vertiente sur del lago, también habita en los estados Portuguesa y Trujillo; *Archilestes tuberculatus* (libélula de San Esteban) es restringida a la región central de la cordillera en el P.N. San Esteban y *Prepona praeneste choroniensis* (mariposa ninfálda de Choroni) es registrada en el P.N. Henri Pittier. También se han registrado especies del orden Ephemeroptera en algunos tributarios, como *Baetodes levis*, *Camelobaetidius edmundsi* y *Mayobaetis helena*, registradas por Vilela-Cruz et al. (2012) en el río Paya. *M. helena* también fue registrada por Pérez (2014) en el río Cúpira. Por último, *Thraulodes eduardorum* es identificada como una nueva especie de Leptophlebiidae por Medina y Pérez (2010), a partir de ninfas y adultos colectados en los ríos Cabriales y Cúpira del estado Carabobo, también presente en el río Vigirima (Pérez y Nieto 2016).

Vertebrados: Con respecto a la ictiofauna, Lasso et al. (2004) listaron 32 especies en la cuenca del lago. DoNascimento (2016) presentó una actualización de dicha lista añadiendo registros nuevos y eliminando registros erróneos, para un total de 35 especies presentes en la actualidad. Este número se distribuye en seis órdenes, donde destacan los Characiformes y Siluriformes (Tabla 3).

Dos especies de peces son endémicas para la cuenca: el tetradiamante (*Moenkhausia pittieri*) del orden Characiformes y el tinicalo o sardina (*Atherinella venezuelae*) del orden Atheriniformes (Bisbal 2000). El primero está presente en los ríos San Diego, el Limón y Ereigüe, también habita en la cuenca del río Tuy. El segundo si es restringido a la cuenca y habita, siendo reportado en el río Limón y en el propio lago. Estas especies se encuentran en categorías de riesgo (Rodríguez et al. 2015) debido a la contaminación de las aguas por la actividad urbana, industrial y agrícola y a la reducción del caudal de los tributarios donde habitan (Campo et al. 2015, Campo y Ortáz 2015).

Tabla 3. Biodiversidad de peces en la cuenca del lago de Valencia (con base en los registros de Lasso et al. 1994 y DoNascimento 2016). Se contabilizan las especies nativas y las introducidas.

Órdenes	Familias	Géneros	Especies
Siluriformes	4	10	15
Characiformes	5	11	14
Cichliformes	1	2	3
Gymnotiformes	1	1	1
Synbranchiformes	1	1	1
Atheriniformes	1	1	1
Cyprinodontiformes	1	1	1
Total	14	27	36

Las tilapias (*Oreochromis mossambicus*) y petenias (*Caquetaia kraussii*) han sido introducidas en la cuenca con fines variados. La tilapia es un cíclido de origen africano introducido en Venezuela en 1959 y posiblemente llegó al lago entre los años 60 y 70, mientras que la petenia se cree originaria de la cuenca del Lago de Maracaibo y ríos costeros del occidente. Ambas especies tienen poblaciones abundantes en donde han sido introducidas.

Con respecto a los restantes vertebrados, si bien no tienen como hábitat permanente los cursos de agua de la cuenca del lago, utilizan los recursos asociados a los mismos. En la depresión del lago los reptiles están representados por 35 especies distribuidas en cuatro órdenes y 16 familias; los anfibios por 19 especies (un orden, ocho familias; las aves son el grupo más diverso, con 255 especies distribuidas en 18 órdenes y 54 familias, 20 de ellas son migratorias y 20 son consideradas aves de cacería. Se han registrado 52 especies de mamíferos, distribuidas en ocho órdenes y 21 familias (Bisbal et al. 1998).

En la cuenca del Lago de Valencia tres especies de vertebrados terrestres se encuentran en diferentes categorías de riesgo (Rodríguez et al. 2015) el sapito rayado del centro (*Atelopus cruciger*, Bufonidae, Amphibia) está en peligro crítico; esta especie es endémica de la Cordillera de la Costa y habita en las márgenes rocosas de pequeños riachuelos en los bosques nublados, entre los 30 y 2.200 msnm. La pérdida de sus hábitats ha restringido las poblaciones a la vertiente norte del Parque Nacional Henri Pittier (Lampo y Señaris 2015). El jilguero cara amarilla (*Carduelis yarrellii*, Paseriformes, Aves) tiene la categoría en peligro. Esta especie tiene una amplia distribución al este de Brasil, sin embargo, en Venezuela está limitada a las haciendas El Trompillo y La Araguata en Pirapira, ambas al sureste de Carabobo (Rojas-Suarez y Sharpe

2015). En la categoría de vulnerable se encuentra la rata de agua de Pittier (*Ichthyomys pittieri*, Rodentia), esta es endémica de la Cordillera de la Costa, habita cerca de cursos de aguas pedregosas asociados a bosques primarios, donde se alimenta de macroinvertebrados acuáticos (García y Ochoa 2015).

3. ECOLOGÍA DE COMUNIDADES ACUÁTICAS DEL RÍO LOS GUAYOS: UN CASO DE ESTUDIO

3.1. Introducción

Esta sección se enfoca en uno de los tributarios de la cuenca del lago de Valencia, el río San Diego-Los Guayos, el cual ha sido uno de los cursos de agua más estudiado a nivel de ecología de comunidades de aguas corrientes, en dicha cuenca.

La normativa vigente establece que los indicadores biológicos de calidad del agua sólo son microbiológicos; por ejemplo, la cuantificación de poblaciones de bacterias coliformes totales y fecales (Covenin 2709:2002). No obstante, el uso de otros organismos puede ser una herramienta útil y de bajo costo para apoyar la evaluación de la calidad de las aguas corrientes, especialmente en los sistemas de drenaje ubicados aguas arriba de los asentamientos urbanos e industriales, donde las comunidades acuáticas aún están conformadas por especies características de ecosistemas lóticos poco o nada intervenidos y donde los métodos químicos y microbiológicos no son efectivos para detectar perturbaciones difusas no puntuales que pueden estar alterando el estado ecológico de los cuerpos de agua (Segnini 2003, Alonso y Camargo 2005).

Actualmente es reconocido en el ámbito internacional que las comunidades lóticas pueden ser indicadores del efecto de perturbaciones antrópicas sobre el ecosistema acuático, puesto que responden tanto a cambios en las condiciones geomorfológicas de los cauces como a cambios en las condiciones químicas del agua (Benda et al. 2004, Thorp et al. 2006, Poole 2010, Winemiller et al. 2010). Las alteraciones antrópicas, tales como el vertido de aguas servidas cargadas de materia orgánica, metales pesados, detergentes y grasas, entre otros y las transformaciones de la tierra desde bosques primarios a zonas residenciales, industriales o agrícolas, generan cambios en las condiciones físicas y químicas locales de las redes fluviales; tales cambios alteran la estructura y composición de las comunidades lóticas (Dudgeon et al. 2006, Palmer et al. 2009, Poff et al. 2010). Una vía para evidenciar las relaciones entre las alteraciones del uso de la tierra, el aporte de materia orgánica, los cambios en los procesos hidrogeomorfológicos, la química de las aguas y los cambios estructurales que experimentan

las comunidades lóticas, es mediante el uso de índices métricos (Segnini 2003, Bley et al. 2008, Moya et al. 2011) y métodos multivariados de ordenamiento y clasificación (Segnini 2003). Ambos métodos de análisis pueden evaluar el estado de conservación de los sistemas hídricos. Considerando la potencialidad de los macroinvertebrados bentónicos (Roldan-Pérez 2003, Segnini et al. 2009) y los hifomicetos acuáticos (Fernández y Smits 2015) para valorar la condición ecológica de los cuerpos de agua en esta sección se evaluó si las comunidades de macroinvertebrados, hifomicetos y bacterias coliformes del sistema San Diego-Los Guayos, responden a cambios en las condiciones ambientales locales de los diferentes tramos a lo largo de la cuenca.

Se consideró la subcuenca del río Los Guayos porque este río recibe importantes descargas residuales urbanas e industriales provenientes de los municipios San Diego, Los Guayos y otros aledaños, en los cuales el uso de la tierra es predominantemente urbano-industrial (Ormeño y Viloria 2005, De La Rosa 2009). La parte baja de su cuenca se ubica en la depresión del lago, con pendientes menores al 1%, y en ella se observa una importante y extensa actividad industrial junto al contraste de áreas residenciales; mientras que la parte alta, cercana al piedemonte del Parque Nacional San Esteban y con pendientes más escarpadas, superiores al 3%, predominan las áreas residenciales y en menor medida áreas industriales y agrícolas (Rojas-López 2007). Cerca de la desembocadura al lago desde 1998 tiene actividad una planta de tratamiento de aguas servidas (MRNR-JICA 2001).

En 2005 el gobierno nacional decretó la situación de emergencia para la cuenca del Lago de Valencia debido a que la cota crítica del espejo de agua superó los 408 msnm. En 2007 ésta cota alcanzó los 410 msnm, provocando la anegación de tierras agrícolas, asentamientos urbanos y la pérdida de vialidad, por lo que como medida paliativa para disminuir los niveles se construyeron, en el área de la planta de tratamiento, obras de trasvase de las aguas del río Los Guayos hacia el embalse Pao-Cachinche (Blanco et al. 2015).

En cuanto a la conservación de la calidad del agua del río Los Guayos, los reportes emitidos sobre los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos en la cercanía de su desembocadura ponen en evidencia que los valores superan los límites máximos establecidos en las normativas vigentes para el control, monitoreo y regulación de las aguas que drenan al Lago de Valencia (MARNR 2001, 2003, 2005) lo cual se evidencia en la gravedad de la degradación de este ecosistema acuático, con consecuencias adversas para la salud pública y el desarrollo agrario que existe en la cuenca.

3.2. Área de estudio

El río Los Guayos es uno de los tributarios que aporta un mayor caudal al Lago de Valencia (Figura 1). Presenta una longitud de 26 km y un área de drenaje de 150 km². Sus nacientes, se ubican en las cumbres del P.N. San Esteban (10°18'-10°21'N; 67°55'W), sobre los 1.800 msnm. Hacia el noroeste está el tributario río Cúpira y hacia el noreste el tributario río San Diego, ambos confluyen aguas abajo dentro del municipio San Diego, manteniendo el nombre del río San Diego. No obstante, en la cuenca baja, a 417 msnm y cerca de la desembocadura al lago, el río es llamado Los Guayos (10°09'13"N; 67°53'04"W) (MARNR-JICA 2001).

3.3. Materiales y Métodos

Se utilizaron datos tomados en diferentes años y en diferentes tramos de la subcuenca, específicamente en los ríos San Diego, Cúpira y Los Guayos. Se muestrearon 9 localidades (Tabla 4). Para cada año, la toma de datos se llevó a cabo durante el periodo de sequía (enero-marzo). El muestreo de macroinvertebrados no pudo aplicarse las localidades de Campo Solo del río San Diego (SD-CS) y en el río Los Guayos (G-Bo) (Tabla 4).

En cada localidad se delimitó un tramo del río de 60 m de longitud donde se midieron diferentes variables. La calidad del hábitat ribereño (ch) se evaluó mediante el protocolo desarrollado por la Agencia Ambiental de USA (EPA) (Barbour et al. 1999), con las modificaciones sugeridas por Segnini et al. (2009). Las características morfométricas (mm) del tramo fueron determinadas en cuatro subsecciones cada 20 m, en cada una de las cuales se midió la profundidad (m), el ancho (m) y la velocidad de la corriente (m/s). Las características fisicoquímicas (fq) del agua se valoraron mediante temperatura del agua (°C), conductividad (µS), pendiente (%), turbidez (NTU), pH, concentración y porcentaje de saturación de Oxígeno Disuelto (g/mL y %, respectivamente), y concentración de nitratos (ppm), nitritos (ppm), fosfatos (ppm) y sulfatos (ppm), determinadas según las normas APHA (1999). La determinación de los nutrientes se llevó a cabo en el laboratorio de biotecnología de la Universidad de Carabobo.

Las muestras biológicas correspondieron a la colecta de macroinvertebrados bentónicos (mi), hifomicetos (hm) y coliformes totales y fecales (bc). Los macroinvertebrados se colectaron mediante una malla de mano con marco tipo D (forma de semicírculo), siguiendo el protocolo de muestreo especificado por Segnini et al. (2009). Los hongos se colectaron mediante tres muestras de espuma natural del agua del río, seguidamente fijadas con una solución al 1% de

Fucsina en Lactofenol (Smits 2005). Por último, la determinación de la coliformes totales y fecales se realizó mediante el método tradicional de siembra de vertido en placa, en la cual se cuantificó el número de unidades formadoras de colonias (UFC). Para ello se recolectaron 100 ml de agua del río almacenados en recipientes de vidrio estériles, posteriormente trasladado en cavas al laboratorio, donde se conservaron a 4°C. El tiempo transcurrido entre la toma de muestra y su análisis no fue mayor a seis horas tal como lo indica la Norma COVENIN 2709:2002. En el laboratorio, se realizaron siembras por incorporación de 0,05 ml por triplicado de la muestra de agua del río, en placas con agar MacConkey, incubadas en una estufa a 37°C (coliformes totales) y a 44°C (coliformes fecales), finalmente se cuantificaron las UFC a las 24 horas.

Los macroinvertebrados se identificaron y cuantificaron bajo un microscopio estereoscópico con la ayuda de las ilustraciones de Roldan-Pérez (2003) y las claves de Fernández y Domínguez (2001); mientras que, los conidios de los hifomicetos se examinaron bajo un microscopio óptico a 400X de aumento y se identificaron con ayuda de la clave de Santos-Flores y Betancourt-López (1997).

Se empleó el escalamiento multidimensional no métrico para caracterizar la composición de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos de los diferentes tramos evaluados. Se emplearon los datos de abundancia relativa previamente transformados (log (+1)) y en la matriz se incluyeron los datos de las variables fisicoquímicas y morfométricas para evidenciar la asociación entre estas y las coordenadas del gráfico generado. Se empleó el software libre PAST versión 2.17c (Hammer et al. 2001).

Como análisis complementario para evaluar la condición biológica de los tramos en las localidades muestreadas para macroinvertebrados bentónicos se calculó el índice BMW_p (Alba-Tercedor 1996, Roldan-Pérez 2003). El BMW_p es un índice biótico basado en familias de macroinvertebrados bentónicos y es ampliamente utilizado tanto en la escala geográfica como temporal. Roldan-Pérez (2003) adaptó este índice para ríos de Colombia y, considerando que en Venezuela existen provincias biogeográficas de flora y fauna similares (Morrone 2001) se considera apropiado el uso de la adaptación de este índice para los ríos del área de estudio. Mediante el cálculo del valor del cociente de calidad del ambiental establecido por la Directiva de la Comisión Europea relativa a la Calidad Ecológica del Agua (Rubio 2012) se puede ajustar la valoración del BMW_p a la escala 0 al 1, adecuando así los resultados de la particularidad de cada cuenca hidrográfica (Segnini et al. 2009).

Tabla 4. Localidades de muestreo en la subcuenca del río Los Guayos. (*) Variables medidas: bacterias coliformes (bc), hifomicetos (hm), macroinvertebrados (mi), fisicoquímicas (fq), morfométricas (mm), calidad del hábitat (ch). ** representa a las muestras de macroinvertebrados.

N	Ríos	Localidad	Código	Coordenadas	Altitud (msnm)	Año de muestreo	Variabes medidas*	Muestras (**) (n)
1		Aguas arriba del Balneario la Cumaca	SD-Cu1	10°18'23"N; 67°55'47"W	552	2015	bc, hm, mi, fq, mm, ch	3
2		Balneario la Cumaca	SD-Cu2	10°18'16"N; 67°56'05"W	525	2009	mi, fq, mm, ch	10
3		La Cumaquita antes Planta de Tratamiento	SD-Pt	10°17'39"N; 67°55'47"W	500	2009	mi, fq, mm, ch	10
4	San Diego	El Polvero	SD-Po	10°16'02"N; 67°56'34"W	479	2009	mi, fq, mm, ch	10
5		Hacienda Macomaco	SD-Mc	10°14'54"N; 67°57'06"W	470	2009	mi, fq, mm, ch	10
6		Urbanización Valle de Oro	SD-Vo	10°13'60"N; 67°57'17"W	466	2015	bc, hm, mi, fq, mm, ch	3
7		Urbanización Valle de Oro	SD-Vo	10°13'60"N; 67°57'17"W	466	2009	mi, fq, mm, ch	10
8		Urbanización Campo Solo	SD-CS	10°12'55"N; 67°57'22"W	454	2015	bc, ch	0
9		Hacienda la Cumaca	C-Cu	10°17'40"N; 67°57'02"W	511	2015	bc, hm, mi, fq, mm, ch	3
10		Hacienda la Cumaca	C-Cu	10°17'40"N; 67°57'02"W	511	2008	mi, fq, mm	5
11	Cúpira	Urbanización El Tulipán	C-Tu	10°15'58"N; 67°57'32"W	478	2015	bc, hm, mi, fq, mm, ch	3
12		Urbanización El Tulipán	C-Tu	10°15'58"N; 67°57'32"W	478	2008	mi, fq, mm	6
13		Urbanización El Remanso	C-Re	10°15'34"N; 67°57'57"W	471	2009	Mi, fq, mm	7
14	Los Guayos	Bohío	G-Bo	10°09'13"N; 67°56'19"W	443	2015	bc, ch	0
15		Los Guayos	G	10°11'25"N; 67°56'06"W	445	2015	ch	0

3.4. Resultados y discusión

La evaluación de la calidad de las aguas de los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia siempre se ha circunscrito a las cercanías de sus desembocaduras, dado que la mayor influencia del uso de la tierra, residencial, industrial y en menor medida agrícola, sobre las aguas parece darse en la depresión más que hacia las laderas de las serranías del Litoral y del Interior (Rojas-López 2007, De La Rosa 2009). En la actualidad la información sobre la ecología de las comunidades lólicas o sobre la evaluación de la calidad del agua de los tributarios, es fragmentada, aislada y en buena medida corresponde a literatura gris. No obstante, hay información relevante para el río San Diego - Los Guayos contenida en Leal (2009), quien evaluó mediante la calidad biológica de sus aguas mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos; y en Pinto et al. (2009) y Storaci et al.

(2013, 2014), quienes registraron la biodiversidad de hongos hifomicetos y evaluaron la calidad de las aguas en función de estas comunidades y parámetros bacteriológicos del río Cúpira. Los resultados obtenidos apoyan los estudios precedentes mencionados en el párrafo anterior como se evidenciará a continuación:

La evaluación del hábitat ribereño: La evaluación de la calidad de hábitat arrojó que los sitios con mejores condiciones correspondieron a aquellas localidades ubicadas en las cercanías del P.N. San Esteban, es decir, los tramos de los ríos Cúpira, en la Hacienda La Cumaca (C-Cu), y San Diego por encima del balneario (SD-Cu1) (ver Tabla 4, Figuras 2A y 2B), con 86% y 81% de calidad de hábitat, respectivamente. En estos tramos aún se evidencian relictos del bosque nativo con márgenes poco erosionadas,



Figura 2. Localidades de la subcuenca del río San Diego - Los Guayos muestreadas en 2015. Río Cúpira “C”: A) C-Cu y C) C-Tu. Río San Diego “SD”: B) SD-Cu1 y D): SD-Vo, D) SD-CS. Río Los Guayos “G”: E) G-Bo. Ver identificación de los códigos en la Tabla 4.

cauces con amplia diversidad de hábitats para la fauna bentónica, y un sustrato altamente heterogéneo y aguas transparentes. En tanto que las localidades ubicadas en asentamientos urbanos, como es el caso de las urbanizaciones el Tulipán del río Cúpira (C-Tu) y Valle de Oro del río San Diego (SD-Vo) (Tabla 4,

Figuras 2C y 2D), mostraron valores bajos de 15% y 28% respectivamente, debido fundamentalmente al predominio de vegetación ribereña secundaria con preponderancia de pastizales, cauces con una mayor abundancia de grava y arena, poco caudal y pocos hábitats adecuados para la fauna acuática; no obstante,

también se observaron aguas transparentes. Aguas abajo, luego de la confluencia de los ríos Cúpira y San Diego, la calidad del hábitat ribereño también arrojó valores bajos, como fue el caso de la Localidad Campo Solo (SD-Cu1, ver Tabla 4, Figura 2E) con 22% de calidad del hábitat, caracterizado por aguas lentas muy turbias y profundas sin posibilidad de distinguir el fondo del cauce. Por último las localidades del río Los Guayos (G-Bo y G, ver Tabla 4) fueron las que exhibieron los valores más bajos de calidad del hábitat, ambos con 12,5%; en ellos se evidenció una importante deposición de basura sólida en un cauce rodeado por riberas muy erosionadas, con poca vegetación y muy poca agua, altamente turbia y estancada.

La evaluación de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos: Con el propósito de evidenciar si la comunidad de macroinvertebrados muestreadas en las localidades correspondientes a los ríos San Diego y Cúpira respondían a los cambios en las condiciones ambientales locales, se comparó la similitud en la composición de taxa en función del tiempo y el espacio, mediante un análisis de escalamiento multidimensional no métrico (Figura 3A). La primera tendencia observada es a la diferenciación de ambos cursos de agua, los puntos correspondiente a la fauna bentónica del río Cúpira se distribuyen en los cuadrantes superior e inferior izquierdos del gráfico, en tanto que los puntos correspondientes al río San Diego se distribuyen en su mayoría en los cuadrantes superior e inferior derechos, independientemente del año de muestreo. La otra tendencia fue observar una diferenciación en la composición de la fauna bentónica entre las localidades ubicadas aguas arriba de los asentamientos urbanos (caso C-Cu y SD-Cu1, ver Tabla 4) y las localidades ubicadas en asentamientos urbanos (caso SD-Vo, SD-Mc).

El ordenamiento de los tramos dentro cada río parece expresar un gradiente longitudinal, según el cual los sitios poco intervenidos se ubican en el extremo inferior del gráfico, reflejando su posición aguas arriba dentro de áreas con relictos de bosque natural, mientras que los más impactados se ubican en el extremo superior, reflejando su ubicación aguas abajo dentro de las áreas urbanizadas. Particularmente, el ordenamiento parece indicar que localidades ubicadas aguas arriba: C-Cu (Río Cúpira, Hacienda la Cumaca y SD-Cu1 (río San Diego, aguas arriba del Balneario) albergan una comunidad características de ríos poco intervenidos, con aguas profundas, rápidas y bien oxigenadas, bordeado en sus riberas por áreas boscosas poco afectadas por la actividad antrópica, por lo cual pueden ser consideradas como sitios de referencia (Segnini 2003). La Figura 3B, muestra los

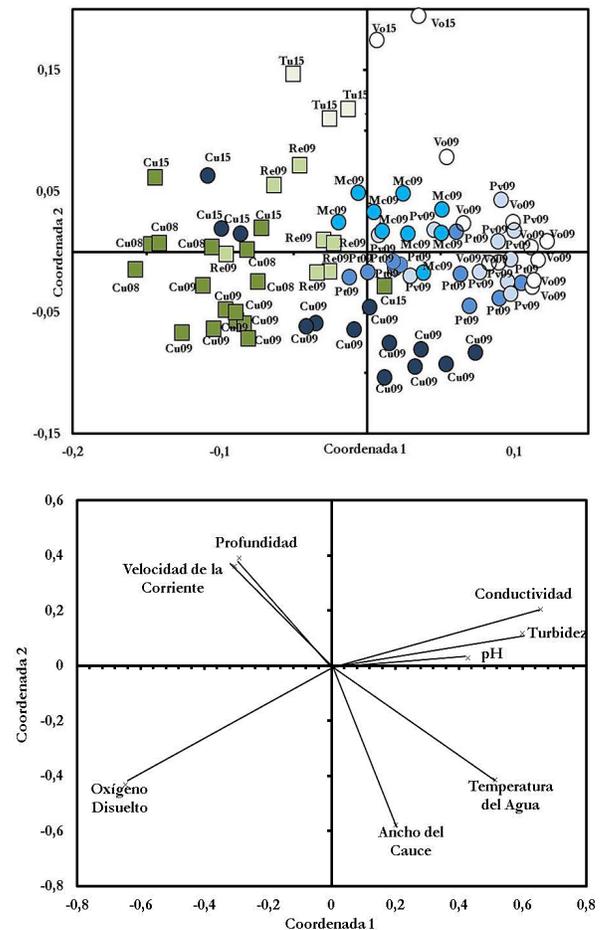


Figura 3. Escalamiento multidimensional no métrico (EMNM) con base en la comunidad de macroinvertebrados bentónicos de los ríos Cúpira (cuadrados) y San Diego (círculos). Arriba: coordenadas de los sitios: hacienda la Cumaca en el río Cúpira (Cu) y balneario la Cumaca en el río San Diego (Cu), Tu: urbanización el Tulipán (Tu), urbanización el Remanso (Re), planta de tratamiento (Pt), sector el Polvero (Pv), hacienda Macomaco (Mc), urbanización Valle de Oro (Vo). Los números indican los años de muestreo: 2008 (08), 2009 (09) y 2015 (15). Abajo: asociación de las variables ambientales con el ordenamiento exhibido por el EMNM.

vectores de las variables ambientales asociados a las coordenadas del gráfico. La composición particular de la fauna bentónica en las localidades correspondientes a las áreas urbanizadas (SD-Pv, SD-Vo, SD-Mc, ver Tabla 4) pudiera estar afectada por valores altos de pH, conductividad (μS) y turbidez del agua (NTU). Mientras que, la composición faunística de las localidades aguas arriba ubicadas en áreas poco intervenidas (SD-Cu1, SD-Cu2, C-Cu, C-Re ver Tabla 4); parecieron estar afectadas por valores altos de concentración de oxígeno (mg/L), velocidad (m/s), profundidad (m) y ancho del cauce (m). La aplicación

el índice biótico BMWp/Col (Roldan-Pérez 2003) complementa lo observado en la caracterización de las comunidades de macroinvertebrados bentónicos. Las localidades ubicadas aguas arriba de los asentamientos urbanos C-Cu y SD-Cu1 (Tabla 5) de los ríos Cúpira y San Diego respectivamente, presentaron una calidad biológica del agua buena a alta con un mínimo a leve grado de intervención antrópica; mientras que los sitios ubicados aguas abajo en las áreas urbanizadas, como por ejemplo C-Tu y SD-Vo de los ríos Cúpira y San Diego respectivamente, presentaron valores más bajos del índice, indicando un calidad biológica del agua escasa, con un grave grado de intervención.

Evaluación de coliformes y nutrientes: La Tabla 6 muestra los resultados para coliformes y nutrientes durante el muestreo 2015 en los ríos Cúpira y San Diego. La tendencia para ambos cuerpos de agua es al aumento de los valores de coliformes, justo a través de los asentamientos urbanos e industriales que están aguas abajo. Particularmente, destaca la localidad G-Bo (Bohío) del río los Guayos, que mostró los valores más altos (Tabla 4). En cuanto a los nutrientes, los valores más elevados se observaron en las localidades SD-CS (Campo Solo) y G-Bo (Bohío), ambos sitios ubicados después de la confluencia de los ríos Cúpira y San Diego.

Tabla 5. Clasificación de la calidad biológica de las localidades de la subcuenca del río Los Guayos mediante el uso de los índices BMWp/Col y Cociente de Calidad Ambiental (CCA). Se siguieron las definiciones calidad e intervención según Segnini et al. (2009). * Localidades con un grado de intervención muy grave donde no se aplicaron muestreos y se presentan sin datos (s.d.).

Ríos	Localidades de muestreo	Código	Año	BMWp/Col	CCA	Calidad/CCA	Intervención/CCA
San Diego	Aguas arriba balneario la Cumaca	SD-Cu1	2015	177	0,92	Alta	mínima
	Balneario la Cumaca	SD-Cu2	2009	138	0,72	Media	importante
	La Cumaquita antes Planta Tratamiento	SD-Pt	2009	150	0,78	Media	importante
	El Polvero	SD-Po	2009	144	0,75	Media	importante
	Hacienda Macomaco	SD-Mc	2009	154	0,80	Buena	leve
	Urbanización Valle de Oro	SD-Vo	2015	100	0,52	Escasa	grave
	Urbanización Valle de Oro	SD-Vo	2009	92	0,48	Escasa	grave
	Urbanización Campo Solo	SD-CS	2015	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
Cúpira	Hacienda la Cumaca	C-Cu	2015	169	0,88	Buena	leve
	Hacienda la Cumaca	C-Cu	2009	153	0,79	Media	importante
	Urbanización El Tulipán	C-Tu	2015	94	0,49	Aceptable	grave
	Urbanización El Tulipán	C-Tu	2008	s.d.	s.d.	s.d.	s.d.
	Urbanización El Remanso	C-Re	2009	202	1,05	Alta	mínima
Los Guayos	Bohío	G-Bo	2015	s.d.	s.d.	s.d.*	s.d.*
	Los Guayos	G	2015	s.d.	s.d.	s.d.*	s.d.*

Tabla 6. Coliformes y nutrientes en las localidades muestreadas en 2015 de los ríos Cúpira, San Diego y Los Guayos de la cuenca del Lago de Valencia (para los códigos de las localidades ver Tabla 4).

Río	Localidades (código)	Coliformes Totales (UFC/100 ml)	Coliformes Fecales (UFC/100 ml)	Nitratos (ppm)	Nitritos (ppm)	Fosfatos (ppm)	Sulfatos (ppm)
San Diego	SD-Cu	1853	0	3,30	0,005	0,28	0,13
	SD-Vo	3293	0	8,47	0,008	0,57	2,61
	SD-CS	4920	0	18,27	0,017	10,13	102,52
Cúpira	C-Cu	120	0	2,98	0,004	0,15	0,13
	C-Tu	440	0	4,89	0,004	0,19	0,13
Los Guayos	G-Bo	39867	1067	15,68	0,277	1,30	9,44

Evaluación de hifomicetos: En la Tabla 7 se listan 12 y 10 especies de hifomicetos acuáticos encontrados únicamente las localidades C-Cu y SD-Cu1 de los ríos Cúpira y San Diego, respectivamente. Estos organismos solo estuvieron presentes aguas arriba de las zonas residenciales, en cauces caracterizados por una vegetación ribereña boscosa y con mínimo a leve impacto. Las especies fúngicas ya fueron previamente identificadas y descritas en estos y otros cuerpos de agua de la cuenca (Fernández y Smits 2005, 2009, Smits et al. 2007, Pinto et al. 2009, Storaci et al. 2013, 2014). Las mismas son frecuentes en aguas prístinas o con poco impacto antrópico, lo cual parece vincularse particularmente con el bajo nivel de coliformes totales observados en sitios poco o nada impactados, tal como lo reseñan Storaci et al. (2013). *Triscelophorus monosporus* fue la especie con más esporas/ml en ambos ríos, seguida en dominancia por *Anguillospora crassa* para el río Cúpira y *Scorpiosporium* spp. para el río San Diego.

Aun cuando no se logró realizar el muestreo en los puntos ubicados en el río los Guayos cercanos a la desembocadura al lago, muy probablemente estos sitios no serían aptos para una evaluación basada en la fauna bentónica. El MARNR-JICA (2001) hizo la evaluación de la calidad del agua de los tributarios en sus desembocaduras al lago, evidenciando que el río

Los Guayos exhibía los mayores valores para contaminantes sólidos, aceites y grasas, detergentes, cobre, fenoles, coliformes, entre otros. La cuestionable calidad de las aguas del río Los Guayos en las cercanías de su desembocadura al lago, parece ajustarse a la catalogación que recibe según las normas para la clasificación de uso de las aguas de los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia (Gaceta Oficial N° 5.305, decreto 3.219, Extraordinario del 1-2-1999); esto es, sus aguas son útiles solo para el riego de cultivos que no sean vegetales de consumo en crudo y para uso pecuario.

Los resultados obtenidos tanto para la comunidad de macroinvertebrados como los hongos hifomicetos y las características fisicoquímicas de las aguas, permiten enfatizar la necesidad de mantener a las nacientes de los tributarios al norte de la cuenca del Lago de Valencia bajo la figura de áreas protegidas (ABRAE). No obstante, la presión del crecimiento poblacional ha llevado al desarrollo de complejos residenciales hacia las laderas, que de no adecuarse y reducir su expansión, inutilizarán las aguas de los ríos Cúpira y San Diego, las cuales están destinadas, según las normas para la clasificación de uso de las aguas de los tributarios de la cuenca del Lago de Valencia (Gaceta Oficial N° 5.305, decreto 3219, Extraordinario del 11-2-1999); por un lado, al uso doméstico

Tabla 7. Especies de hifomicetos acuáticos presentes en los ríos Cúpira (código C-Cu) y San Diego (código SD-Cu) en 2015. Características de las localidades en la Tabla 4.

Especies de hifomicetos acuáticos	Densidad (número de esporas/ml)	
	Río Cúpira C-Cu	Río San Diego SD-Cu
1 <i>Triscelophorus monosporus</i> Ingold	13	10
2 <i>Anguillospora crassa</i> Ingold	6	0
3 <i>Scorpiosporium</i> spp	0	4
4 <i>Lunulospora curvula</i> Ingold	3	3
5 <i>Brachiosphaera tropicalis</i> Nawawi	3	2
6 <i>Helicomyces</i> spp.	3	2
7 <i>Alatospora acuminata</i> Ingold	3	0
8 <i>Campylospora filicladia</i> Nawawi	3	1
9 <i>Clavatospora stellata</i> (Ingold & Cox)	0	2
10 <i>Culicidospora gravida</i> Petersen	2	0
11 <i>Phalangispora constricta</i> Nawawi & Webster	2	0
12 <i>Clavatospora tentacula</i> (Umphlett) Nilsson	1	0
13 <i>Helicomyces colligatus</i> Moore	1	0
14 <i>Triscelophorus acuminatus</i> Nawawi	1	0
15 <i>Campylospora antenatum</i> Harkn	0	1
16 <i>Campylospora parvula</i> Nawawi	0	1
17 <i>Diplocladiella longibrachiata</i> Nawawi y Kuthub	0	1

e industrial que requiere de agua potable, siempre que ésta forme parte de un producto o subproducto destinado al consumo humano o que entre en contacto con él; y que desde el punto de vista sanitario pueden ser acondicionadas con la sola adición de desinfectantes; por otro lado, usos para balnearios y deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia, para el contacto humano total.

4. CONSIDERACIONES FINALES

A partir de la información recabada para la cuenca del Lago de Valencia y la evaluación particular del río Los Guayos se evidenció un importante deterioro de las aguas en las zonas de la depresión alrededor del lago, donde las mínimas pendientes y el relieve llano han favorecido el desarrollo de la actividad industrial y el crecimiento de áreas urbanas en los últimos 50 años.

Los entes gubernamentales han mostrado interés en categorizar los usos de tierras y clasificar las aguas de la cuenca en pro de un manejo agrícola productivo y adecuado, no obstante la teoría y la práctica no han ido de la mano y tanto los ecosistemas acuáticos como los terrestres corren el riesgo de desaparecer. En la depresión solo restan relictos de la vegetación nativa, mientras que en las serranías de la Cordillera de la Costa, protegidas al norte por las figuras de los Parques Nacionales Henri Pittier y San Esteban, aún persisten extensas machas de bosques y con ellos los tributarios caracterizados por aguas con corrientes bien oxigenadas y transparentes, los cuales albergan formas de vidas características de ecosistemas poco alterados. Sin embargo, de persistir el interés por el desarrollo urbano hacia las laderas, los ríos continuarán deteriorándose y solo quedarán las nacientes en la medida que se mantengan los bosques. La subcuenca del río Los Guayos es un claro ejemplo de la degradación a la cual están siendo sometidos los tributarios de la cuenca del lago de Valencia. Por encima de las zonas residenciales e industriales las aguas discurren a través de relictos del bosque original y aun albergan comunidades de macroinvertebrados e hifomicetos, característicos de ríos limpios, sin detección de coliformes fecales, pero en las planicies y en cercanías de la desembocadura al lago, los cauces son muy afectados y las aguas están altamente contaminadas, siendo posible solo la evaluación bacteriológica.

Las autoridades deben centrar sus esfuerzos en crear una red de monitoreo de los tributarios, no solo en su desembocadura al lago, sino también en las localidades aguas arribas de las áreas residenciales, industriales y agrícolas. En estas localidades la evaluación de la calidad del agua mediante las comunidades de macroinvertebrados e hifomicetos además de ser una herramienta complementaria a las evalua-

ciones estandarizadas en las normas, resulta una herramienta factible por su bajo costo y la rapidez con que se logra entrenar a un personal técnico.

5. REFERENCIAS

- Alba-Tercedor, J. 1996. Macroinvertebrados acuáticos y calidad de las aguas de los ríos. IV Simposio del Agua en Andalucía, Almería. vol. II: 203-213
- Alonso, A. y Camargo, J. A. 2005. Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. *Ecosistemas*. 3: 1-12.
- APHA. 1999. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20th Edition. USA.
- Apmann, R. 1979. Estudio ambiental del Lago de Valencia. Instituto de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela.
- Badillo, V. M., Benítez, C. E. y Huber, O. 1984. Lista preliminar de especies de antófitas del Parque Nacional Henri Pittier Estado Aragua. *Ernstia*. 26: 3-57.
- Bärlocher, F. 2000. Water-borne conidia of aquatic hyphomycetes: seasonal and yearly patterns in Catamaran Brook, New Brunswick, Canada. *Canadian Journal of Botany*. 78: 157-167.
- Benda, L., Poff, N. L., Miller, D., Dunne, T., Reeves, G., Pess, G. y Pollock, M. 2004. The network dynamics hypothesis: how channel networks structure riverine habitats. *BioScience*. 54(5): 413-427.
- Bisbal, F. J. 2000. Consumo de la fauna en el lago de Valencia, estados Aragua y Carabobo, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 34(3): 362-375.
- Bisbal, F. J., Sánchez, J., Ferrer, A., Bermúdez, S., Rivero, R., Bermúdez P. y Peña, V. 1998. Inventario de la fauna del de Valencia, estados Aragua y Carabobo, Profauna - Fundacite Aragua.
- Blanco, H., Najul, M. V. y Sánchez, R. 2015. La calidad del agua y su contaminación. Capítulo 7. (pp 253-284). En: Gabaldón, A., Rosales, A., Buroz, E., Cordova, J. R., Uzcategui, G. y Iskandar, L. (Eds.): *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Bley da S. de Oliveira, R., Milhorange de Castro, C. y Fernandes-Baptista, D. 2008. Desenvolvimento de índices multimétricos para utilização em programas de monitoramento biológico da integridade de ecossistemas aquáticos. *Oecologia Brasiliensis*. 12(3): 487-505.
- Bockh, A. 1956. El desecamiento del lago de Valencia. Ediciones La Fundación Eugenio Mendoza, Caracas, Venezuela.
- Campo, Z., M. A. y Ortáz, M. 2015. Tinicalo del lago de Valencia, *Atherinella venezuelae*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Campo, Z., M. A., Ortáz, M., Lasso, C. A. y Rodríguez, J. C. 2015. *Tetradiamante, Moenkhausia pittieri*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Cuarta edición. Provita y

- Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Chamier, A. C. y Dixon, P. A. 1982. Pectinases in leaf degradation by aquatic hyphomycetes in: the field study the colonization-pattern of aquatic hyphomycetes on leaf packs in a surrey stream. *Oecologia*. 52(1): 109-115.
- Córdova, J. R. y González, M. 2015. La geografía del agua. Capítulo 3. (pp 103-140). En: Gabaldón A., Rosales A., Buroz, E., Córdova, J. R., Uzcátegui, G. y Iskandar, L. (Eds.): *Agua en Venezuela: una riqueza escasa*. Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Covenin 2709:2002. 2002. Norma Venezolana: Aguas naturales, industriales, guía para las técnicas de muestreo. 1a revisión. FONDONORMA.
- Cressa, C., Vásquez, E., Zoppi, E., Rincón, J. E. y López, C. 1993. Aspectos generales de la limnología en Venezuela. *Interciencia*. 18(5): 237-248.
- De La Rosa, D. 2009. Dinámica espacial de la depresión del lago de Valencia. (1971-1990). *Geoenseñanza*. 14(1): 61-84.
- Descal, E. y Moralejo, E. 2001. El agua y la reproducción asexual en los hongos Ingoldianos. *Botanical Complutense*. 25: 13-71.
- DoNascimento, C. 2016. Lista de los peces de agua dulce en Venezuela: una actualización. (pp 521-553). En: Del Mora-Flores, L. F., Ramírez-Villalobos, A. J., Martínez-Pérez, A. F. y Franco-López, J. (Eds.). *Colecciones ictiológicas de Latinoamérica*. Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM/Sociedad Ictiológica Mexicana, A. C. México.
- Duarte, S., Bärlocher, F., Pascoal, C. y Cassio, F. 2016. Biogeography of aquatic hyphomycetes: Current knowledge and future perspectives. *Fungal Ecology*. 19: 169-181.
- Dudgeon, D., Arthington, H. A., Gessner, M. O., Kawabata, Z., Knowler, D. J., Lévêque, C., Naiman, R. J., Prieur-Richard, A., Soto D., Stiassny, M. L. J. y Sullivan, C. A. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Review*. 81: 163-182.
- Fernández, H. y Domínguez, E. 2001. *Guía para la determinación de los artrópodos bentónicos Sudamericanos*. Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Tucumán. Serie: Investigaciones de la UNT. Subserie Ciencias exactas y naturales. Editorial universitaria de Tucumán. Tucumán, Argentina.
- Fernández, R. y Smits, G. 2005. Estudio preliminar de los hongos acuáticos en el río Cabriales (Parque San Esteban, Edo. Carabobo). *Saber*. 17: 147-149.
- Fernández, R. y Smits, G. 2009. Registro de la presencia de hifomicetos en ríos de la cordillera de la costa, Venezuela. *Interciencia*. 34 (8): 589-592.
- Fernández, R. y Smits, G. 2015. Actualización de inventario de especies de hifomicetos acuáticos en Venezuela. *Gestión y Ambiente*. 18(2): 153-180.
- Fernández, R., Smits, G. y Pinto, M. 2010. Características e importancia de los hifomicetos acuáticos y registro de especies en Venezuela. *Revista Faraute de Ciencia y Tecnología*. 5(2): 56-73.
- Gaceta Oficial de la República de Venezuela. N° 5.305 Extraordinario del 1° de Febrero de 1999. Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia. Decreto N° 3.219, Caracas. Venezuela.
- García, F. J. y Ochoa-G., J. 2015. Rata de agua de Pittier, *Ichthyomyces pittieri*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Graca, A., M. Hyde, K. y Chauvet, E. 2016. Aquatic hyphomycetes and litter decomposition in tropical - subtropical low order streams. *Fungal Ecology*. 19: 182-189.
- Graterol, H., Goncalves, L., Medina, B. y Pérez, B. 2006. Insectos acuáticos como indicadores de calidad del agua de río Guacara. *Revista Faraute de Ciencias y Tecnología*. 1: 57-67.
- Hammer, Ø., Harper, D. A. T. y Ryan, D. P. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 4(1): 1-9.
- Holdridge, L. R. 1966. The life zone system. *Adamsonia*. 6(2): 199-203.
- Huber, O. y Oliveira-Miranda, M. A. 2010. Ambientes terrestres de Venezuela. (pp 29-89). En: Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F. y Giraldo-Hernández, D. (Eds.). *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Caracas: Venezuela.
- Huber, O. y Riina, R. (Eds.). 1997. *Glosario fitoecológico de las Américas*. Vol. 1. América del Sur: Países hispano parlantes. UNESCO, FIBV, Caracas.
- Jelambi, O. 1995. *Cuatrocientos cuarenta y siete años del lago de Valencia*, Volumen XXXII de la Biblioteca de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, Caracas, Venezuela.
- Köppen, W. y Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Lampo, M. y Señaris, J. C. 2015. Sapito rayado, *Atelopus cruciger*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez F. (Eds.). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Lasso, C. A., Lew, D., Taphorn, D., DoNascimento, C., Lasso-Alcalá, O., Provenzano, F. y Machado-Allison, A. 2004. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 159-160: 105-195.
- Leal, V. 2009. *Evaluación de la calidad biológica del río la Cumaca (San Diego, Carabobo) en un gradiente longitudinal mediante la comunidad de macroinvertebrados bentónicos*. Trabajo especial de grado. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- MARNR. 1983. *Estudio bacteriológico del Lago de Valencia y sus principales tributarios*. Serie Informe Técnico DGSII. Caracas.
- MARNR. 2003. *Resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos de tributarios, cuenca del lago de Valencia*, marzo-abril 2003. Laboratorio de Calidad Ambiental Dirección Estatal Ambiental Aragua.
- MARNR. 2005. *Resultados de análisis físico-químicos y bacteriológicos de tributarios, cuenca del lago de Valencia*, Febrero 2005. Laboratorio de Calidad Ambiental Dirección Estatal Ambiental Aragua.
- MARNR-JICA. 2001. *Estudio integral de los tributarios de la*

- cuenca del Lago de Valencia (1997-2000)*. Convenio MARNR JICA. Maracay, Estado Aragua.
- Medina, B. y Pérez, B. 2010. *Thraulodes eduardorum* (Ephemeroptera: Leptophlebiidae) nueva especie para Venezuela. *Entomotropica*. 25(2): 49-61.
- Medina, E. 2009. *Variación espacial de la comunidad de tricópteros del Río la Cumaca, Municipio San Diego-Carabobo*. Trabajo especial de grado. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.
- Morrone, J. J. 2001. *Biogeografía de América Latina y el Caribe*. Vol. 3. Zaragoza: M&T - Manuales y Tesis SEA.
- Moya N., Hughes, R. M., Domínguez, E., Gibon, F., Goitia, E. y Oberdorff, T. 2011. Macroinvertebrate based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams. *Ecological Indicators*. 11: 840-847.
- Mujica, E., Morales, M. B. y Luy, A. 2005. *Atlas del agua de la cuenca del lago de Valencia*. Fundación Tierra Viva. Venezuela.
- Obispo, A. 2015. *Caracterización de la calidad de agua del río Vígirima (municipio Guacara, edo Carabobo) a través de la biodiversidad de hifomicetos acuáticos*. Trabajo Especial de Grado. Departamento de Biología. Facultad Experimental de Ciencias y Tecnología. Universidad de Carabobo. Valencia. Venezuela.
- Ormeño, M. A. y Vilorio, J. 2005. Expansión del uso urbano sobre tierras agrícolas de primera calidad en la depresión del lago de Valencia. *Agroalimentación & Desarrollo Sustentable*. 6(2): 1-7.
- Palmer, M. A, Lettenmaier, D. P., Poff, N. L., Postel, S. L., Richter, B. y Warner, R. 2009. Climate change and river ecosystems: protection and adaptation options. *Environmental Management*. 44: 1053-1068.
- Pérez, B. 2008. Determinación de un sitio de referencia para bioevaluación de la calidad del agua del río Cabriales. *Memorias del VI Congreso de Investigación: la Investigación del Siglo XXI Oportunidades y Retos, Universidad de Carabobo*. Tomo I: 52-57.
- Pérez, B. 2014. New Records of *Callibaetis* Eaton, *Mayobaetis* Mayo and *Paracloedes* Day (Insecta, Ephemeroptera, Baetidae) from Venezuela. *Entomotropica*. 29(1): 39-47.
- Pérez, B. y Nieto, L. 2016. Nuevos registros de *Thraulodes eduardorum* Medina y Pérez, 2010 (Ephemeroptera: Leptophlebiidae, Atalophlebiinae) para los estados Carabobo y Yaracuy, Venezuela. *Entomotropica*. 31(7): 54-59.
- Pinto, M., Fernández, R. y Smits, G. 2009. Comparación de métodos en la caracterización de la biodiversidad de hifomicetos acuáticos en el río Cúpira, Estado Carabobo, Venezuela. *Interciencia*. 34(7): 497-501.
- Poff, N. L., Pyne, M. I., Bledsoe, B. P., Cuhaciyan, C. C. y Carlisle, D. M. 2010. Developing linkages between species traits and multiscaled environmental variation to explore vulnerability of stream benthic communities to climate change. *Journal of North America Benthological Society*. 29(4): 1441-1458.
- Poole, G. C. 2010. Stream hydrogeomorphology as a physical science basis for advances in stream ecology. *Journal of North American Benthological Society*. 29(1): 12-25.
- Rodríguez, J.P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (eds.) 2015. Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Provita y Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- Rojas-López, J. 2007. Las tierras de alta calidad agrológica en Venezuela: un reto al desarrollo sostenible. *Ambiente y Sociedad*. 33: 131-146.
- Rojas-Suárez, F. y Sharpe, C. J. 2015. Jilguero cara amarilla, *Sporagra yarrellii*. En: Rodríguez, J. P., García-Rawlins, A. y Rojas-Suárez, F. (Eds.). *Libro rojo de la fauna venezolana*. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Roldan-Pérez, G. 2003. *Bioindicación de la calidad del agua en Colombia*. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia, Colombia.
- Rubio, M. 2012. "Estudio de determinación de índices bióticos en 87 puntos de los ríos de Navarra. 2012". Informe técnico elaborado por EKOLUR Asesoría ambiental S.L.L. para el Gobierno de Navarra.
- Santos-Flores, C. J. y Betancourt, C. 1997. Aquatic and Waterborne Hyphomycetes (Deuteromycotina) In Streams of Puerto Rico (Including records from other Neotropical locations). *Caribbean Journal of Science Special Publication*. 2: 83-116.
- Schoenlein-Crusius, I. H. y Piccolo, R. A. 2003. The diversity of aquatic hyphomycetes in South America. *Brazilian Journal of Microbiology*. 34: 183-193.
- Schubert, C. 1979. *Paleolimnología del lago de Valencia*. Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencias Naturales, número 136, Caracas, Venezuela.
- Segnini, S. 2003. El uso de los macroinvertebrados ventónicos como indicadores de la condición ecológica de los cuerpos de agua corriente. *Ecotropicos*. 16(2): 45-63.
- Segnini, S., Correa, I. y Chacón, M. 2009. Evaluación de la calidad del agua de ríos en los Andes venezolanos usando el índice biótico BMWp. Pp. 217-254. En: Arrivillaga, J., El Souki, M. y Herrera, B. (Eds.). *Enfoques y temáticas en Entomología*. Ediciones Astro-Data, S.A., Maracaibo, Venezuela.
- Smits, G. 2005. Hifomicetos acuáticos en ríos de Venezuela. *Memorias del Instituto de biología Experimental*. 4:177-181.
- Smits, G., Fernández, R. y Cressa, C. 2007. Preliminary study of aquatic hyphomycetes from Venezuelan streams. *Acta Botánica Venezuelica*. 30(2): 345-355.
- Steyermark, J. 1979. Plant refuges and dispersal centres in Venezuela: Their relict and endemic element. P-p 185-221. En: Larsen, K. y Holm Nielsen, L. B. (Eds.). *Tropical Botany*. Academic Press, London.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. 2013. Evaluación de la calidad de agua del río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela) mediante bioindicadores microbiológicos y parámetros fisicoquímicos. *Interciencia*. 38(7): 480-487.
- Storaci, V., Fernández, R. y Smits, G. 2014. Hifomicetos acuáticos en el río Cúpira (La Cumaca, Estado Carabobo, Venezuela). *Ciencia*. 22(1): 21-27.
- Sucre, D. 2003. *Delimitación de áreas eco-geográficas del estado Aragua*. Papeles de FUNDACITE Aragua. Maracay, Venezuela. 76 p.
- Thorp, J. H., Thoms, M. C. y Delong, M. C. 2006. The riverine ecosystems synthesis biocomplexity in river

- networks across space and time. *River Research and Applications*. 22: 123-147.
- Vilela-Cruz, P., Boldrini, R., Quinto, C. F. y Frontado, H. 2012. New Baetidae (Insecta: Ephemeroptera) records from Venezuela and nymph description of an unnamed *Falceon* species. *International Journal of Zoology*. Article ID 837092, 6 pages. doi:10.1155/2012/837092.
- Winemiller, K. O., Flecker, A. S. y Hoeninghaus, D. J. 2010. Patch dynamics and environmental heterogeneity in lotic ecosystems. *Journal of North American Benthological Society*. 29(1):84–99.
- Zinck, A. 1977. *Potencialidad, conflictos de uso y modelos de ordenamiento de las tierras en la depresión del lago de Valencia*. Seminario presentado en Maracay sobre la problemática de la utilización de los recursos suelo y agua en la cuenca del lago de Valencia. Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo. Maracay.

Estado de conservación del sistema hidrográfico del río Manzanares, región Caribe Oriental de Venezuela

Sinatra K. SALAZAR¹, Carmen Y. ALFONSI¹, Bladimir GÓMEZ²,
Jesús A. BELLO³, William SENIOR⁴ y Luis TROCCOLI⁵

1. Departamento de Biología Marina. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre.
ssalazar@udo.edu.ve; calfonsir@hotmail.com
2. Museo del Mar. Universidad de Oriente, Rectorado. Núcleo de Sucre.
bladimirgomez@yahoo.com.mx
3. Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayacán. Universidad de Oriente (CIEG-UDO).
Jesusantoniobello@gmail.com
4. Departamento de Oceanografía Química. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre.
senior.william@gmail.com.
- 5 Escuela de Ciencias Aplicadas al Mar. Universidad de Oriente. Núcleo Nueva Esparta (ECAM-UDO).
ltroccoli@gmail.com

El río Manzanares tiene una relación histórica con la ciudad de Cumaná, ya sea por su papel ecológico, cultural y económico pero también por los impactos ambientales que han afectado negativamente el estado de conservación de este hidrosistema. Se efectuó una actualización de la información sobre el estado de conservación del río Manzanares y sus tributarios con base en la revisión de artículos científicos e informes variados. Se referenciaron las diferentes fuentes de contaminación y las magnitudes de variables ambientales, calidad de aguas y la biodiversidad acuática. Los reportes indican una problemática ambiental antigua y compleja a lo largo de toda la cuenca y por la acción combinada de diferentes perturbaciones. En el tramo final del río y su desembocadura es marcada la transformación y derivación del cauce, así como la transformación total de sus riberas naturales por áreas urbanas e industriales, que además generan residuos sólidos y efluentes que son vertidos al río. Los diferentes centros urbanos en las márgenes del río drenan aguas servidas y desechos sólidos directamente al mismo, pero también lo hacen las áreas de producción agrícola e industrial, que emplean fertilizantes e insecticidas que por escorrentía se incorporan a los afluentes, afectando la calidad del agua y las biotas acuáticas. La deforestación en la cuenca alta y la minería de gravas contribuyen al proceso de sedimentación de los cauces. Los registros históricos sobre este ecosistema fluvial, denotan una pérdida importante de la biodiversidad, principalmente de moluscos, crustáceos y peces, pero también un incremento en la abundancia de especies tolerantes y la presencia de especies introducidas. No se evidencia un manejo adecuado de los efluentes, pero tampoco la aplicación de programas dirigidos a la conservación y restauración de los recursos hidrobiológicos.

Palabras claves: recursos hidrobiológicos, ríos costeros, conservación.

1. INTRODUCCIÓN

La vertiente del Caribe incluye numerosos ríos de corto recorrido en pequeñas cuencas que drenan directamente al Mar Caribe (Mago Leccia 1970), destacando los ríos Tocuyo, Tuy, Unare, Neverí y Manzanares como las cuencas más extensas y con caudales mayores. La mayoría de estos ríos son de tipo montañoso y algunos presentan pequeñas planicies inundables (Lasso et al. 2004), siendo el río Manzanares el más importante cuerpo de agua que drena al Mar Caribe en el oriente de Venezuela. El río Manzanares contribuyó con el asentamiento y desarrollo de la ciudad de Cumaná, esto por la oferta de agua y fauna acuática (crustáceos, peces) para mantener a los habitantes locales y, aun cuando el río fue una vía de navegación a pequeña escala, las crecidas anuales eran notables y regían las pautas para el desarrollo de la ciudad (Castro-Moreno et al. 2017). El río Manzanares ofrece servicios ecosistémicos variados, incluyendo el agua potable y de regadío, la pesca de subsistencia que practica gran parte de los pobladores ribereños, e incluso las actividades de índole turística en el cauce principal y sus tributarios (INE 2011).

Actualmente, el río Manzanares tiene un cauce colmatado de sedimentos y un caudal empobrecido y contaminado (Senior et al. 2003, Castro-Moreno et al. 2017) producto de una problemática ambiental compleja que se desarrolla a largo de toda la cuenca. Las aguas de la cuenca alta y media están impactadas por los desechos generados por las actividades agrícolas intensivas y extensivas que, aunadas a las descargas de aguas servidas domésticas sin tratamiento, introducen al cuerpo de agua sustancias potencialmente contaminantes. Además, la cuenca media recibe los desechos químicos del central azucarero de Cumanacoa (Senior et al. 2004, Senior et al. 2005, Fermín 2015).

En la cuenca baja gran parte de los desechos urbanos llegan al río a través de los canales de desagüe; estos fueron construidos para darle salida a las aguas de lluvia pero la urbanización de sus riberas los han convertido en una fuente de contaminación, ya que son utilizados para la descarga de aguas servidas de poblaciones que carecen de redes cloacales y también para el vertido de desechos sólidos (Senior et al. 2003). Las procesadoras de pescado, según Senior y Godoy (1991) y Alvarado (2000), vierten al río el agua salada y los desechos orgánicos-sólidos y líquidos- producto del lavado del pescado y de las máquinas operadoras. Las industrias de este género en el área son muchas y concentradas.

Se han desarrollado investigaciones clave sobre el comportamiento de los metales pesados en el río

Manzanares (León et al. 1997, Márquez et al. 2002, Martínez et al. 2006, Fermín 2015), donde se destaca que las concentraciones de cadmio (Cd) y plomo (Pb) totales han sido moderadamente altas y de origen antrópico; a esto se añade que la principal fuente de metales e hidrocarburos en el río y el área costera con su influencia se atribuye a los astilleros cercanos. Por otro lado, el conjunto de talleres agrupados en el muelle pesquero de la ciudad de Cumaná aportan la mayor cantidad de hidrocarburos al ecosistema fluvial, a esto se adiciona una estación surtidora combustibles (gasolina y diésel) y otros muelles de empresas navieras que contribuyen a la introducción de hidrocarburos en el medio acuático (Alvarado 2000).

Es entendible que en un contexto legal las aguas del río Manzanares no cumplen con el mínimo requerimiento para el contacto humano total o parcial, esto según el Decreto 883 de fecha 11 de Octubre de 1995, publicado en la Gaceta Oficial N° 5021, donde se tipifican las aguas según sus usos y se establece que las aguas destinadas a balnearios, deportes acuáticos, pesca deportiva, comercial y de subsistencia corresponden a aguas tipo 4, y donde los metales pesados deben estar ausentes (Senior 2003, Fermín 2015). La situación ambiental en la cuenca del río Manzanares amerita de la implementación de estrategias y planes de manejo de los recursos hidrobiológicos de manera integrada y con la participación de los sectores gubernamentales, educativos y comunitarios. Con base en lo expuesto previamente este capítulo reúne información general sobre los atributos físicos y biológicos de la cuenca del río Manzanares, así como los principales impactos antropogénicos para con esto valorar su estado de conservación general y proponer pautas para el manejo adecuado de la cuenca hidrográfica y de los recursos hidrobiológicos locales.

2. MÉTODOS

La información aquí presentada se basó en la revisión y valoración de diferentes publicaciones científicas, informes técnicos y registros cartográficos y biológicos; estas fuentes son indicadas en los textos y citadas en la bibliografía. La mayor parte de estas fuentes se han generado en estudios y proyectos de investigación y extensión auspiciados por la Universidad de Oriente y sus diferentes dependencias, así como por organizaciones asociadas. Se proveyeron datos puntuales e información general sobre las variables ambientales (precipitaciones y caudales), calidad del agua (ej. temperatura, pH, salinidad, etc.), diversidad biológica (riqueza de especies, listados), cartográficos y demográficos.

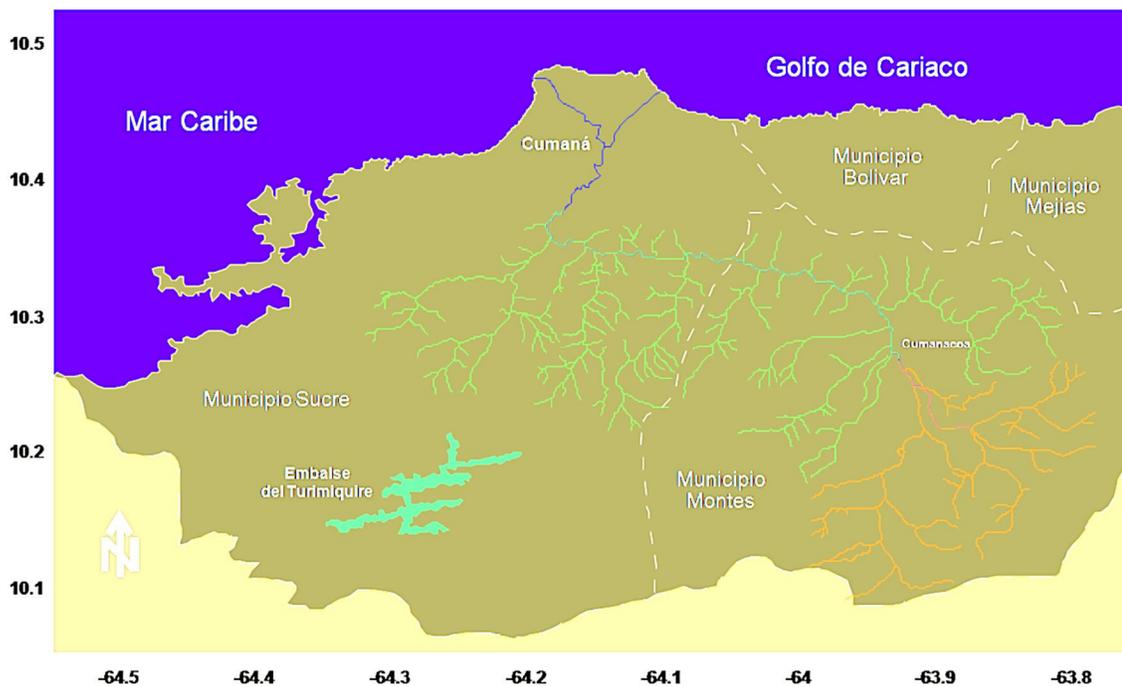


Figura 1. Cuenca hidrográfica del río Manzanares dividida en cuenca alta (afluentes de color naranja), media (color verde) y baja (color azul). Modificado de Senior et al. (2004).

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización de la cuenca del río Manzanares

La cuenca del río Manzanares se ubica en el extremo nororiental costero de Venezuela (estado Sucre). El río Manzanares nace en el macizo del Turimiquire a una altura alrededor de los 2.300 msnm (cerro Las Peonías). El cauce tiene una longitud de 81 km, posee una pendiente mínima de 15% y un gasto medio de 1,23 m³/s. La cuenca tiene alrededor de 1.652 km², con una descarga estimada en 600 x 10⁶ m³/año, la cual se ha ido incrementado (más del 20 %) a 771 x 10⁶ m³ al año (Márquez et al. 2002). La red de drenajes de la cuenca alta del río Manzanares se comportan como una corriente subsecuente desde sus cabeceras, luego encauza sus aguas hasta el valle de Cumanacoa; ahí su cauce principal es orientado de sur a norte, luego cambia a la dirección este-noroeste hasta recibir el aporte del río Cancamure, y vuelve a variar su curso hacia el sur-norte. El patrón de drenaje es dendrítico, salvo en donde los procesos geológicos y pendientes muy pronunciadas controlan la red, como el río Aricagua (MARNR 1983). El cauce principal del río recibe cerca de diez ríos, 13 riachuelos y quebradas por su margen derecho y 14 ríos principales y seis secundarios por el margen izquierdo (Márquez et al. 2000, Ruíz et al. 2005).

En la región el período de sequía comienza a partir del mes de diciembre, cuando la zona de

convergencia intertropical (ZCIT) se encuentra más cerca del Ecuador. El periodo de sequía finaliza en junio, cuando se inicia la migración hacia el norte de la ZCIT. El periodo de lluvia inicia en el mes de julio y finaliza en noviembre, teniendo sus máximos valores en el bimestre agosto-septiembre (Medina et al. 2013). En la cuenca existe un tipo climático templado húmedo tropical de altura, que comprende las partes más altas, entre los 1.500 y 2.500 msnm y es propio de la Serranía del Turimiquire, con temperatura media anual es de 15,5 °C y precipitación tiene alrededor de 2.000 mm. Por encima de los 2.500 msnm y en áreas muy reducidas de las cumbres mayores hay un clima templado húmedo tropical de altura nublado, con temperatura media de 12 °C; mientras que en la zona baja, hasta los 1.500 msnm aproximadamente, el clima es de tipo cálido subhúmedo, con temperaturas entre 21 y 27 °C y precipitación promedio de 900 a 1.500 mm.

Por fines prácticos la cuenca se ha dividido en secciones (alta, media y baja) con base a diferencias determinadas por el gradiente altitudinal (Figura 1), tomando la descripción por tramos de acuerdo a Senior et al. (2004) y Fermín (2015):

Cuenca alta (entre el Río Yoraco y el Río Aricagua): En la cuenca alta del río Manzanares se presenta la menor intervención y el río se caracteriza por ser de aguas cristalinas y en las riberas es habitual

Tabla 1. Registro promedio de variables físico-químicas y nutrientes detectados en la cuenca alta, media y baja del río Manzanares durante el periodo 2003-2005. Datos tomados de Fermín (2015).

Sección de la Cuenca	Temperatura (°C)	pH	Conductividad (µSiem)	O ₂ (mg/l)	NH ₄ (µmol/l)	NO ₃ (µmol/l)	NO ₂ (µmol/l)	PO ₄ (µmol/l)	SiO ₄ (µmol/l)
Alta	24,1	8,20	2345	5,51	3,04	21,04	0,59	1,65	152,1
Media	24,8	8,19	1582	5,65	5,37	16,37	0,61	1,17	144,2
Baja	26,5	7,96	1604	5,00	7,34	12,56	0,54	0,77	91,8

Tabla 2. Registro promedio de metales pesados detectados en la cuenca alta, media y baja del río Manzanares durante el periodo 2003-2005. Datos tomados de Fermín (2015).

Sección de la Cuenca	Cd (mg/l)	Pb (mg/l)	Co (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Mn (mg/l)	Fe (mg/l)
Alta	10,51	3,49	16,02	22,07	3,78	27,33	187,4
Media	32,75	10,29	16,33	24,64	7,09	103,35	405,7
Baja	19,61	3,06	27,27	24,51	2,95	30,62	1109,4

la vegetación boscosa. En la parte más elevada existe una predominancia de rocas calcáreas indiferenciadas, situación que cambia más abajo, donde aparecen areniscas y conglomerados (Fermín 2015). En la cuenca alta la pluviosidad es elevada, hasta 2.000 mm por año, lo que tiene un impacto importante en la tasa de erosión del área y el régimen de caudales; sin embargo, por las características propias de la cuencas altas, que presentan lechos pedregosos y pendientes pronunciadas, aunados a la menor densidad poblacional que se traduce en una actividad agrícola baja, la tasa de erosión es menor que en la cuenca media (Fermín 2015).

El parámetro que rige la variabilidad de las características del agua en la cuenca alta es la temperatura, siendo considerablemente menor que en el resto de la cuenca. Los valores de pH, conductividad, oxígeno disuelto y los nutrientes son reflejo de la litología y las actividades humanas que se realizan en ella (Tabla 1). En la cuenca alta la baja densidad poblacional ha tenido poco impacto en las condiciones naturales del río y la calidad de sus aguas. No obstante, el reporte de bacterias potencialmente patógenas, aunado a una elevada concentración de los nutrientes y metales (Tabla 2), advierte de la descarga de aguas servidas y actividades agrícolas. Las poblaciones aledañas a los cauces son pequeñas y dispersas (caseríos), por lo que la intervención antrópica es reducida. Destacan los poblados de Cocollar, San Fernando y San Lorenzo, con alrededor de 19.000 habitantes (INE 2011). La agricultura predomina y son habituales los

rubros como el café, frutales y, con menor producción, hortalizas flores y ganadería vacuna en pequeña escala.

Cuenca media (entre Cumanacoa y mineras de gravas): En la cuenca media destaca la presencia de grandes cantidades de material fino (Fermín 2015), el cual es atribuible a los arrastres de sedimentos hacia los cauces, así como por la erosión generada por las deforestaciones realizadas por los agricultores locales. Cuando el río abandona la montaña para fluir por terrenos más llanos, su cauce se ensancha y se hace más profundo. Aquí, en el río Manzanares como en sus afluentes, predominan la arena o el fango en el sustrato del fondo, las aguas se tornan turbias con una elevada carga de sedimentos. En esta sección llueve menos en comparación con la cuenca alta, estimándose entre 200 y 300 mm por año, lo cual se expresa en una condición más seca.

La erosión en la cuenca media es notoria e influenciada por el régimen pluviométrico y por las actividades humanas, principalmente la deforestación con fines agrícolas. La deforestación descontrolada causa la remoción del sustrato (suelos), el cual es trasladado por escorrentía hasta los cauces. Por otra parte, las actividades realizadas en el propio lecho del río, como la extracción comercial de arenas y gravas, favorecen el proceso erosivo, evidenciado en el ensanchamiento del cauce y la inestabilidad de los márgenes del mismo (Fermín 2015). En este sector, en las aguas la temperatura es más elevada en comparación con la cuenca alta, mientras que el pH,

la conductividad y los nutrientes, reflejan la litología de la zona (Tabla 1). Aquí aumenta la densidad poblacional, así como las actividades agrícolas e industriales, que tienen un impacto evidente sobre las variaciones de pH, la conductividad y el oxígeno disuelto. A las corrientes se incorporan coliformes totales y fecales, como *Clostridium perfringens* (Fuentes 2008, Mora et al. 2010) y metales pesados, todos en mayor proporción que en la cuenca alta (Márquez et al. 2000, Martínez et al. 2006), lo que aumenta el deterioro del río en este sector.

En cuanto a los metales, en la literatura revisada no se encontró información sobre las descargas de metales del río Manzanares hacia la zona costera; sin embargo, la presencia de éstos (Tabla 2), principalmente en la cuenca baja y la pluma del río, ha sido documentada previamente, donde se han señalado elevadas concentraciones totales de Cd y Pb, todas atribuibles a un origen antropogénico. Las concentraciones de metales pesados pueden generar efectos adversos sobre los organismos acuáticos y se ha reconocido una relación directa entre la concentración de los metales pesados, el volumen de agua descargado por el río y su material en suspensión (León et al. 1997, Márquez et al. 2000, Fermín 2015). Los flujos de metales pesados desde el río Manzanares hacia el litoral marino bajo su influencia se incrementan durante el período de lluvias, lo que indica que dichos elementos están principalmente asociados al material en suspensión y en consecuencia con el gasto del río. Los aportes de metales pesados a la zona son continuos, pero son mejor detectados durante el período de sequía, cuando el caudal del río es menor, dando lugar a un mayor tiempo de residencia de las aguas. Dichos aportes pueden provenir de los procesos geoquímicos y antropogénicos.

En la cuenca media la población aumenta a unos 30.000 habitantes y se reparte en pequeños poblados, como Arenas, Aricagua y Cumanacoa. La actividad agrícola se centra en cultivos de caña de azúcar y que sustentan un complejo azucarero de importancia regional (Medina et al. 2013). En la cuenca media la vegetación boscosa disminuye su cobertura en las riberas y laderas, y es reemplazada principalmente por cultivos y áreas de pastoreo. En sí, la intervención humana es mucho mayor, intensa y permanente.

Cuenca Baja (desde Puerto de la Madera hasta la desembocadura en el mar): La mayor parte de la cuenca baja representa un depósito deltaico consolidado formado sobre una llanura aluvial debido a los aportes de los sedimentos transportados por el río Cautaro, pero también modelados por el

oleaje (Meneses 2000). La precipitación anual es menor a 100 mm; en contraste, durante el periodo lluvioso el caudal del río Manzanares es elevado y tiene un comportamiento típico donde los caudales se incrementan desde las zonas altas hasta las zonas bajas. En este sector, predomina el transporte de material suspendido, el cual es exportado al mar a través de las desembocaduras del río Manzanares. El río atraviesa la ciudad de Cumaná y desemboca en el Golfo de Cariaco a través de dos cauces: uno es el cauce original y el otro es un aliviadero (zona de Punta Baja) construido en 1972 para desviar el flujo natural y así evitar las inundaciones. El caudal del río varía estacionalmente y cuando es bajo el agua es transportada y descargada principalmente por la desembocadura original. El canal aliviadero favorece la modificación de la línea de costa, y su capacidad de transporte está relacionada con la capacidad de carga y arrastre del río Manzanares. A este respecto, Medina et al. (2013) determinaron que el río Manzanares transportó hacia el litoral costero de Cumaná un total de 874.823.208 m³/año de agua; con 602.027.564 m³/año aportados en la desembocadura principal y 272.795.644 m³/año por el aliviadero (Tabla 3). En el periodo de lluvias la pluma del río se puede internar dentro del Golfo de Cariaco y alcanzar la bahía de Mochima (Fermín 2015).

La cuenca baja contiene la mayor población, ya que comprende el municipio Sucre, con alrededor de 358.919 habitantes (INE 2011); lo que representa un incremento de 17,75 % comparado con el censo previo (2001). Las características ambientales que presentan la cuenca baja y la pluma del río Manzanares son indicativas de una condición crítica, y problemas ambientales son más agudos (Martínez

Tabla 3. Registro de caudales y descargas de nutrientes a la costa de Cumaná través de la desembocadura y el aliviadero del río Manzanares. Tomado de Medina et al. (2013).

Variables	Desembocadura	Aliviadero	Total descargado
Caudal (m ³ /mes)	602,03 x10 ⁶	272,80 x10 ⁶	874,82 x10 ⁶
Amonio (kg/mes)	46.572	59.932	106.504
Nitrito (kg/mes)	1.659	2.803	4.461
Nitrato (kg/mes)	85.752	45.53	131.282
Fosfato (kg/mes)	9.487	15.765	25.252

et al. 2006, Fermín 2015). Por otra parte, en este tramo del río es más acentuada la pérdida de la cobertura ribereña original y la vegetación es reemplazada por el desarrollo urbanístico y la intervención antrópica es generalizada.

3.2 Problemática ambiental del río Manzanares

El río Manzanares recibe las descargas de elementos contaminantes producidos por las diferentes actividades antropogénicas en la cuenca. Desde sus nacientes como en la parte correspondiente al valle, el río es objeto de prácticas agrícolas con planificación inadecuada, que incluyen la tala y la quema, a ello se suman la incorporación de cultivos mediante técnicas conservacionistas inadecuadas y el sobrepastoreo sobre suelos con poca estabilidad en su sustrato geológico, en especial en las pendientes más escarpadas. Como consecuencia, es evidente la pérdida de suelos por la erosión, pero también por extensas inundaciones en los periodos de lluvias. Igualmente, las actividades pecuarias sin control adecuado han generado un fuerte grado de deterioro de la vegetación y de los suelos; lo anterior parece estar asociado con la disminución progresiva de los caudales (Fuentes 2008, Medina et al. 2013).

Los análisis físico-químicos realizados a las aguas del río Manzanares han corroborado que la contaminación es atribuida al conjunto de actividades agrícolas, pecuarias, industriales, recreacionales y domésticas realizadas en la cuenca, principalmente en las riberas de los cauces, cuyos residuos son vertidos directamente o son transportados en las aguas de lluvia hacia el cauce del río (Fuentes et al. 2008). La abundante materia orgánica nitrogenada descartada eleva las concentraciones de nutrientes al ser descompuesta por los organismos heterótrofos, los que al usar el oxígeno disuelto contribuyen al descenso del pH. Además, la abundancia de nutrientes y la temperatura cálida favorecen el crecimiento poblacional de coliformes.

En las actividades agrícolas de la cuenca es común el empleo de fertilizantes, siendo considerada la principal fuente de contaminantes que ingresan al río a través de las escorrentías (Medina et al. 2013). El efecto de los fertilizantes se asocia con un mejor rendimiento agrícola; sin embargo, su uso excesivo ocasiona la acumulación de nitratos y fosfatos en el subsuelo, los cuales son incorporados por infiltración a las aguas subterráneas y superficiales alterando su calidad y enriqueciéndolas, lo que provoca la eutrofización de lagos, estanques y ríos. Esta eutrofización se expresa por la proliferación de algas y macrófitas acuáticas que cubren la superficie del agua e interfieren en el intercambio del oxígeno entre el aire

y el agua, favoreciendo las condiciones anaerobias y alterando la red trófica de organismos acuáticos. Es importante destacar que según el tipo y volumen de fertilizantes empleados estos pueden convertirse en agentes tóxicos, con efectos determinantes sobre la biota; por ejemplo, causando estrés celular, el cual se manifiesta en la mortalidad de los individuos, mutaciones y pérdida de la diversidad genética de las poblaciones, como en el caso del bagre guaraguara (*Ancistrus brevifilis* Loricariidae) en tributarios de la cuenca del río Manzanares. Sobre esta especie se reconoce un efecto perjudicial del glifosato sobre la molécula de ADN en células sanguíneas, observándose el aumento de los daños en el material genético según el tiempo de exposición a los sedimentos (Lárez-López y Alfonsi-Rojas 2011). El glifosato es un componente habitual de muchos herbicidas, por lo que su aplicación debería ser considerada bajo regulación y vigilancia estricta.

La contaminación bacteriana en las aguas del río Manzanares ha sido señalada de forma notoria y creciente a partir de 1970 y son muchas las evidencias que señalan el deterioro de la calidad del agua por contaminación bacteriológica (Fernández 1971, 1973, 1984; Gutiérrez 2004, Fuentes et al. 2008, Fuentes 2008, Mora et al. 2010) reportaron protozoarios patógenos en las aguas superficiales de la cuenca alta y media, lo que representa un foco de infección y riesgo a la salud para los pobladores ribereños y usuarios del río. La distribución y comportamiento de los coliformes totales, fecales y *Clostridium perfringens*, a lo largo del sistema del Manzanares no es un proceso restringido a una sola subcuenca o determinado por los periodos climáticos, es una situación extendida en toda la cuenca del río Manzanares y durante todo el año, lo cual se asocia con un aumento de la población ribereña y predice un agravamiento del problema (Fermín 2015); además, las aguas del río Manzanares ahora no son aptas para ser usadas en actividades de consumo humano y recreación, pues no cumplen con los requerimientos mínimos con relación a su calidad.

La mayoría de las viviendas en la ciudad de Cumaná y de otros poblados no están conectadas a la red de sistema de cloacas, por lo que sus desechos son vertidos en los canales pluviales y llegan directamente al río. La intensidad de este problema es muy grave y ocasiona efectos variados, como los malos olores, alteración en el color del agua y turbidez por la presencia de material en suspensión, pero entre todos son más preocupantes los altos niveles de contaminación bacteriana (Fuentes 2008, Mora et al. 2010, Medina et al. 2013). En el tramo final del río, donde existe una mayor urbanización, se



Figura 2. Cuenca alta del río Manzanares: Vegetación boscosa en el río Yoraco (1), siembras en las planicies (2), cauce principal del río Manzanares confluencia con el río Yoraco (3). Cuenca media: río Tataracual (4), río Manzanares en el sector San Fernando (5), minería de gravas en el río San Juan, sector Los Ipures (6). Cuenca baja: Poza El Guardia en el río San Juan (7), río Manzanares a su paso por la ciudad de Cumaná. Créditos: Jesús Bello (1, 3), Sinatra Salazar (2, 4, 5, 6, 7, 8).

evidencian fuentes variadas de contaminación, como las provenientes de viviendas, áreas de comercio masivo (mercado municipal) y factorías (ej. plantas de hielo, procesadoras de pescado, astilleros, estaciones de combustible), que generan desechos líquidos y sólidos (Márquez et al. 2002, Fuentes et al. 2008).

Existen otras fuentes de contaminación del río Manzanares. El río Guasdua contribuye de manera considerable en la desviación de la mayoría de las variables físico-químicas en las aguas, incrementando su contaminación, y actualmente este fenómeno no ha variado (Gutiérrez y Rivero 2000, Gutiérrez 2004, Fermín 2015). Una fuente reconocida de perturbación son las descargas del central azucarero; aunque las aguas servidas (incluyendo la vinaza) se descargan en lagunas de oxidación, existe un efecto deletéreo con los efluentes que pasan al río (Fernández 1984, Gutiérrez 2004). Otro agente que ha contribuido en el deterioro del río Manzanares es la minería de gravas (areneras) en la cuenca media y baja (Figura 2). Estas minerías se ubican en cauces y riberas y ha afectado negativamente y de manera progresiva al hábitat acuático y ripario, a través de cambios marcados en la morfología del río. Para el año 2003 había más de una docena de areneras activas en el río Manzanares (Senior et al. 2005). Los impactos derivados de esta actividad están relacionados a la degradación del lecho fluvial por cambios en la granulometría e inestabilidad del sustrato, implicando la pérdida del hábitat para muchas especies; además, se han detectado grandes volúmenes de sedimentos transportados y que se asocian con el aumento de materia en suspensión en el río y la zona litoral asociada con la desembocadura. Lo anterior es causa para el dragado periódico del río en su tramo final.

Las descargas del río Manzanares en el Golfo de Cariaco originan una pluma laminar que se dirige primariamente hacia el oeste por la acción de los vientos alisios. Esta dirección de la pluma fluvial trae como consecuencia una afectación importante de la zona costera, llegando a perturbar los ecosistemas de arrecife, como en el caso de Mochima, a unos 20 km al oeste de la desembocadura. Así mismo, las aguas contaminadas del río Manzanares afectan el litoral costero de la ciudad de Cumaná, playas que en el siglo pasado fueron consideradas importantes para la actividad turística (Senior y Godoy 1991, Márquez et al. 2002, Fermín 2015).

3.3. Flora.

3.3.1. Formaciones vegetales y especies.

En la cuenca alta y media algunas áreas del bosque desarrollan un dosel semiralo, raramente tupido y

con una composición florística con alta riqueza, tanto en especies como en formas de vida (árboles, arbustos, hierbas, trepadoras, epífitas y hemiparásitas) respecto a la cuenca baja. Las especies presentes en la cuenca alta son mesófitas y presentan hojas generalmente simples y anchas para una mayor superficie de captación de los rayos solares. En algunas especies es notable además el desarrollo de un sistema radical superficial, debido a que estos suelos se encuentran, en gran parte, saturados hídricamente durante todo el año, especialmente en el periodo de lluvias, por lo que no necesitan raíces profundas para la obtención de agua.

En los diferentes ambientes ribereños del río Manzanares se han registrado 405 especies de plantas vasculares (angiospermas y helechos) y 371 son consideradas silvestres, lo que representa el 91,60% de la flora del área (Bello 2006, Cumana et al. 2010). Son pocos los registros de plantas vasculares endémicas en el río Manzanares, y están circunscritos a la cuenca media del mismo, destacando *Coccoloba llevelynii*, una poligonácea con amplia distribución a nivel nacional; mientras la leguminosa *Margaritolobium luteum* y la rubiácea *Rondeletia cumanensis* presentan poblaciones más restringidas en algunos ecosistemas de los estados Anzoátegui, Bolívar, Sucre y Nueva Esparta (Bello 2006, Cumana 2008, Hokche et al. 2008, Cumana et al. 2010, Reverón 2016). Un total de 24 especies que forman parte de los distintos bosques ribereños del río Manzanares (Tabla 4), actualmente figuran en alguna categoría de la flora vascular amenazada en Venezuela (Llamoza et al. 2003). Estas especies ocupan hábitats fragmentados, los cuales han sido afectados notablemente por el desarrollo acelerado de actividades agropecuarias (deforestación), urbanísticas, minería de gravas e incendios ocasionales, en su mayoría sin planificación adecuada ni control gubernamental. Estas amenazas son las mismas que han puesto en riesgo la presencia y distribución de estas especies en escala local y nacional (Bello 2006, Llamoza et al. 2003, Rodríguez et al. 2010, Reverón 2016). El restante 8,40% de la flora registrada en la cuenca está representada por 34 fanerógamas introducidas y, actualmente, en su mayoría con poblaciones naturalizadas en varios sectores (Tabla 5). Estas especies introducidas se pueden clasificar según su origen: 16 proceden del continente asiático, 11 son nativas de África, ocho de América, dos provenientes del continente europeo y una del australiano (Hoyo 1985, Marohasy y Forster 1991, Klackenberg 2001, Hannan-Jones y Playford 2002). Entre las especies arbóreas con interés alimenticio (introducidas y silvestres) destacan los frutales como:

Tabla 4. Lista de especies vasculares endémicas de la cuenca hidrográfica del río Manzanares. Categorías de amenaza y distribución: Peligro crítico (1), vulnerable (2), Menor Riesgo y Casi Amenazada (3), Menor Riesgo o Preocupación Menor (4). Distribución (D): cuenca alta (A), cuenca media (M), cuenca baja (B).

Especie / nombre	Estatus				D
	1	2	3	4	
<i>Swietenia macrophylla</i> (Caoba)	*				A M B
<i>Albizia saman</i> (Samán)		*			M
<i>Cedrela odorata</i> (Cedro)		*			A M
<i>Coccoloba llewelynii</i> (Uvero de montaña)		*			M
<i>Enterolobium cyclocarpum</i> (Caro)		*			A M B
<i>Geoffroea spinosa</i> (Taque)		*			B
<i>Guaiacum officinale</i> (Guayacán)		*			B
<i>Pereskia guamacho</i> (Guamache)		*			B M
<i>Roystonea oleracea</i> (Chaguaramo),		*			M
<i>Rhizophora mangle</i> (Mangle rojo)		*			B
<i>Tabebuia rosea</i> (Apamate)		*			A M B
<i>Avicennia germinans</i> (Mangle negro)			*		B
<i>Bulnesia arborea</i> (Palo sano)			*		B
<i>Laguncularia racemosa</i> (Mangle blanco)			*		B
<i>Platymiscium diadelphum</i> (Roble)			*		M B
<i>Acanthocereus tetragonus</i> (Pitahaya)				*	B
<i>Bourreria cumanensis</i> (Guatacare)				*	M B
<i>Conocarpus erectus</i> (Mangle botoncillo)				*	B
<i>Copaifera officinalis</i> (Aceite de palo)				*	A M

Anacardium occidentale (merey), *Cocos nucifera* (coco), *Mangifera indica* (mango), *Syzygium jambos* (pomarosa), *Spondias purpurea* (ciruela) y *Tamarindus indica* (tamarindo). Estas especies tienen un marcado interés en la dieta y comercio local. Es posible que algunas de estas especies frutales formaron parte de antiguas

áreas agrícolas, razón por la que ahora se distribuyen ampliamente en la cuenca y la región.

Las áreas ribereñas bajo el impacto de la minería de gravas o que han quedado desprovistas de suelos o cobertura vegetal, de habitual son colonizadas por comunidades simples y donde destacan *Gynerium sagittatum* (caña brava o lata) y *Tessaria integrifolia*, ambas especies tienen importancia en la fijación de terrenos aluviales primarios (Bono 1996). Estas dos especies permiten la asociación progresiva de otras especies en el proceso de sucesión secundaria y que propician el establecimiento de una vegetación más compleja. La composición florística en el tramo final y la desembocadura del río Manzanares es pobre como consecuencia de una intervención antigua y refleja una fracción pequeña de la flora litoral que es influenciada por las mareas. Aquí se registran bosques mixtos de manglar, conformados principalmente por mangle negro (*Avicennia germinans*), mangle rojo (*Rhizophora mangle*), mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) y mangle botoncillo (*Conocarpus erectus*).

3.3.2. Fitobentos y Macrófitas

En un inventario a lo largo de la cuenca del río Manzanares se registraron 21 especies (Tabla 6) de fitobentos y macrófitas, destacando las Cyanophyta, Chlorophyta, Rhodophyta, Bryophyta y Magnoliophyta (Barrios et al. 2007). En la cuenca baja del río Manzanares se registró el mayor número de especies, siendo más frecuentes *Spirogyra majuscula* y *Cladophora fracta* (Chlorophyta), ambas abundantes en áreas con eutrofización moderada a alta, y que son consideradas como indicadoras de contaminación orgánica. Barrios et al. (2007) confirmaron la presencia del alga roja dulceacuícola *Thorea riekei* en la cuenca alta. Esta especie, que crece en zonas de aguas limpias, frías y de fuerte corriente, fue reportada por primera vez para Venezuela en 1986 y para esta misma área. La distribución irregular de fitobentos y macrófitas, así como su abundancia en diferentes porciones de la cuenca del río Manzanares, independiente al tramo estudiado, muestran a un ecosistema fluvial impactado.

3.4. Fauna acuática.

3.4.1. Moluscos.

En la cuenca del río Manzanares son escasos los estudios sobre moluscos. Senior et al. (2005) reportaron gasterópodos pertenecientes a las familias Ampullariidae y Thiaridae, la primera representada por dos especies nativas de caracoles (*Marisa cornuarietis* y *Pomacea glauca*) y la segunda representada por las especies *Tarebia granifera* y *Melanoides tuberculata* (Figura 4). Las especies de Ampullariidae, tienden a ser menos abundantes, especialmente *P. glauca*. Los

Tabla 5. Plantas vasculares (introducidas, naturalizadas) en la cuenca del río Manzanares. Distribución: cuenca: alta (A), media (M), baja (B), toda la cuenca (T). Origen: Brasil (BA), Venezuela (VE), Centroamérica (CE), Asia (AS), África (AF), Europa (EU), AU (Australia).

Especie / nombre común	D	Origen
<i>Anacardium occidentale</i> (Merrey)	A M	BA VE
<i>Antigonon leptopus</i> (Coronilla)	B	CE
<i>Artocarpus altilis</i> (Castaña)	M B	AS
<i>Azadirachta indica</i> (Nim)	B	AS
<i>Calotropis procera</i> (Algodón de seda)	B	AF
<i>Chloris barbata</i> (Pata de gallina)	M B	AF
<i>Cocos nucifera</i> (Coco)	T	AS
<i>Cryptostegia grandiflora</i> (Uña del diablo)	B	AF
<i>Cyathbillium cinereum</i> (Cielito)	T	AS
<i>Dactyloctenium aegyptium</i> (Pata de gallina)	B	AF
<i>Delonix regia</i> (Falmboyán)	B	AF
<i>Echinochloa colona</i> (Pata de gallina)	M B	AF
<i>Eleusine indica</i> (Pata de gallina)	M B	AS EU
<i>Emilia fosbergii</i> (Clavelito)	T	AS AF
<i>Ficus benjamiana</i> (Ficus)	B	AS AU
<i>Gliricidia sepium</i> (Mataratón)	M B	CE
<i>Gossypium hirsutum</i> (Algodón)	M B	CE
<i>Leucaena leucocephala</i> (Cabezona)	B	CE
<i>Mangifera indica</i> (Mango)	T	AS
<i>Megathyrsus maximus</i> (Carrizo)	T	AF
<i>Manilkara zapota</i> (Níspero)	M B	CE
<i>Melinis repens</i> (Paja rosada)	T	AF
<i>Momordica charantia</i> (Cundeamor)	T	AS AF
<i>Morinda citrifolia</i> (Noni)	B	AS
<i>Parkinsonia aculeata</i> (Pimpinillo)	B	CE
<i>Ricinus communis</i> (Higuereta)	T	AF
<i>Sonchus oleraceus</i> (Cerrajón)	T	EU
<i>Spondias purpurea</i> (Ciguela)	M B	CE
<i>Syzygium cumini</i> (Uvero extranjero)	T	AS
<i>Syzygium jambos</i> (Pomarosa)	T	AS
<i>Syzygium malaccense</i> (Pomalaca)	T	AS
<i>Tamarindus indica</i> (Tamarindo)	T	AS
<i>Terminalia catappa</i> (Almendrón)	M B	AS
<i>Thespesia populnea</i> (Clemón)	B	AS
<i>Ziziphus mauritiana</i> (Ponsigué)	B	AF

pobladores señalan que estas especies solían ser muy abundantes en la cuenca, pero actualmente tiene una distribución restringida en arroyos cercanos al cauce principal, entre la vegetación acuática y piedras de las orillas (Senior et al. 2004). *T. granifera* y *M. tuberculata*

están presentes y abundan en toda la cuenca y aunque son vistos como parte de la fauna acuática local, en realidad son especies exóticas e invasoras de vieja data. Ambas medran entre las raíces de plantas acuáticas y en rocas sumergidas en zonas litorales con poca velocidad del agua. Durante el periodo de lluvia la presencia de esta especie generalmente es escasa, presumiblemente por las fuertes corrientes y el alto nivel del agua. Al contrario, *T. granifera* es la especie más abundante.

Se ha destacado la frecuente asociación entre *T. granifera* y *M. tuberculata*, especies que tienen hábitats muy similares y explotan recursos también parecidos, pero que establecen una competencia entre sus poblaciones, lo que al parecer tiene una respuesta poblacional que favorece a *T. granifera* (Rangel Ruiz et al. 2011, Naranjo-García y Olivera-Carrasco 2014), la cual es altamente competitiva y puede llegar incluso a desplazar especies endémicas de los sitios en donde ha sido introducida; además, es un potencial hospedero intermediario de parásitos que afectan a los humanos y a los peces de importancia comercial. *Tarebia granifera* es originaria del sureste de Asia y está ampliamente distribuida por toda la región intertropical, disponiéndose de reportes en América: Antigua y Barbuda, Cuba, Estados Unidos, Granada, Guadalupe, Haití, Jamaica, Martinica, México, Puerto Rico, República Dominicana, Santa Lucía y Venezuela (Pointier et al. 1994, Pointier et al. 1998, Rangel-Ruiz et al. 2011).

En Venezuela, *T. granifera* es registrada por primera vez en 1970, en una laguna artificial cerca de Caracas. Para el año 1975 los ríos de la región litoral central de Venezuela estaban invadidos por *T. granifera* (Pointier et al. 1994). Gutiérrez et al. (2012) han señalado que esta especie al tener más de 40 años de establecida, ha pasado a formar parte de la dieta de especies de peces nativas (*Crenicichla*, *Andinoacara* y *Rhamdia*), así como aves Ciconiiformes que quizá regulan sus poblaciones. *M. tuberculata* es un gasterópodo originario de África del este y del Medio Oriente, que ha invadido y se ha establecido en casi todos los países del continente americano, registrándose en Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Guayana Francesa, México, Paraguay, Perú y Venezuela, así como en las islas del Caribe. En la mayoría de los casos se desconoce el origen de su introducción (Gutiérrez et al. 2012); sin embargo, se considera que la posible dispersión de esta especie se debe al comercio de plantas acuáticas ornamentales y al vertido de aguas provenientes de la limpieza de acuarios y contenedores. En la cuenca del río Manzanares se registra otra especie invasora: el caracol manzana *Achatina fulica* (Achatinidae). Los 13 géne-



Figura 3. Fauna malacológica de la cuenca del río Manzanares. De izquierda a derecha: Arriba: *Tarebia granifera* y *Melanooides tuberculata*. Abajo: *Marisa cornuarietis* y *Achatina fulica*. Créditos: Jesús Bello.

ros que constituyen la familia son endémicos de África, aunque unas pocas especies han adquirido notoriedad mundial al ser introducidas por el hombre en muchas regiones tropicales (Hernández Cova et al. 2017). Evaluaciones sobre el efecto de esta especie en la cuenca baja del río Manzanares demuestran la afectación sobre los cultivos agrícolas y su potencial acción como vector en la introducción de organismos que pueden ser letales a los humanos; sin embargo, el conocimiento sobre la especie es inadecuado y se hacen necesarios programas de capacitación para el control de la misma, que ya es considerada una plaga (Hernández Cova et al. 2017). El caracol africano afecta a una amplia variedad de cultivos ornamentales, hortícolas y frutícolas. Aunque los caracoles de este género habitan naturalmente zonas entre áridas y cálidas, pueden adaptarse a cualquier hábitat variados, desde las zonas intervenidas hasta los pantanos y áreas urbanas donde exista vegetación (Correoso-Rodríguez, 2006). En Venezuela, *A. fulica* ha presentado una alta tasa de dispersión a lo largo de la región boscosa y montañosa del norte del país. Esta tasa fue reconocida en un período de diez años, a una velocidad

promedio de 100 km/año desde la localidad donde se registró inicialmente, por lo se presume que dicha propagación se deba a la acción humana involuntaria o intencional (Hernández Cova et al. 2017).

3.4.2. Crustáceos.

Entre los crustáceos destacan las familias Atyidae y Palaemonidae, la primera representada por la única especie en Venezuela (Davant 1973) y con importancia económica local en el río Manzanares: *Atya scabra* (buchuro, burrito). La Familia Palaemonidae se encuentra representada por 16 especies del género *Macrobrachium* para Venezuela y por 26 en las aguas dulces y salobres de América oriental (Rodríguez 1980, Pereira y Pereira 1982). En el río Manzanares se registran las especies *Macrobrachium carcinus*, *M. acanthurus* y *M. olfersii*, siendo la primera (camacuto) la más común y abundante en el río (Davant, 1973). *M. carcinus* puede alcanzar hasta 25 cm de longitud y 200 g de peso, medidas similares a las alcanzadas por *M. rosenbergii*, que es originario de Malasia. En Venezuela es una de las especies con mayor potencial de cultivo, por lo cual ha sido estudiada y cultivada ampliamente (Graziani et al.

2003, García 2006, Moreno et al. 2012). Todas estas especies de buchuros y camarutos son muy importantes en la pesca comercial artesanal de la zona ya que constituyen un recurso alimenticio y económico para la subsistencia de los habitantes de las riberas (Davant 1973, Senior et al. 2004). Estos camarones se pescan usualmente con atarraya, pero también de forma manual, removiendo las piedras del río o con el uso de algunos métodos dañinos para el hábitat, como es el uso de cloro para extraer los camarones de sus refugios, lo que constituye otro aporte de contaminantes al sistema hidrográfico del río.

3.4.3. Ictiofauna.

Entre los primeros registros sobre la ictiofauna en la cuenca del río Manzanares destaca el de Carvajal (1965), quien describió la ictiofauna en las lagunas litorales a través de canales de riego que parten del río. Posteriormente, Aguilera y Carvajal (1976) realizaron el primer registro a lo largo de toda la cuenca incluyendo la zona de estuario y la desembocadura. Los resultados evidenciaron la intervención progresiva por la acción de afluentes y residuos derivados de las actividades humanas, causando alteraciones ecológicas. Estos autores reportaron el efecto sobre la ictiofauna local causado por la introducción de la tilapia negra (*Oreochromis mossambicus*, Cichlidae). Casi tres décadas después, Pérez et al. (2003) llevaron a cabo un análisis de la ictiofauna del sistema, incluyendo la Laguna de los Patos y la zona costera, con énfasis en la introducción de la tilapia (Figura 4). Los resultados evidenciaron la presencia de 12 especies y siete familias. La distribución y abundancia de estas especies estuvo determinada por los periodos estacionales y las condiciones ambientales de cada estación. La abundancia de peces se ve disminuida a medida que se desciende en la cuenca, encontrándose una mayor número de individuos en la cuenca alta y media en comparación con la cuenca baja; sin embargo, el número de especies es mayor en la cuenca baja. En ríos de montañas, es común observar la disminución de la diversidad con respecto a la altura (Machado-Allison y Moreno 1993, Senior et al. 2004). Para 2003 se reportaron 18 especies, tal diferencia fue atribuida a las condiciones ambientales en desmejora del río y la presencia de especies invasoras (Tabla 7). Sobre esto último, Pérez et al. (2003) señalaron la dispersión de la tilapia desde su sitio de introducción (Laguna de los Patos) hacia la zona costera de Cumaná y la cuenca media del río Manzanares (Figura 4). Las tilapias, especialmente *O. mossambicus*, tienen una alta capacidad de adaptación ecológica y de ajustes rápidos a cambios de temperatura, lo cual les permite habitar en aguas someras donde existen grandes fluctuaciones en las

Tabla 6. Listado de géneros y especies de fitobentos y macrófitas localizadas en la cuenca alta (A), media (M) y baja (B) para el río Manzanares. Al: canal de aliviadero. Tomado de Barrios et al. (2007).

Géneros y Especies	A	M	B
CYANOPHYTA			
<i>Nostoc</i> sp	X		
<i>Phormidium</i> sp.		X	
<i>Polytrotrix</i> sp.	X		
<i>Rivularia</i> sp		X	
CHLOROPHYTA			
<i>Spirogyra majuscula</i> Kütz.	X	X	
<i>Chaetophora</i> sp.		X	
<i>Stygoecolium fasciculare</i> Kütz.	X		
<i>Chaetomorpha gracilis</i> Kütz.			X
<i>Cladophora fracta</i> (Müller ex Vahl) Kütz.	X	X	
<i>Cladophora montagneana</i> Kütz.			Al
<i>Enteromorpha intestinales</i> (L.) Ness			Al
<i>Enteromorpha clathrata</i> (Roth) Greville		X	
<i>Ulva fasciata</i> Delile			X
HETEROKONTOPHYTA			
<i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh			Al
RHODOPHYTA			
<i>Thorea riekei</i> Bischoff	X		
<i>Centroceras clavulatum</i> (C. Agardh) Montagne			Al
BRIOPHYTA			
<i>Ricciocarpus</i> sp.	X	X	X
<i>Fontinalis squamosa</i> Hedw.	X	X	X
<i>Fontinalis</i> sp.	X	X	X
CYMODOCACEAE			
<i>Syngodium filiforme</i> Kützting			Al
HYDROCHARITACEAE			
<i>Thalassia testudinum</i> Banks & Solander			Al

temperaturas diarias (Chung 1985). No obstante, las bajas temperaturas en los tributarios de la cuenca alta posiblemente han impedido una mayor dispersión la especie. En los estuarios, Pérez et al. (2003) identificaron diez familias de peces menos que las 23 reportadas previamente por Aguilera y Carvajal (1976); sin embargo, se identificaron otras diez especies no registradas hasta ese momento. Aun así, el número total de especies fue menor al de reportes previos.

En el cauce principal de la cuenca baja del río Manzanares se han registrado 34 especies de peces (23 familias), 12 de éstas en el cauce principal y 22 en el estuario (Ruíz et al. 2005), lo que indica una baja

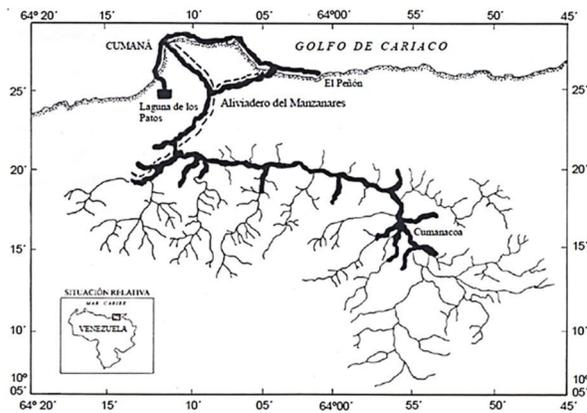


Figura 4. Avance de la tilapia *Oreochromis mossambicus* en el sistema del río Manzanares. La línea punteada señala la distribución de la tilapia hasta el año 1976 y la línea continua hasta el año 2003. Modificado de Pérez et al. (2003)

riqueza de especies y que puede estar asociado con la pérdida de hábitat. Además, esta riqueza de especies resulta alrededor de la mitad de la riqueza reportada en el resto de las principales cuencas costeras del país (Lasso et al. 2004, Rodríguez-Olarte et al. 2011).

Otra especie considerada como introducida en la cuenca del río Manzanares es el mataguaro *Crenicichla geayi* (Lasso y Machado-Allison 2000), cuya distribución aparentemente estaría restringida a las cuencas del Orinoco, Tuy y drenajes costeros occidentales. Esta especie se reportó hace una década por primera vez para el sistema del Manzanares (Salazar et al. 2007). Hasta el año 2007 solo estaban citadas como introducidas dos especies de Cichlidae, la petenia *Caquetaia kraussii* y tilapia *Oreochromis mossambicus*. Sobre *C. kraussii* se ha sugerido una distribución original disyunta entre las cuencas del Lago de Maracaibo y del río Unare (Royero y Lasso 1992); no obstante, análisis biogeográficos posteriores sobre la ictiofauna de ríos costeros de Venezuela indican que muy probablemente fue introducida en la cuenca del río Unare (Rodríguez-Olarte et al. 2011), con lo cual también sería una introducción en la cuenca del río Manzanares. Se estima que *Crenicichla geayi* podría ser otra especie introducida, quizá por actividad de la acuariofilia, ya que es una especie comercializada eventualmente como mascota. Sin embargo, *C. geayi* ha sido reportada previamente en el eje de las cuencas costeras de Aroa, Yaracuy y Tuy, y eventualmente en algunas pequeñas cuencas del litoral central (Lasso et al. 2004, Lasso et al. 2010). Es necesaria una evaluación histórica de registros en colecciones biológicas de esta especie para comprobar su presencia y hacer el monitoreo en su distribución. La bibliografía señala a

Tabla 7. Reportes históricos de las especies de peces en la cuenca del río Manzanares. Autores: (1) Aguilera y Carvajal (1976), (2) Pérez et al. (2003), (3) Ruíz et al. (2005), (4) Salazar et al. (2007) y (5) Gaspar (2008) en la cuenca del río Manzanares. (6) Especies posibles en la cuenca según colecciones biológicas (2018). Especie restringida a otra cuenca o vertiente (°), introducida (I), introducida y exótica (E).

	1	2	3	4	5	6
<i>Astyanax bimaculatus</i>	*	*	*			
<i>Astyanax fasciatus</i>	*					
<i>Corynopoma riisei</i>	*	*	*			
<i>Creagrutus bolivari</i> °	*	*	*			
<i>Creagrutus melasma</i>						*
<i>Gephyrocharax valencia</i>						*
<i>Hemibrycon metae</i>						*
<i>Ancistrus brevifilis</i>	*	*	*		*	
<i>Ancistrus gymnorhynchus</i>	*					
<i>Chaetostoma</i> sp	*	*	*			
<i>Hypostomus watwata</i>	*	*	*			
<i>Rhamdia guairensis</i>	*					
<i>Rhamdia quelen</i>	*	*		*		
<i>Rhamdia sebae</i>	*					
<i>Hoplosternum littorale</i>	*					
<i>Trichomycterus</i> sp.	*					
<i>Anaoas banana</i>	*					
<i>Evorthodus lyricus</i>	*					
<i>Sicydium plumieri</i>	*					
<i>Andinoacara pulcher</i>						*
<i>Caquetaia kraussii</i> I	*	*	*			
<i>Crenicichla geayi</i>			*			
<i>Oreochromis mossambicus</i> E	*	*	*		*	
<i>Anablepsoides bartii</i>	*	*	*			
<i>Anablepsoides bolmaie</i>	*	*	*			
<i>Cyprinodon dearborni</i>	*					
<i>Poecilia reticulata</i>	*	*	*			
<i>Poecilia sphenops</i> °	*					
<i>Synbranchus marmoratus</i>	*	*	*			

estos Cichlidae como especies carnívoras, que cuando se introdujeron en otros países, así como en ríos de Venezuela, eliminaron parte de la fauna de peces endémicos, no escapando a ello el río Manzanares (Aguilera y Carvajal 1976, Pérez et al. 2003, Ruíz et al. 2005, Pérez et al. 2007, Salazar et al. 2007). Por otro lado, en la zona costera influenciada por el río Manzanares se han registrado 98 especies estuarinas y marinas y sólo dos de aguas dulces: la

guaraguara *Ancistrus brevifilis* y la tilapia *Oreochromis mossambicus* (Gaspar 2008), lo que representa una diversidad elevada respecto a otras áreas costeras del Golfo de Cariaco (De Grado et al. 2000); sin embargo, en algunos lugares con sedimentación fuerte generada por el río Manzanares se reporta un número menor de especies (Márquez et al. 2002, Martínez et al. 2006, Fuentes et al. 2008).

3.5. Otros vertebrados

Herpetofauna: Según García et al. (2000) en la cuenca se registran siete especies de anfibios (Bufonidae, Hylidae, Leiuperidae y Lictodactylidae) y 12 especies de reptiles. El último ejemplar de caimán de la costa (*Crocodylus acutus*, Crocodylidae) en el río Manzanares fue muerto en 1948 y se conoció de un juvenil en el Golfo de Cariaco (Chiguana) para 1955 (Seijas et al. 2015). Lo anterior da cuenta de poblaciones de caimán de la costa en el río Manzanares y litorales costeros y que fueron eliminadas por la cacería y pérdida de hábitat. Los registros históricos también reseñan a los caimanes de anteojos o babas (*Caiman crocodylus*, Alligatoridae).

Avifauna: En el estado Sucre se registran 492 especies de aves (Sharpe et al. 2017), de estas la mayoría son residentes, 12 son endémicas y dos son exóticas: el tejedor africano (*Ploceus cucullatus*) y la paloma doméstica (*Columba livia*). Sin embargo, los registros ornitológicos en el río Manzanares han sido escasos y puntuales, específicamente realizados en fragmentos de bosques ribereños basimontanos en las localidades de la cuenca media por Marín-Espinoza et al. (2012), quienes registraron 11 órdenes, 26 familias y 74 especies de aves. Destacan como situación problemática el gran número de torditos (*Quiscalus lugubris*) en la cuenca baja, específicamente en el tramo final, posiblemente por su capacidad de adaptación a los ambientes intervenidos como ave oportunista y omnívora. Estas grandes agrupaciones sobreviven parcialmente gracias a los residuos urbanos y, en consecuencia, son potenciales vectores de enfermedades (Strewe et al. 2006, Fraga 2011).

Mamíferos: La mastofauna asociada al río Manzanares es poco conocida. Ya alrededor de 1800 Humboldt refirió la presencia de delfines (toninas) en las aguas del río Manzanares; sin embargo, los especialistas no refieren este río en la distribución histórica de delfines de agua dulce en Venezuela. Igualmente, en la literatura especializada sólo se tiene conocimiento de un ejemplar solitario del perro de agua (*Lontra longicaudis*) en las riberas del río cerca de la ciudad de Cumaná (Linares 1998). No obstante, los lugareños mencionan la especie en la cuenca alta y media, aun cuando actualmente no ha sido

identificada. Las entrevistas a informantes clave que se dedican a la cacería en áreas montañosas, aportan información sobre la mastofauna con interés en la alimentación; así, se reconoce la presencia histórica de venados (*Odocoileus virginianus*), báquiros (*Pecari tajacu*), conejo (*Sylvilagus floridanus*), cachicamo de nueve bandas (*Dasypus novemcinctus*), rabipelados (*Didelphis marsupialis*) y ardillas (*Sciurus granatensis*). A esta lista se incluyen felinos (*Leopardus*, *Puma* spp.) Sin embargo, los registros en colecciones biológicas e informes técnicos gubernamentales sugieren un número mayor de especies de mamíferos en estos drenajes costeros.

4. CONSIDERACIONES FINALES

Actualmente el río Manzanares carece de un saneamiento adecuado y su navegabilidad está restringida solo a su desembocadura. Las políticas de saneamiento en su mayoría son dirigidas específicamente a las planicies de la cuenca baja y que son asociadas con la ciudad de Cumaná, obviándose que este es un problema complejo que inicia en la cuenca alta y donde se entrelazan factores geográficos, las prácticas agrícolas y pecuarias inadecuadas, así como las variables ambientales y situaciones educativas y sociales. Así, la problemática en el río Manzanares va más allá de una única opción como el dragado del río por la colmatación periódica, así como de la reforestación de las márgenes en la cuenca baja.

El río Manzanares, presenta procesos naturales, condiciones hidrográficas y variables antropogénicas que dan indicios de un deterioro ambiental progresivo en magnitud e importancia. En la evaluación ambiental de este cuerpo de agua así como su interacción con la zona costera de Cumaná se presentan recomendaciones de interés (Fermín 2015), donde destacan las siguientes necesidades:

- mantener el monitoreo y la evaluación de toda la cuenca hidrográfica como un sistema continuo desde la cabecera hasta la desembocadura.
- establecer planes efectivos de recuperación de la calidad de las aguas del río Manzanares.
- fortalecer el sistema para el cumplimiento de la normativa en general del ambiente
- establecer un sistema de control y vigilancia en la zona por parte de los organismos competentes.
- alertar a la población sobre la situación ambiental del río Manzanares.

No obstante, las fuentes de contaminación que presentan el mayor problema -así como sus soluciones potenciales- se han reconocido para toda la cuenca y su pluma (Tabla 8) a partir de los numerosos reportes técnicos (Fermín, 2015). Estas

Tabla 8. Principales problemas detectados y posibles soluciones para la cuenca alta, media y baja (incluyendo la pluma fluvial) del río Manzanares Tomado de Fermín (2015).

Problemas Cuenca Alta	Solución posible	Organismos Responsables
Prácticas agrícolas tanto animal como vegetal	Se requiere educación y transferencia tecnológica. Reformación y cumplimiento de las normas. Integrar las prácticas agrícolas con la reforestación.	MPPA (Ministerio de Ambiente), MPPAT (Ministerio de Agricultura y Tierras), INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas),
Asentamientos rurales Descontrolados	Plan de ordenamiento territorial	Gobernación, MPPA, MPPAT, MPPTC (Ministerio de transporte y Comunicaciones), MPPCT (Ministerio de Ciencia y Tecnología)
Descargas de aguas residuales	Construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento en los balnearios. Construcción de pozos sépticos, letrinas	Alcaldía Montes y MPPA
Deforestación	Plan de manejo forestal	MPPA, CONARE (compañía nacional de reforestación), INIA
Problemas Cuenca Media	Solución posible	Organismos Responsables
Descargas de aguas industriales (central azucarero)	Planta de tratamiento. Fertirriego. Tecnologías limpias	MPPA, Alcaldía
Quema de caña de azúcar y residuos a la atmósfera provenientes de la combustión	Capacitación y concientización Aplicación de normativas (aprobación de ordenanzas). Tecnología limpia	Alcaldía, MPPA.
Descargas de desechos sólidos vertidos por los pobladores	Servicio de recolección Vertederos controlados	Alcaldía, Cooperativas
Contaminación por aguas servidas	Red de cloacas	Alcaldía, Gobernación, HIDROCARIBE, MPPA
Degradación del ambiente por minería	Aplicación de normas reguladas. Plan de reforestación	MPPA, GNB (Guardia Nacional Bolivariana), Gobernación
Desechos del matadero de reses	Plantas de tratamientos	MPPA, Alcaldía, GNB.
Problemas Cuenca Baja	Solución posible	Organismos Responsables
Descargas de aguas industriales (central azucarero)	Planta de tratamiento Fertirriego, tecnologías limpias	MPPA, Alcaldía de Montes
Quema de caña de azúcar y residuos a la atmósfera provenientes de la combustión	Capacitación y concientización Aplicación de normativas (aprobación de ordenanzas) Tecnología limpia	Alcaldía Montes, MPPA.
Descargas de desechos sólidos vertidos por los pobladores	Servicio de recolección Vertederos controlados	Alcaldía Montes, Cooperativas
Contaminación por aguas servidas	Red de cloacas	Alcaldía de Montes, Gobernación del edo. Sucre, HIDROCARIBE, MPPA
Degradación del ambiente por minería	Aplicación de normas reguladas Plan de reforestación	MPPA, GNB (Guardia Nacional Bolivariana), Gobernación del edo. Sucre
Desechos del matadero de reses	Plantas de tratamientos	MPPA, Alcaldía de Montes, GNB.

soluciones ir acompañadas necesariamente de un plan de recuperación integral del sistema río Manzanares o en su defecto, una actualización de proyectos previos, donde están sentadas las bases para desarrollar este propósito.

Los hechos actuales demuestran que la gran mayoría de las prácticas gubernamentales para el manejo y recuperación del río Manzanares (Senior 2003, Senior et al. 2005, Fermín 2015) no han resul-

tado adecuadas o no han sido asumidas a plenitud por los diferentes sectores, como son los administradores y los usuarios de los recursos hidrobiológicos. Existe una poca conexión entre el sector universitario dedicado a la investigación y las distintas entidades gubernamentales con competencia en lo ambiental, hecho que limita el entendimiento hacia el desarrollo de estrategias conservacionistas en la cuenca del Manzanares.

Un plan de recuperación integral del río Manzanares es necesario y urgente a la vista de la importante degradación ecológica que durante décadas de desarrollismo incontrolado define la situación actual del área. Las posibilidades que se pueden generar con la investigación de los procesos contaminantes, sus efectos y las técnicas de restauración necesarias, pueden ser un factor muy importante para que la cuenca y sus ambientes se conviertan en una referencia nacional para el monitoreo de los recursos hidrobiológicos. Un programa de monitoreo y restauración de hábitats generará beneficios cuantitativos en el corto y mediano plazo y que serán evidentes en la mejora de la calidad del agua (potabilidad o sustrato para la diversidad biológica), productividad (cosechas pesqueras o retención de carbono por reforestación) y calidad de vida (turismo). Estos beneficios serán extendidos a los habitantes de las riberas, desde las cuencas altas hasta las ciudades en el tramo final del río Manzanares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al editor por brindarnos la oportunidad de contribuir con la divulgación del conocimiento sobre uno de los principales ríos del oriente de Venezuela. Así mismo agradecemos a la Universidad de Oriente, al Instituto Oceanográfico de Venezuela y los investigadores, estudiantes y técnicos que desarrollaron el proyecto de Diagnóstico Ambiental y Participación Comunitaria para el Control de la Contaminación del Río Manzanares y el Plan de Manejo Integrado de las cabeceras del río Manzanares, de los que derivaron gran parte de los documentos sobre los que se sustenta esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, L. y Carvajal, J. 1976. La ictiofauna del complejo hidrográfico río Manzanares Edo. Sucre. Venezuela. *Laguna*. 37-38: 23-35.
- Alvarado, J. 2000. *Distribución y comportamiento de los hidrocarburos alifáticos en aguas superficiales de la cuenca baja del río Manzanares*. Trabajo de grado para optar al título de Licenciatura en Química. Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Barrios, J., Salazar, S. K. y Senior, W. 2007. Phytobentos and macrophytes of the Manzanares river basin, Sucre state, Venezuela. *Revista Facultad Agronomía (LUZ)*. 24(1): 0422-426.
- Bello J. 2006. *Florística en bosques ribereños del río El Tacal, municipio Sucre, estado Sucre*. Trabajo de Grado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Bono, G. 1996. *Flora y vegetación del estado Táchira-Venezuela*. Monografía XX. Museo Regionale Di Scienze Naturali Torino. Universidad de los Andes. Caracas-Venezuela.
- Carvajal, R. J. 1965. Estudio ecológico de las lagunas litorales vecinas a la ciudad de Cumaná, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 4(2): 266-311.
- Castro-Moreno, A., Contreras-Gaspar, R., Pérez-Gómez, L., Cotoret-Brito, I., Cerillos, M. L., Torres-Arzayus, P., Zamora, R. y Arcia, D. 2017. *Cumaná 500 años: una historia ilustrada*. Editor Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Programa Ciudades Emergentes y Sostenibles. Primera Edición.
- Chung, K. S. 1985. Adaptabilidad de *Oreochromis mossambicus* (Peters) 1852 a los cambios de temperatura. Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 36(2): 180-190.
- Correoso-Rodríguez, M. 2006. Estrategia preliminar para evaluar y erradicar *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinaceae) en Ecuador. *Boletín Técnico 6. Serie Zoológica* (2): 45-52.
- Cumana, L. 2008. Plantas Vasculares del Parque Nacional Mochima, estados Anzoátegui y Sucre, Venezuela. *Ernstia*, 18(2): 107-164.
- Cumana, L., Sanabria, M., Leopardi, C y Guevara, Y. 2010. Plantas vasculares de los manglares del estado sucre, Venezuela. *Acta Botánica Venezolana*. 33(2): 273-298.
- Davant, P. 1973. *Clave para la identificación de los camarones marinos y de río*. Cuadernos Oceanográficos N° 1. Instituto Oceanográfico. Universidad de Oriente.
- De Grado, A.; Bashirullah, A. y Prieto, A. 2000. Variación espacio temporal de la comunidad de peces en Laguna Grande de Obispo, Golfo de Cariaco, Venezuela. *Acta Científica de Venezuela*. 51: 96-103.
- Fernández, E. 1971. Algunos aspectos sobre la contaminación del río Manzanares por desechos industriales. *IX Reunión de Lab. Mar. Ins. Del Caribe Cumaná*. Resumen.
- Fernández, E. 1973. Algunas observaciones sobre la contaminación de las aguas costeras en la ciudad de Cumaná-Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 12(1): 23-32.
- Fernández, E. 1984. Contaminación de los ríos Guasdua y Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 23(1&2): 20-24.
- Fermin, I. 2015. *Evaluación ambiental del río Manzanares y su interacción con la zona costera de Cumaná, estado Sucre, Venezuela*. Tesis Doctorado en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente.
- Fraga, R. 2011. Family Icteridae (New World Blackbirds). (pp. 684-809). En: Hoyo, J., Elliott, A. y Christie, D.A. (Eds). *Handbook of the birds of the world*. Volume 16: Tanagers to New World blackbirds. Lynx Edicions, Barcelona, Spain.
- Fuentes, M. A., Senior, W., Fermín I. y Troccoli, L. 2008. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del río Manzanares, estado sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 47(2): 149-158.
- Fuentes, Y. J. 2008. *Calidad bacteriológica del agua de la cuenca alta y media del río Manzanares, estado Sucre, Venezuela*. Tesis de Grado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente. Núcleo de Sucre.
- García, M., Álvarez, M. y Prieto, A. 2000. *Diversidad de la herpetofauna en la cuenca media del Río Manzanares, Estado*

- Sucre, Venezuela. I Congreso Venezolano de Diversidad Biológica. 5 al 8 de Mayo de 2010. Maracay. Aragua.
- García, P., M. 2006. *Aspectos reproductivos y poblacionales del camarón (Macrobrachium carcinus) (Linnaeus, 1758) (Decápoda, Palaemonidae) en el río Morocoto, municipio Benítez, estado Sucre*. Trabajo Especial de Pregrado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná.
- Gaspar, Y. C. 2008. *Diversidad íctica de la zona costera influenciada por el río manzanares, golfo de Cariaco, Venezuela*. Trabajo de Grado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Godoy, G. 1991. *Estudio espacio-temporal de los parámetros fisicoquímicos y biológicos en la zona estuarina del río Manzanares (Cumaná-Venezuela)*. Trabajo de Grado. MSc. Ciencias Marinas, Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Graziani, C., Moreno, C., Villarroel, E., Orta, T., Lodeiros, C. y De Donato, M. 2003. Hybridization between the freshwater shrimp *Macrobrachium rosenbergii* (De Man) and *M. carcinus* (L.). *Aquaculture*. 217(1-4): 81-91.
- Gutiérrez, A. 2004. *Evolución fisicoquímica y microbiológica de las aguas superficiales de la cuenca alta, media y baja del río Manzanares, durante el período mayo 2002-junio 2003*. Trabajo de Grado de MSc. en Ciencias Marinas. Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente, Cumaná.
- Gutiérrez, F. P., Lasso, C. A., Baptiste, M. P., Sánchez-Duarte, P. y Díaz, A. M. (Eds). 2012. *VI. Catálogo de la biodiversidad acuática exótica y trasplantada en Colombia: moluscos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de investigación de los Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Gutiérrez, J. y Rivero, L. 2000. *Clasificación de las aguas superficiales del río Manzanares, tramo Cumanacoa-Cumaná*. Trabajo de Grado. TSU Química Aplicada, Instituto Universitario de Tecnología, Cumaná, Venezuela.
- Hannan-Jones, M. A. y Playford, J. 2002. Biology of Australian Weeds. 40. *Bryophyllum* Salisb. Species. *Plant Protection Quarterly*. 17(2): 42-57.
- Hernández Cova, G. J, Cova Morales, M. y Prieto Arcas, A. S. 2017. Programa de capacitación para el control de *Achatina fulica* (Gastropoda: Achatinaceae) en la comunidad de Guatacaral, Parroquia San Juan, estado Sucre, Venezuela. *Revista Electrónica Conocimiento Libre y Licenciamento (CLIC)*. 2244-7423.
- Hokche, O., Berry, P. y Huber, O. 2008. *Nuevo catálogo de la flora vascular de Venezuela*. Fundación Instituto Botánico de Venezuela Dr. Tobías Lasser, Caracas Venezuela.
- INE. 2011. *Informe de gestión ambiental del estado Sucre*. Instituto Nacional de Estadísticas.
- Klackenberg, J. 2001. Revision of the genus *Cryptostegia* R. Br. (Apocynaceae, Periplocoideae). *Adansonia*. 23(2): 205-218.
- Lárez López, C. y Alfonsi Rojas C. Y. 2011. Genotoxicidad en células sanguíneas de *Ancistrus brevifilis* (Eigemann, 1920); (Siluriformes, Loricariidae) bajo condiciones controladas y en dos localidades del río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 53(1): 65-77.
- Lasso, C. A., Lew, D., Taphorn, D., Do Nascimento, C., Lasso-Alcalá, O., Provenzano, F. y Machado-Allison, A. 2004. Biodiversidad ictiológica continental de Venezuela. Parte I. Lista de especies y distribución por cuencas. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 159-160: 105-195.
- Lasso, C. A., Provenzano, F., Lasso-Alcalá, O. M., Marcano, A. 2010. Ictiofauna dulceacuícola y estuarina de la cuenca del golfo de Paria, Venezuela: composición y relaciones biogeográficas con la cuenca del Orinoco. *Biota Colombiana*. 11(1-2): 53-73.
- Lasso, C. y Machado-Allison, A. 2000. *Sinopsis de las especies de peces de la familia Cichlidae presentes en la cuenca del río Orinoco*. CONICIT, Caracas.
- León, I.; Senior, W. y Martínez, G. 1997 Comportamiento del hierro, cromo, cadmio y plomo total en las aguas superficiales del río Manzanares. Venezuela, durante el año 1994. *Caribbean Journal of Science*. 33(1): 105-107.
- Linares, O. 1998. *Mamíferos de Venezuela*. Sociedad conservación Audubon. Caracas.
- Llamozas, S., Rodrigo, D., Meier, W., Rüina, R., Stauffer, F., Aymard, G., Huber, O. y Ortiz, R. 2003. *Flora venezolana en peligro de extinción*. Provita, Fundación Polar, Fundación Instituto Botánico de Venezuela. “Dr. Tobías Lasser”, Conservación Internacional. Caracas.
- Machado-Allison, A. y Moreno, H. 1993. Estudios sobre la comunidad de peces del río Orituco, estado Guárico, Venezuela. Parte I. Inventario, Abundancia relativa y diversidad. *Acta Biológica Venezolana*. 14(3): 21-32.
- Mago Leccia, F. 1970. *Lista de los peces de Venezuela incluyendo un estudio preliminar de la ictiogeografía del país*. Ministerio de Agricultura y Cría. Caracas, Venezuela.
- Marín-Espinoza, G., Carvajal-Moreno, Y. y Quilisque-Quijada, E. 2012. Composición estacional de la avifauna en fragmentos de bosque de galería basimontano de la cuenca media del río Manzanares, estado Sucre, Venezuela. *The Biologist*. 9(2): 193-212.
- MARNR. 1983. *Cuenca del Río Manzanares: Regionalización de la precipitación máxima de corta duración y generación de series de caudales*. Informe técnico DGSIIA/IT/126. Caracas, Venezuela.
- Marohasy, J. y Forster, P. I. 1991. A taxonomic revision of *Cryptostegia* R. Br. (Asclepiadaceae: Periplocoideae). *Australian Systematic Botany*. 4: 571-577.
- Márquez, A., Senior, W. y Martínez, G. 2000. Concentraciones y comportamiento de metales pesados en una zona estuarina de Venezuela. *Interciencia*. 25(6): 284-29
- Márquez, A., Senior, W., Martínez, G. y Castañeda, J. 2002. Environmental conditions of the waters of the Manzanares River, Cumana-Sucre, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 41(1&2): 15-24.
- Martínez, G., Senior, W., & Márquez, A. 2006. Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y la pluma del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Ciencias Marinas*. 32(2): 239-257.
- Medina, L., Castañeda, J., Fermín, I., Pérez-Castresana, G. y López-Monroy, F. 2013. Variación espacio-temporal

- del caudal y el transporte de nutrientes en el río Manzanares. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 52(2): 67-75.
- Meneses, M. 2000. *Modificaciones geomorfológicas ocurridas en la línea de costa El Peñón-punta Baja (Cumaná, estado Sucre) por la construcción del río Manzanares, período 1948-1996*. Instituto Pedagógico de Caracas. Universidad Pedagógica Experimental Libertador.
- Mora, L., Martínez, I., Figuera, L., Segura, M. y Guilarte D. V. 2010. Protozoarios en aguas superficiales y muestras fecales de individuos de poblaciones rurales del municipio Montes, estado Sucre, Venezuela. *Investigación Clínica*. 51(4): 457-466.
- Moreno, C. A., Graziani, C. A., Barrios, A. J., Villarroel, E. J. y Marcano, N. J. 2012. Estructura poblacional del camarón exótico *Macrobrachium rosenbergii* de Man, 1879 (Crustacea: Palaemonidae) en el río Morocoto, estado Sucre, Venezuela. *Zootecnia Tropical*. 30(3): 237-250.
- Naranjo-García, E. y Olivera-Carrasco, M. T. 2014. Moluscos dulceacuícolas introducidos e invasores (pp. 337-345) En: Mendoza, R. y Koleff, P. (Eds.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Pereira, G. y Pereira, M. E. 1982. El camarón gigante de nuestros ríos (*Macrobrachium carcinus*). *Natura* 72: 22-24.
- Pérez, J. E., Alfonsi C., Salazar S. K., Macsotay O., Barrios J. y Martínez Escarbasierre, R. 2007. Especies marinas exóticas y criptogénicas en las costas de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 46(1): 79-96.
- Pérez, J. E.; Salazar, S. K.; Alfonsi, C. y Ruiz, L. 2003. Ictiofauna del Río Manzanares: a cuatro décadas de la introducción de la tilapia negra *Oreochromis mossambicus* (Pisces: Cichlidae). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela, Universidad de Oriente*. 42 (1&2): 29-35.
- Pointier, J. P., Incani, R. N. Balzan, C. Chrosiecowski P. y Prypchan, S. 1994. Invasion of the rivers of the littoral central region of Venezuela by *Thiara granifera* and *Melanoides tuberculata* (Mollusca: Prosobranchia: Thiariidae) and the absence of *Biomphalaria glabrata*, snail host of *Schistosoma mansoni*. *Nautilus*. 107: 124-128.
- Pointier, J. P., Samadi, S., Jarne, P. y Delay, B. 1998. Introduction and spread of *Thiara granifera* (Lamarck, 1822) in Martinique, French West Indies. *Biodiversity and Conservation*. 7: 1277-1290.
- Rangel Ruiz, L. J., Gamboa Aguilar, J., García Morales, M. y Ortiz Lezama, O. M. 2011. *Tarebia Granifera* (Lamarck, 1822) en la región hidrológica Grijalva-Usumacinta En Tabasco, México. *Acta Zoológica Mexicana*. 27(1): 103-114.
- Reverón, G. 2016. *Florística de los bosques secos de los municipios Bolívar y Sucre, estado Sucre, Venezuela*. Trabajo de Pregrado. Escuela de Ciencias. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Rodríguez, G. 1980. *Los Crustáceos Decápodos de Venezuela*. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas.
- Rodríguez, J. P., Rojas-Suárez, F. y Giraldo-Hernández, D. 2010. *Libro rojo de los ecosistemas terrestres de Venezuela*. Provita. Shell Venezuela. Lenovo (Venezuela). Caracas.
- Rodríguez-Olarte, D. Taphorn, D. C. y Lobón-Cerviá, J. 2011. Do protected areas conserve neotropical freshwater fishes? A case study of a biogeographic province in Venezuela. *Animal Biodiversity ad Conservation*. 34.2: 273-285.
- Royero, R. y Lasso, C. 1992. Distribución actual de la mojarra de río, *Caquetaia kraussii*, (Steindachner, 1878) (Perciformes, Cichlidae) en Venezuela: un ejemplo del problema de la introducción de especies. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales La Salle* 52(138): 163-180.
- Ruiz, L., Salazar S. K., Pérez J. & Alfonsi C. 2005. Diversidad íctica del sistema hidrográfico Río Manzanares, Estado sucre, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 39(2): 91-107.
- Salazar, S. K., Ruiz, L. J. y Gómez, B. 2007. Primer reporte de *Crenicichla geayi* Pellegrini, 1903 para la ictiofauna del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*. 41(1): 123-126.
- Seijas, A. E., Barros, T. y Babarro, R. 2015. Caimán de la Costa, *Crocodylus acutus*. En: J. P. Rodríguez, García-Rawlins A., y Rojas-Suárez, F. (eds.) Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Cuarta edición. Provita y Fundación Empresas Polar, Caracas, Venezuela.
- Senior, W. y Godoy, G. 1991. Estudio de los parámetros físico-químicos del Río Manzanares (Cumaná, Venezuela). *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela* 29 (1 y 2): 107-111.
- Senior, W. 2000. *Comportamiento de los elementos nutritivos, materia orgánica, organismos coliformes y metales pesados en la cuenca baja y pluma del río Manzanares, Cumaná, Venezuela*. Universidad de Oriente. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Departamento de Oceanografía. Informe final CI-5-1801-0692/94-95.
- Senior, W. 2003. *Plan de recuperación integral del río Manzanares y su entorno*. Informe. Departamento de Oceanografía. Instituto Oceanográfico de Venezuela. Universidad de Oriente.
- Senior, W. Fermín, I. y López, F. 2005. Principales fuentes de contaminación del río Manzanares. *Boletín de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales*. LXV (1-4): 19-24.
- Senior, W., Fermín, I. y Mata, F. 2004. *Diagnóstico ambiental y participación comunitaria para el Control de la Contaminación del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela*. Informe Fundación Río Manzanares.
- Sharpe, C, Miranda J. y León, J. G. 2017. Lista oficial de las aves de Venezuela por estados: Sucre. Versión Octubre 2017. http://uvo.ciens.ucv.v/?page_id=3035.
- Strewe, R., Villa-De León, C., Lobatón, G., Morales, A. y Ayerbe F. 2006. Ampliación del rango de distribución del chango llanero *Quiscalus lugubris* (Icteridae) en Colombia. *Revista Intrópica*. 3: 109-112.



Sección II

Valor de patrimonio y eventos transversales

El río Yaracuy atraviesa -con su carga de impurezas- el último relicto de bosque, justo antes de llegar al mar...

HOYA DEL LAGO DE VALENCIA.

Los valles de Aragua son un recinto circular formado por montañas de diferentes alturas. Al norte los cerros de la cadena de la costa los separan del mar: la cordillera meridional por el lado opuesto parte sus límites con las grandes llanuras; y varios grupos de colinas bastante elevadas para determinar el curso de las aguas, los cierran luida el este y oeste como diques trasversales: por consecuencia de esta extraordinaria configuración del terreno, los riachuelos de los valles de Aragua forman un sistema particular, dirigiendo sus corrientes hacia una hondonada cerrada por todas partes; y no hallando sus aguas ninguna salida, se reúnen en un lago interior. Sometidas allí a la poderosa influencia de la evaporación, se pierden, por decirlo así, en la atmósfera. Está este lago a 516 varas sobre el nivel del mar, tiene su perímetro 25 leguas y ocupa una superficie de 22 l. c. Tiene también 22 islas, de las cuales algunas son meros peñascos, y de 22 riachuelos que le caen el más considerable es el de Aragua. El área de los terrenos de las provincias de Carabobo y Caracas, que por su configuración desaguan en el estanque natural de Valencia, es de 86 leguas cuadradas, que unidas a las 22 de la superficie del lago, dan a toda la hoya 108, sobre las cuales caen anualmente 72 pulgadas de agua.

Agustín Codazzi. Resumen de la geografía de Venezuela, 1841
(vocablos actualizados, excepto los nombres geográficos)

Las plumas fluviales en la vertiente Caribe de Venezuela

José Antonio MONENTE

Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Maripérez, Caracas. Venezuela
jose.monente@fundacionlasalle.org.ve

Las características estructurales de la costa venezolana al Caribe limitan la presencia de cursos de agua de gran caudal y, por lo tanto, la posibilidad de formar plumas de materia en suspensión y clorofila *a* (Cl-*a*) que se internen en el Mar Caribe; aunado a ello, el viento y las olas mantienen las plumas cercanas a la costa y sólo ocasionalmente los ríos logran vencer esta resistencia y penetran en el mar más allá de las zonas costeras, aunque se diluyen rápidamente. La excepción la constituye el Sistema Maracaibo cuya pluma recorre el Golfo de Venezuela y penetra ligeramente en el Caribe. La materia en suspensión que transportan estos ríos permanece junto a la costa resuspendida por las olas, disminuye la penetración de la luz solar y, por ello, la utilización de los nutrientes es muy pobre y la fertilización que pudieran generar, expresada como producción secundaria, es muy pequeña. La contribución más importante de los ríos de Venezuela al Mar Caribe se relaciona con la dinámica sedimentaria y los procesos geomorfológicos que ocurren a lo largo de toda la costa, como la formación de llanuras y lagunas costeras, principalmente. Los ríos de la Fachada Caribe venezolana recibieron y siguen recibiendo el mayor impacto antrópico de toda Venezuela.

Palabras claves: Plumas fluviales, sólidos y Cl-*a*, vertiente Caribe. Venezuela.

1. INTRODUCCIÓN

La Fachada Caribe venezolana es rica en cursos de agua pero la mayoría con poco caudal. Todos esos ríos poseen, a pesar de sus diferencias físicas (caudal, tamaño de su cuenca o recorrido), características comunes: atraviesan las zonas más pobladas del país, están altamente intervenidos y comparten lo que pareciera ser una creencia ampliamente aceptada: son los receptores universales de cuanto desecho se genera en los centros poblados. Como consecuencia, se convierten en los transportadores hacia el mar de sólidos, de aguas negras y de líquidos de origen urbano, agrícola e industrial cargados de nutrientes, materia orgánica, contaminantes, metales y materiales en suspensión. Al final de su recorrido llegan al mar donde depositan su carga líquida y sólida que, dependiendo del caudal y de factores oceánicos locales, se internan más o menos en el Caribe en forma de plumas fluviales. Todos generan una banda de agua cargada de sedimentos que recorre toda la costa venezolana.

La pluma que forma cada río en el Caribe muestra la realidad que predomina en su cuenca. Dos manifestaciones identifican y, al mismo tiempo, los diferencian. Por un lado, todos ellos han formado planicies aluviales producto de la erosión natural de sus cuencas, la alteración de sus cauces y el grado de perturbación experimentada y, por otro, la acumulación de residuos sólidos no degradables de origen antrópico, plásticos principalmente, depositados a lo largo de la costa. El río Tuy es un claro ejemplo de la acumulación de desechos sólidos.

Las aguas de los ríos y su carga de materiales de origen continental, natural y antrópico, y que la pluma fluvial pone en contacto con el agua marina, da origen a una serie de procesos físicos, geoquímicos y biológicos manifestados casi siempre en forma de enriquecimiento de masas de agua marina. En algunos casos, la carga de contaminantes supera a la capacidad local de reciclaje y se observa la degradación del espacio receptor (ej. Lago de Maracaibo).

A lo largo de la costa venezolana se observan zonas en las que las aguas marinas profundas ascienden a la superficie (áreas de afloramiento) que mezcladas con las continentales, dan origen a una nueva pluma y se convierten en áreas de gran relevancia para los procesos biológicos. La mayor parte de esa influencia es local y sólo ocasionalmente se observa a gran distancia de la desembocadura como ocurre con el río Orinoco. En este capítulo se hace una revisión sobre las plumas fluviales al Mar Caribe de Venezuela, incluyendo sus principales características sobre su origen y efectos en el litoral costero.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Las cadenas montañosas que recorren la costa caribeña venezolana limitan la presencia de cursos de agua de gran desarrollo. El extremo occidental lo ocupa el Sistema Maracaibo; le sigue una larga cadena montañosa de tipo alpino hasta alcanzar el extremo oriental de Venezuela y que es interrumpida por pequeños o muy pequeños valles, llanuras litorales y lagunas costeras. El Surco de Barquisimeto separa los sistemas Maracaibo y Coriano de la Cordillera de la Costa que está dividida, a su vez, en dos zonas bien diferenciadas por la Depresión de Unare (MARNR 1990).

El Sistema Maracaibo ocupa la depresión formada entre los dos ramales en que se divide la Cordillera Oriental de los Andes en su extremo septentrional: la Cordillera de Mérida, al este, y la Sierra de Perijá, al oeste. Este sistema del Lago de Maracaibo está constituido por el Estrecho de Maracaibo y la Bahía de El Tablazo, el cual recibe aportes de varios ríos de caudal mediano y un número mayor con poco o muy poco caudal. Las aguas del lago, después de atravesar el estrecho y la bahía, recorren el Golfo de Venezuela y llegan hasta el Caribe. De este conjunto también forma parte marginal el Golfete de Coro.

Hacia el este continental se encuentra el Sistema Coriano, una zona de transición entre los Andes y la Cordillera de la Costa; su formación se relaciona con los movimientos orogénicos andinos y está ocupado por sistemas montañosos menores con colinas y valles. El piedemonte se acerca a la costa y los sedimentos y aguas de escorrentía de los principales ríos de la zona (Hueque, Tocuyo, Aroa y Yaracuy) han formado planicies costeras de relieves y pendientes muy bajas, ciénagas y pantanos (González de Juana et al. 1980). A partir del Golfo Triste comienza la Cordillera de la Costa, que se prolonga hasta el extremo más oriental de Venezuela a través de dos formaciones: la Cordillera de la Costa, una cadena montañosa del Litoral Central y la Cordillera del Interior. (Figura 1).

La Cordillera de la Costa llega hasta el Cabo Codera y presenta un trazado casi rectilíneo asociado a la costa. Es una vertiente profusa en ríos pero éstos son típicamente de cursos cortos y bajos caudales (ej. Morón, Sanchón, Cuyagua, Chirimena, etc.) o de régimen eventual. El resto son torrentes de montaña de caudal mínimo que sólo transportan volúmenes importantes de agua y materiales sólidos cuando ocurren lluvias excepcionales. Estos pequeños ríos han construido conos de deyección que deforman ligeramente la línea de costa y, cada cierto tiempo, ocasionan desastres naturales notorios.

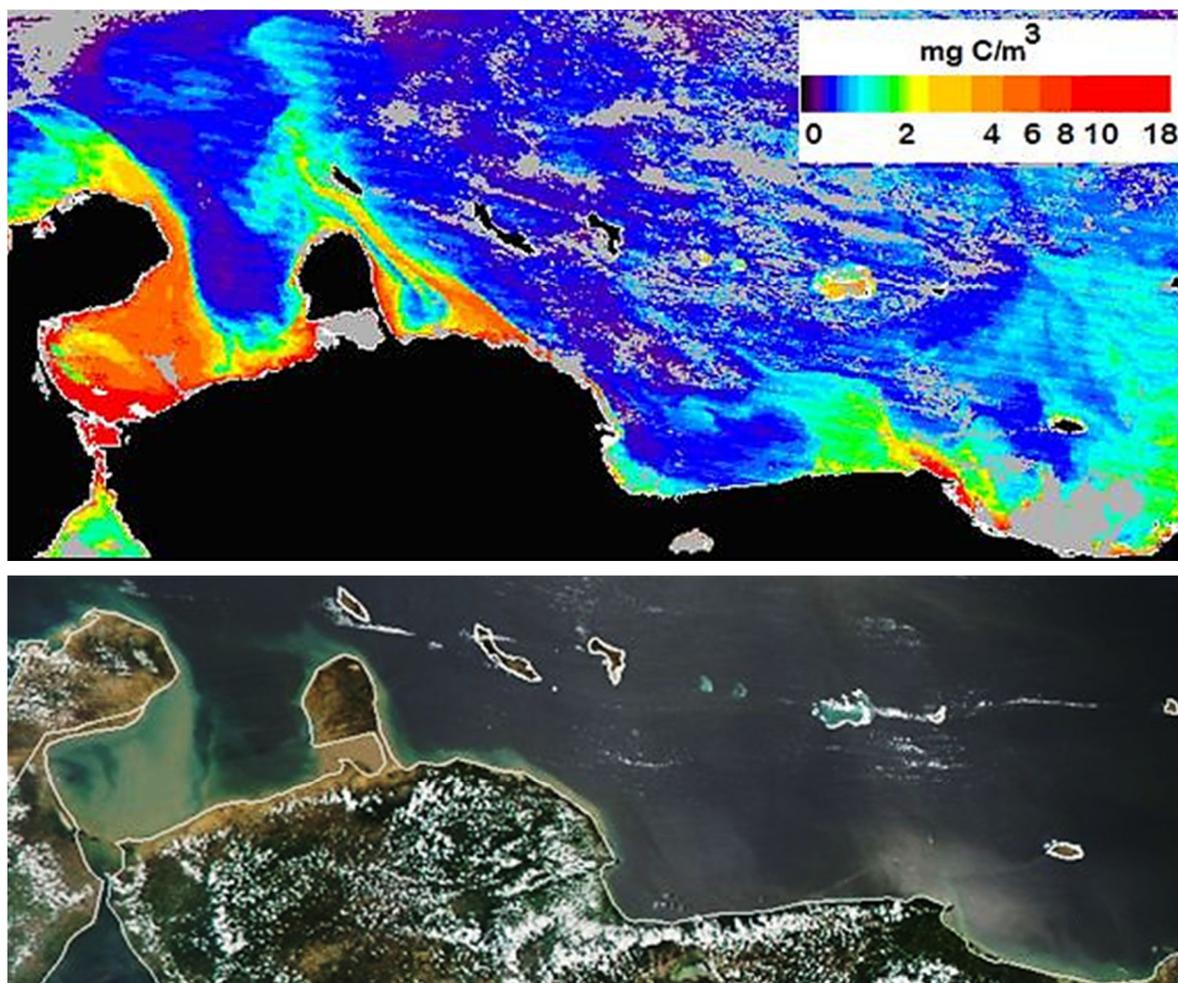


Figura 1. Costa Caribe de Venezuela: plumas de Cl-a y sólidos suspendidos. a) Plumas de clorofila-a 05 de enero de 2017 (MODIS Aqua Level 3 Global Daily Mapped 4 km Chlorophyll a), b) Plumas de sólidos 06 de abril de 2017- (Escena derivada de MODIS Aqua en combinación de bandas 1, 4 y 3).

La Cordillera del Interior está formada por dos tramos de características muy diferentes separados por la Depresión de Unare. A partir del Cabo Codera el sistema montañoso se alejó de la costa y generó un espacio que fue rellenado con los aportes de los ríos de la zona: Tuy, Río Chico, Guapo y Unare, principalmente. Son comunes las lagunas costeras de tamaño variado: las de mayor tamaño son las de Tacarigua, Unare y Píritu. Las costas son bajas y la plataforma continental tiene poco desarrollo (Fosa de Cariaco). El segundo tramo, muy diferente al anterior, lo ocupan inicialmente dos pequeñas llanuras litorales formadas por los aportes de los ríos Neverí y Manzanares. Continúa con la cuenca de Cariaco y a partir del Morro de Chacopata la cadena montañosa se acerca nuevamente a la costa y alcanza el extremo de la Península de Paria; desaparecen los ríos grandes y sólo se observan pequeñas torrenteras

de montaña de curso muy corto. Las plumas formadas en esta costa tienen poco desarrollo y las aguas que las forman se originan a partir de los aportes de los ríos del sistema y del afloramiento de aguas profundas que se mezclan y sus efectos se solapan. El espacio dedicado en el presente trabajo a cada uno de los tramos se relaciona con el tamaño de las plumas que generan. (Figura 1).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración de este capítulo se ha realizado procesando información de diversas fuentes: imágenes de satélite, informes y archivos de EDIMAR de la Fundación La Salle y publicaciones sobre la zona en fuentes impresas. Los satélites (AVHRR, CZCS, SeaWiFS, MODIS o Landsat) generan data digital que debidamente procesada se convierte en imágenes cuya ventaja principal es que ofrece información a

escala local, regional y global. Estas imágenes son de gran ayuda en el estudio de procesos costeros, especialmente aquellos que muestran gran variabilidad en lapsos cortos de tiempo. Es por ello que su empleo en este trabajo es muy importante dada la estacionalidad de los procesos atmosféricos (lluvia y viento) y oceánicos (corrientes, olas y mareas) que se complementan para dar forma a las plumas fluviales y a cómo se mueven en el mar. Si bien la información que reportan los satélites corresponde solamente a la capa más superficial del mar y las nubes limitan frecuentemente la visión clara, su empleo ha resultado en avances notables para la comprensión de varios fenómenos oceánicos.

Las imágenes a color natural (RGB: Red, Green, Blue), aunque parecen fotografías, son en realidad una combinación de las bandas roja, verde y azul del MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) que llevan los satélites Terra y Aqua de la NASA. Las imágenes AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) son generadas en los satélites NOAA12 y NOAA 14, y fueron producidas y procesadas por el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI) de la Universidad Simón Bolívar y facilitadas por Edimar; las de Clorofila *a* (Cl-*a*) por el Instituto de Investigaciones Marinas (IMARS) de la Universidad del Sur de Florida. La concentración de Cl-*a* se utiliza para estimación indirecta de la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas, pero también es indicadora del grado de contaminación y eutrofización de los ecosistemas acuáticos (Pinto et al. 2001, Gregor y Marsálek 2004). El capítulo se ha dividido en cinco partes: Sistema Maracaibo, Sistema Coriano, Litoral Central, Planicie Miranda-Anzoátegui y Zona Oriental. Esta división se justifica con las diferencias geográficas y características propias de cada una de ellas, claramente identificables, y que, además, facilita su análisis y comprensión.

4. RESULTADOS

4.1. El Sistema Maracaibo

Descripción del área. El Sistema Maracaibo ocupa el extremo occidental de Venezuela. El Lago de Maracaibo es el gran colector y, al mismo tiempo, exportador hacia el Caribe de los materiales sólidos y los compuestos químicos tanto de origen natural como antropogénico que se generan en toda la región. En su avance hacia el norte las aguas del lago atraviesan el Estrecho de Maracaibo y la Bahía del Tablazo, ingresan al Golfo de Venezuela y llegan finalmente al Caribe. (Figura 1).

Se estima que el Lago de Maracaibo y la Ensenada de Calabozo eran dos lagos incomuni-

cados y separados ambos del mar abierto durante los periodos glaciales, cuando el nivel marino estaba más bajo (Graf 1972, Rodríguez 1973). Estos ambientes comenzaron a comunicarse durante la última transgresión en los inicios del Holoceno (Sarmiento y Kirby 1962) y con ello comenzó la transferencia de agua y sedimentos finos del Sistema Maracaibo al golfo; una parte formó las islas y barras que los separaron; la otra se depositó en la Ensenada de Calabozo; así, las aguas llegaron al Caribe. Este proceso continúa en la actualidad y los sólidos suspendidos llegan a la parte central del Golfo de Venezuela. En cambio, sus arenas -que son de origen terrestre- siguen distribuyéndose en las costas de la Ensenada de Calabozo y en la costa oriental del golfo, mientras que al norte los fragmentos de conchas predominan en los fondos de las aguas más profundas (Ginés 1982).

La línea de costa de la Ensenada de Calabozo está evolucionando de laguna costera a pantano (Lara de González et al. 1997); se trata de un plano costanero constituido por sedimentos fluviales y paludales del Holoceno parcialmente cubiertos por playas y dunas. La costa oriental del Golfo presenta dos zonas claramente diferenciadas: en la mitad sur se encuentran sedimentos transicionales, principalmente clásticos del Holoceno (Saavedra 1973), mientras que al norte la costa occidental de la Península de Paraguaná es más accidentada que las demás del Golfo, con salientes rocosos, playuelas arenosas y pequeñas ensenadas. Entre ambas zonas el Golfete de Coro conforma la parte más o menos cerrada de esta plataforma. Sus fondos son muy bajos y arenosos y está separado de la Plataforma de La Vela, al este de la Península de Paraguaná, por una barra de arenas de playa que se desarrolló durante el Holoceno (Zeigler 1964).

El río Mitare aporta un volumen importante de sedimentos; gran parte de ellos se distribuye por el Golfete y el resto ingresa al golfo y, junto al aportado por los ríos Codore, Zazárida, Capatárida y Borojó, derivan hacia el sur unidos a la corriente litoral que recorre parte de la costa oriental del Golfo (Lara de González et al. 1997).

Las mareas juegan un papel esencial en el movimiento general de las masas de agua dentro del Golfo de Venezuela (Molinés et al. 1989) y por lo tanto en el desarrollo de la pluma que lo recorre e ingresa al Caribe. Las diferencias en la amplitud de la marea son notables y favorecen la circulación. Por ejemplo, en Isla Zápala la amplitud de la marea es hasta cuatro veces mayor que en Amuay (Ávila et al. 1980). Los fuertes vientos alisios del NE que empujan el agua hacia el SO y la menor densidad del

agua que ocupa la Ensenada de Calabozo como consecuencia de la presencia de aguas salobres procedentes del Sistema Maracaibo explican esa diferencia (Redfield 1955).

La realización de obras de ingeniería vinculadas con la industria petrolera ha acelerado procesos que en el pasado tenían una evolución muy lenta. Son notorias la salinización del lago que en la actualidad tiene un incremento sostenido y la permanente remoción de sólidos suspendidos. La apertura de un canal de navegación (1953-1954) y su posterior profundización (1957-1960) para facilitar el acceso a grandes buques petroleros ha abierto una vía de ingreso permanente de agua salada al lago; además, el mantenimiento del canal remueve y resuspende sedimentos que terminan ingresando al Golfo de Venezuela. El intercambio permanente de agua y materiales sólidos con el golfo da origen a una pluma que lo recorre, llega al Caribe y se dirige, finalmente, hacia el oeste. Las precipitaciones presentan un régimen bimodal: 7-9 meses húmedos y de 3-5 meses secos, con dos máximos ubicados, el primero en los meses de abril-mayo y el segundo en los meses de octubre-noviembre; los mínimos se observan en julio-agosto y entre enero y marzo, (INAMEH 2017). Numerosos ríos de caudal muy variado desembocan directamente en el Lago de Maracaibo, destacando el Chama, Catatumbo y Escalante; por el norte lo hace el río Limón. Casi todos ellos han formado humedales y llanuras aluviales.

El incremento extraordinario de las actividades antrópicas en la cuenca (petroleras, industriales y agrícolas), así como la deforestación y la alteración de la calidad del agua y el hábitat fluvial en los cauces y el lago, unidas al aumento importante de la población humana y a los desarrollos habitacionales, han incrementado la llegada de nutrientes (aguas servidas), hidrocarburos (derrames, ruptura de tuberías, etc.) y otros contaminantes (agroquímicos y desechos industriales). La concentración de metales también ha aumentado de manera importante hacia las desembocaduras de los tributarios de la zona sur del lago y, de manera puntual, en la zona norte relacionadas con actividades industriales (Ávila et al. 2014), así como la derivada de la minería a cielo abierto que el río El Limón transporta hasta el mar. Las características ambientales del Lago de Maracaibo han evolucionado a lo largo del tiempo, donde la productividad primaria y la concentración de fósforo siempre fueron altas, pues los ríos que drenan en él atraviesan zonas donde abundan las rocas fosfáticas, el agua era salobre y ya se habían identificado zonas anaeróbicas (Rodríguez 2001); además, el nitrógeno era deficiente y se comportaba

como factor limitante a la productividad primaria (Parra Pardi 1979) y la presencia natural de hidrocarburos era controlada por las bacterias que los metabolizaban y mantenían sus concentraciones en niveles bajos.

En la costa occidental del lago se han observado profundos y variados efectos sobre la integridad ecológica de estos ecosistemas fluviales, particularmente en las zonas de las cuencas medias y bajas de los ríos, aunque más recientemente también se están interviniendo las cuencas altas (Rincón 2017). Situación similar se observa en los tributarios andinos de la costa oriental del lago. El Chama es uno de los ríos que más contribuye a la eutrofización del lago de Maracaibo (Segnini y Chacón 2017). Como consecuencia, las condiciones de una cuenca anaeróbica natural están adquiriendo, en ciertas zonas del lago, circunstancias extremas pues al aumentar de manera notoria la concentración de nutrientes, han aumentado en la misma proporción los productores primarios que se hacen presentes en forma de verdín (cianobacterias) que agotan el oxígeno (Figura 2). En general, el estado ecológico de la mayoría de los ríos



Figura 2. Proliferación de verdín en el Lago de Maracaibo. 1 de enero de 2011(Escena derivada de MODIS Aqua en combinación de bandas 1, 4 y 3).

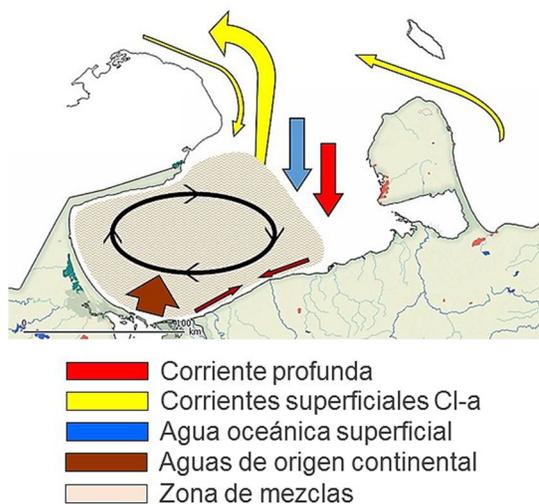


Figura 3. Formación de la pluma de Cl-a en el Golfo de Venezuela según las corrientes profundas y superficiales.

de la cuenca es muy pobre (Segnini y Chacón 2017) y ya se han observado especies que presentan concentraciones de metales peligrosas para la salud (Marín et al. 2014). A pesar de ello, la biota de vastas zonas del Lago de Maracaibo pareciera conservarse en buenas condiciones (Rodríguez 2001).

Formación de la pluma de sólidos y Clorofila a (Cl-a). La formación de la pluma que recorre el Golfo de Venezuela comienza con el ingreso por el sur de las aguas del Sistema Maracaibo, fuente principal de sólidos suspendidos finos y de diferentes compuestos químicos. En sentido contrario, dos masas de agua oceánica se deslizan norte-sur: una por el fondo que asciende a la superficie en el extremo este y sureste del golfo y otra que lo hace a nivel superficial. Se producen mezclas entre ellas debido a la acción del viento que favorece la formación de un giro anticiclónico (Zeigler 1964). Su característica notoria en esta fase inicial de la pluma es la alta concentración de sólidos suspendidos que disminuye lentamente por sedimentación en la Ensenada de Calabozo y al moverse hacia el norte.

Aunque las imágenes de satélite no muestren claramente la existencia de giros ciclónicos o anticiclónicos en el golfo, la granulometría del fondo en su mitad sur confirmaría esta fase inicial del proceso (Ginés 1982). La pluma así formada toma rumbo norte y abandona el Golfo de Venezuela ligeramente separada de su costa oeste; se interna en el Caribe y se orienta hacia el oeste donde se diluye (Figura 3). En dicha pluma los aportes de los ríos que desembocan en el golfo parecen tener influencia muy escasa y limitada no sólo por su poco caudal y el

tamaño del grano que transportan (arena) como también por los procesos físicos que ocurren en la zona: giro anticiclónico y las corrientes oceánicas y las costeras, ambas de rumbo sur que se convierten en barreras infranqueables para ellos. La dirección de las barras arenosas formadas en las desembocaduras de los ríos de la costa oriental del golfo que siguen la dirección de las corrientes litorales pareciera probar su movimiento hacia el sur a lo largo la costa. (González et al. 1997). Este movimiento hacia el sur se interrumpe al enfrentarse con la corriente que llega procedente del Sistema Maracaibo y se mueve paralela a la costa (Monente 2010). En conclusión, la formación y posterior evolución de la pluma originada al sur del Golfo de Venezuela está gobernada por la topografía, la acción del viento, las corrientes marinas y las mareas.

Las aguas de origen continental (Sistema Maracaibo) y marino (afloramiento) son ricas en nutrientes y, en cambio, la pluma de Cl-a que forman y se interna en el Caribe tiene muy poca influencia (Figura 1). Al comparar las concentraciones de nutrientes o de la producción primaria y secundaria encontradas en esta región con las reportadas en otras ampliamente estudiadas permite concluir que la zona es poco fértil. En primer lugar, las concentraciones tanto de nutrientes como de productividad primaria no están repartidas de manera uniforme entre las distintas partes del golfo; además, la distribución irregular de los sólidos suspendidos así como con la carga de metales trazas y materia orgánica asociados a ellos que llegan al mar transportados por los ríos pudieran ser los responsables de ello. La ausencia de información al respecto limita la posibilidad de confirmar estas anomalías.

Las concentraciones de nutrientes en el Golfo de Venezuela son bajas al compararlas con las encontradas en el oriente venezolano o en zonas de alta productividad (Tabla 1). Los silicatos, aunque son más altos en la Ensenada de Calabozo que en el resto de golfo, son sorprendentemente bajos para aguas de origen continental y disminuyen a medida que la pluma se desplaza hacia el norte. Tanto los nitratos como los fosfatos aumentan sus concentraciones en el centro del golfo como consecuencia de la mezcla entre las aguas procedentes del sur y las marinas llegadas del norte. El aumento en la concentración de nutrientes no guarda relación con la pluma de Cl-a que muestran las imágenes de satélite, pues no sólo tiene poco desarrollo sino que además se adelgaza en su recorrido hacia el norte.

Las mediciones de Cl-a realizadas en el Golfo de Venezuela son muy escasas: Rodríguez y Varela (1987), Martín et al. (2008) y Varela et al. (2010). De

ellas sólo la primera abarca a todo el golfo y comprende, además, cuatro periodos climáticos diferentes a lo largo de tres años. Las otras dos son más limitadas: Martín et al. (2008) presentan únicamente valores puntuales en forma de promedios, valores máximos y mínimos de cuatro áreas ubicadas en la zona noreste del golfo y Varela et al. (2010) estudiaron una pequeña sección del sureste en periodos climáticos contrastados e incluyeron valores tanto superficiales como en la columna de agua. El intervalo en que se mueven las concentraciones mínimas y máximas son muy similares en los dos primeros estudios (0,1 y 5,2 mg/m³ y entre 0,0 y 6,05 mg/m³, respectivamente); en cambio, se observan diferencias importantes con relación a las reportadas por el tercero (0,46 y 2,29 mg/m³ respectivamente) asociadas seguramente a la zona donde se realizó el muestreo.

Las imágenes de satélite (Figura 1a) muestran al sur y el este del Golfo de Venezuela concentraciones altas de Cl-*a* (tonos que varían desde el rojo intenso hasta anaranjado y el amarillo); en el centro, los tonos verdes y azules claros indican concentraciones intermedias; hacia el norte predominan los tonos azul marino que corresponden a valores mínimos de Cl-*a*. Entre ellas se observa la pluma que con rumbo norte circula cercana a la costa oeste del golfo hasta abandonarlo. La superficie que ocupa la pluma varía mensualmente de acuerdo a cómo lo hacen la intensidad de los factores que participan en su formación: los nutrientes, de origen continental o marino, y la intensidad de los vientos responsables de las mezclas observadas tanto a nivel superficial como en la columna de agua aunque esta distribución es la que predomina durante la mayor parte del año y compara muy bien con la que presentan (Rodríguez y Varela 1987). Las diferencias en las concentraciones de Cl-*a* entre las mediciones in situ y las observadas en las imágenes de satélite se deben a que estas últimas no sólo miden la presencia de fitoplancton también la de compuestos de origen inorgánico, materia en suspensión y compuestos orgánicos disueltos con fuerte absorción del azul (Varela et al. 2010).

Existe una relación funcional entre la productividad de las aguas en el litoral marino y los aportes que efectúan los ríos. La información detallada de la magnitud de la biomasa íctica y la distribución del recurso pesquero en el Golfo de Venezuela es escasa. Strømme & Sætersdal (1989) empleando ecointegración y pescas exploratorias encontraron volúmenes muy pequeños de biomasa que representó poco más del 10 % del reportado en el oriente de Venezuela: 155.000 y 1.312.000 toneladas métricas (Tm),

Tabla 1. Concentración (ugrat/l) de nutrientes en el Golfo de Venezuela. Fuente: Archivos de EDIMAR (LS-9 de julio 1966).

Centros poblados	Nitratos	Fosfatos	Silicatos
Ensenada de Calabozo	0,8	0,12	4,8
Centro del golfo	3,2	0,18	3,0
Mitad norte del golfo	2,4	0,15	2,1

respectivamente. Mediciones realizadas a comienzos de los años ochenta del siglo pasado encontraron volúmenes parecidos y, además, que la distribución espacial de la biomasa siguió un patrón similar a la forma cómo se mueven las masas de agua que ingresan al golfo por afloramiento en su mitad norte, y menos a cómo lo hace la pluma de clorofila que lo abandona. (Fundación La Salle 1985).

La existencia de áreas marinas donde las concentraciones en micronutrientes son medias o altas pero que presentan concentraciones bajas de fitoplancton o de biomasa ha sido asociada tanto a la ausencia o insuficiente concentración de alguno de los nutrientes como de metales traza convertidos en factores limitantes para el crecimiento del fitoplancton. Parte importante de los metales que llegan al mar adheridos a los sólidos suspendidos que transportan los ríos proceden de las actividades humanas. En su contacto con el agua marina se inicia el proceso de desorción: al aumentar la salinidad, los metales se separan fácilmente de los sólidos suspendidos (Arrieche 1981).

En el Golfo de Venezuela pudieran estar ocurriendo ambas circunstancias: insuficiente concentración de silicatos y de metales traza, puesto que, por un lado la distribución de silicatos suele ser similar a la de los sólidos suspendidos y éstos experimentan una muy fuerte sedimentación en la Ensenada de Calabozo y con ellos los metales traza que llevan adheridos. Por otro, al sur del golfo la limitada penetración de la luz dificulta la actividad fotosintetizadora del fitoplancton y, luego, hacia el norte, la pérdida de silicatos y de metales traza por sedimentación se convertirían en factores limitantes. Son pocos los estudios realizados en las aguas y sedimentos del golfo relacionados con el contenido de metales. La Tabla 2 presenta algunos, salvo en los muestreos puntuales realizados en el extremo sur oeste de la península de Paraguaná (Acosta et al. 2007, Veltre et al. 2007, Ávila et al. 2010). Los valores encontrados en el Golfo son más bajos que los reportados para la Bahía El Tablazo, Estrecho y el Lago de Maracaibo.

Tabla 2. Concentración de metales pesados (mg/Kg). Referencias (R): 1: Ávila (2010), 2: Veltre et al. (2007).

Sistema	Área	Cu	Pb	Cd	Cr	V	Ni	R
Lago de Maracaibo	Bahía, estrecho y lago	2,31-75,46	17,80-143,90	0,46-7,90	3,98-98,28	1,29-121,20	16,76-177,62	1
Golfo de Venezuela	-	-	-	-	-	0,125-70,48	1,73-71,87	1
Golfo de Venezuela	Área noroccidental	14,5	23,5	6,1	43,5	111,1	45,4	2

En resumen, la pluma que recorre el Golfo de Venezuela comienza en la Ensenada de Calabozo, que recibe en forma directa las aguas del Sistema Maracaibo pero la gran cantidad de materia en suspensión que transporta limita la penetración de la luz solar y, por ello, la posibilidad de que el fitoplancton aproveche los nutrientes que, de por sí presentan concentraciones bajas. En el centro del golfo las aguas procedentes del sur se han desprendido de gran cantidad de sólidos en suspensión y se han mezclado con las oceánicas; las concentraciones de nutrientes aumentan (Tabla 1), salvo los silicatos, y con ello la producción primaria y la secundaria, que se traduce en forma de capturas pesqueras. La pluma formada, que al sur del golfo pareciera ocuparlo en su totalidad, se adelgaza en su recorrido hacia el norte. Finalmente, se interna en el Caribe, se dirige hacia el noroeste donde lentamente se diluye.

4.2 Sistema Coriano

Descripción de área. El Sistema Coriano, ubicado entre la Sierra de San Luis y el Surco de Barquisimeto, combina paisajes montañosos con valles y serranías, zonas semidesérticas y llanuras costeras con humedales y lagunas formadas por la acción conjunta de los aportes de los ríos y del viento, modulados por los procesos oceánicos costeros, olas y mareas, como respuesta a la elevación del nivel del mar. Aunque las intervenciones de origen antrópico son muy importantes, todavía se conservan algunas zonas con poca intervención debido a la existencia de áreas bajo régimen de administración especial (ABRAE).

La Sierra de Siruma, de rumbo norte sur, separa los ríos que desembocan en el Sistema Maracaibo-Golfo de Venezuela de los que lo hacen directamente al Caribe. Orientadas perpendicularmente a esta sierra se ubican pequeños sistemas montañosos de los que proceden los ríos del Sistema Coriano. La Sierra de San Luis ocupa el extremo oeste del sistema, los ríos de su vertiente occidental drenan al

Golfete de Coro (ej. Mitare) o directamente al Golfo de Venezuela (ej. Catapárida); los de la vertiente oriental lo hacen al Caribe a través de dos ríos principales el Ricoa y el Hueque. Este último ha formado una red hidrográfica compuesta por ríos de poco caudal y otros de carácter intermitente. Paralelas a la Sierra de San Luis se encuentra un conjunto de sierras, colinas y valles por los que circulan los otros ríos del Sistema Coriano: el río Tocuyo y parcialmente los ríos Aroa y Yaracuy. De todos ellos, el Tocuyo es el de mayor caudal (28,6 m³/s); éste nace en los páramos andinos y en su avance hacia el mar atraviesa valles intramontanos, recibe el aporte de un gran número de ríos, arroyos y quebradas, muchos de ellos intermitentes, y forma la red hidrográfica de mayor extensión de la región (Rodríguez-Olarte et al. 2007). El Tocuyo desemboca en el Caribe después de haber formado una extensa planicie aluvial. Las cuencas de los ríos Aroa y Yaracuy tienen una conformación similar aunque son de menor extensión y de menor caudal; en su tramo final han construido en forma conjunta una planicie aluvial separada de la del río Tocuyo por el extremo norte de la Serranía de Aroa.

Las precipitaciones son estacionales; en la cuenca del río Hueque el promedio anual es superior a los 770 mm. Los máximos corresponden a los meses de octubre, noviembre y diciembre y los mínimos entre marzo y abril; la evaporación anual promedio es de 1.388,3 mm. (Cartaya et al. 2005). En las otras cuencas, los máximos se observan entre julio y agosto y en diciembre; los volúmenes varían entre 500 y 1.500 mm y la evaporación entre 1.400 y 2.400 mm (Rodríguez-Olarte et al. 2007). Los valores más altos en las precipitaciones corresponden a la parte oriental del sistema siguiendo la línea norte-sur entre la Sierra de San Luis y la de Aroa (PDVSA 1995). Las importantes diferencias regionales en las precipitaciones conllevan, igualmente, a variaciones importantes en la cobertura vegetal. Comparten el espacio amplias zonas desérticas o semidesérticas y

de bosques xerofíticos con selvas nubladas y bosques densos en las montañas y con llanuras costeras y lagunas de manglares. A lo largo de la costa y paralelos a ella se encuentran numerosos arrecifes en diferentes estados de conservación.

Formación de la pluma de sólidos y Cl-a. La pluma que generan los ríos del Sistema Coriano en el Caribe es mínima y sólo se observa entre noviembre y enero y con ocasión de lluvias extraordinarias que generan, además, cambios puntuales en la salinidad superficial, en zonas cercanas a la costa del Golfo de la Vela de Coro (Monente y Astor 1987). El transporte de sólidos suspendidos varía de acuerdo con la estacionalidad de las lluvias y con cada tramo del río (Rodríguez et al. 2005); éstos en su recorrido hasta el mar atraviesan ambientes muy diferentes y por ello los materiales sólidos que transportan y depositan están acordes con esas condiciones: en la parte alta de sus cuencas predominan las piedras y las rocas mientras que en la media son guijarros; en la cuenca baja y en la desembocadura transportan arenas y materiales finos donde construyeron, y siguen construyendo, amplias planicies costeras. Los sólidos en suspensión forman, como en el pasado, la pluma que recorría, y recorre, la zona costera asociada a las corrientes litorales.

La existencia de arrecifes de coral a lo largo de la zona marino costera pareciera indicar que históricamente el volumen de agua y sólidos que aportaban estos ríos al mar era menor y que las olas y el viento los controlaban. Este equilibrio se ha alterado, además del impacto asociado al cambio climático, con las importantes actividades antrópicas a que han estado sometidos desde antiguo: contaminación con agroquímicos y desechos domésticos, deforestación de amplias zonas, construcción de embalses públicos y privados, dragados de sus cauces, etc.

La cobertura de coral vivo se encuentra en franca disminución en las costas de Venezuela debido tanto a cambios de origen natural como antropogénico donde el efecto de los ríos es parcialmente conocido. Una alta sedimentación se asocia con eventos de mortalidad en masa ocurridos, especialmente durante los años 1996, 2010 y 2011 (Weil 2003, Bastidas et al 2013). Los arrecifes de costeros en el litoral del Sistema Coriano no han sido la excepción. En la sección norte, ocupada por los ríos más importantes, ha predominado la sedimentación como consecuencia de la alta intervención de las cuencas; ahí las precipitaciones frecuentes y las inundaciones han transportado al mar mayores cantidades de sólidos en suspensión. En cambio, en el Parque Nacional

Morrocoy, el sector sur del sistema han sido las enfermedades en corales escleractínidos los responsables de mortandades masivas reportadas del coral en los arrecifes como consecuencia de frecuentes y severas anomalías térmicas (Cróquer y Bone 2003, Bastidas et al. 2012). Los corales muertos quedan expuestos a la erosión y se convierten en fuentes de materiales en la construcción de playas y planicies aluviales así como de materiales de nuevos impactos sobre el arrecife (Lara de González et al. 1999).

Los ríos del Sistema Coriano, aunque tienen poco desarrollo mar adentro (Figura 4), influyen de manera importante los procesos costeros dinámicos asociados al transporte litoral de sedimentos empujados contra la costa por la acción del viento y mantenidos en suspensión por el oleaje. Además de los materiales sólidos aportados por los ríos, también forman parte de los materiales transportados por la corriente litoral los generados como consecuencia de la erosión de los acantilados en momentos de marea alta, incrementada por el fuerte oleaje (Cartaya et al. 2005). En el pasado, los arrecifes coralinos que se desarrollaron a lo largo de la costa, altamente deteriorados en la actualidad, también aportan materiales sólidos que se suman a los de origen continental. La presencia y participación de unos u otros en la dinámica sedimentaria y en el desarrollo geomorfológico de las zonas costeras se relaciona con su cercanía a las fuentes, desembocadura de los ríos o de los arrecifes erosionados, aunque en general predominan los de origen terrígeno.

La evolución y los impactos generados por la pluma fluvial tienen características diferentes a lo observado en las plumas del río Orinoco y en la del Sistema Maracaibo. En estas últimas, los procesos oceánicos, giros anticiclónicos y su largo recorrido, favorecen por un lado la sedimentación de los sólidos suspendidos, lo que mejora la transparencia al mismo tiempo que la mezcla con aguas de afloramiento y enriquece en compuestos químicos esenciales las aguas mezcladas; con ello se incrementa la capacidad de los productores primarios para generar materia orgánica. En cambio, en las costas del Sistema Coriano prevalecen los vientos y el oleaje con lo que limitan e impiden durante el recorrido la sedimentación, manteniendo un alto grado de turbidez; además, tampoco existen zonas de afloramiento hasta que alcanzan Golfo de la Vela de Coro, por lo que en su recorrido a lo largo de la costa las aguas continentales no se encuentran con aguas ricas en nutrientes.

En esas condiciones los productores primarios tienen muy pocas posibilidades de desarrollar procesos fotosintetizadores satisfactorios; son los proce-

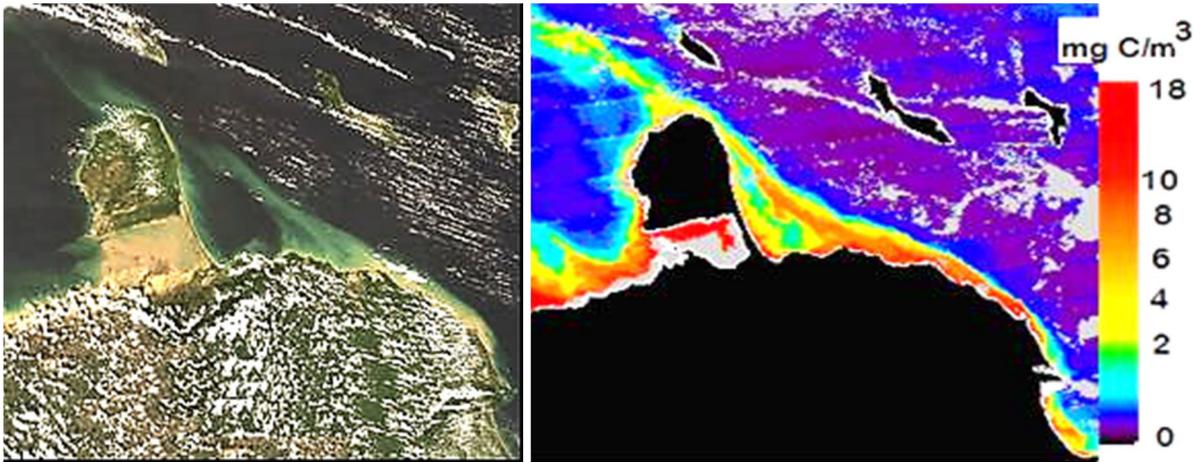


Figura 4. Plumas de sólidos suspendidos (14-01-2011; escena derivada de MODIS Aqua en combinación de bandas 1, 4 y 3) y Cl-*a* (21-01-2011; producto 'MODIS Aqua Level 3 Global Daily Mapped 4 km Chlorophyll a') formada por las descargas de los ríos del Sistema Coriano.

Los morfodinámicos los que se asocian con la pluma que se origina y se mueve a lo largo de la zona costera del sistema. Solamente al alcanzar el Golfo de la Vela de Coro comienza a observarse la formación de pequeñas y medianas plumas costeras de Cl-*a* que continúan después de abandonar el Sistema Coriano, pues tanto la sedimentación de los materiales sólidos en suspensión como los depósitos de materiales a lo largo de la costa, mejoran la transparencia; además, en estas costas existen pequeños focos de afloramiento. Los materiales sólidos depositados durante su recorrido han dado origen a diversos cambios morfológicos costeros: amplias planicies aluviales, llanuras costeras y arenales, playas fósiles, afectación de arrecifes y la formación de estructuras singulares. Los arrecifes de coral fueron y siguen siendo las víctimas principales del aumento en la llegada de materiales sólidos a la costa como legado de los ríos y buena parte de ellos han muerto y han quedado expuestos a procesos de erosión, lo que a su vez los convierte en fuente de nuevos materiales responsables de impactos sobre el arrecife. Vinculado con este proceso se han generado en la costa dos estructuras en forma de yunque, uno de ellos ubicado en San Juan de los Cayos y el otro en Adícora. En ambos casos, la presencia de un arrecife paralelo a la costa facilitó la acumulación de los materiales transportados por la pluma litoral; a medida que se rellenaba el canal que los separaba de la costa y el terreno se consolidaba, los pobladores de la zona cerraron el ciclo al colonizar la zona rellenada (Lara de González et al. 1997).

La acción conjunta de las corrientes litorales y las olas, responsables de formar la pluma que transporta las arenas y depositarlas a lo largo de la costa y la

acción del viento que las empuja tierra adentro, le ha dado a esta costa un aspecto semidesértico característico. Su representación física más notoria son los bosques xerófilos y los médanos de Coro. El origen de las arenas de estos últimos se asocian con los aportes de los ríos del sistema dado que en su composición apenas el 10 % son carbonato de calcio; además, se han encontrado en ellas metales vinculados con la cuenca del río Tocuyo y gran parte de estas arenas se han depositado con posterioridad al cierre del istmo (Camacho et al. 2011).

La pluma litoral que deriva hacia el oeste al alcanzar el extremo norte de la Península de Paraguaná se divide en dos ramales que toman direcciones diferentes; uno de ellos permanece cercano a la costa y deriva hacia el sur, el otro se interna en el mar donde forma una pluma de sólidos suspendidos y Cl-*a*. Las imágenes de satélite muestran solamente pequeñas plumas de Cl-*a* cercanas a las desembocaduras de los ríos de la zona, que son más frecuentes a partir de la Vela de Coro y permanentes después del Cabo San Román en el extremo norte de la Península de Paraguaná; éstas desaparecen lentamente, mezcladas con las aguas oceánicas y las del Golfo de Venezuela (Figura 1).

Como consecuencia se generan algunos cambios en la concentración de biomasa en forma de peces. Ambas variables presentan concentraciones mínimas y puntuales en toda la costa del Sistema Coriano, (entre 1 y 10 Tm de biomasa) salvo en áreas influenciadas por los ríos Tocuyo y Hueque en el Golfo de la Vela de Coro. Sin embargo, una vez que la pluma abandona el sistema y se mezcla con las aguas oceánicas afloradas al norte y oeste de la Península de Paraguaná ambas variables mejoran no sólo en

concentración (ej. 10-50 Tm de biomasa íctica), también en la superficie influenciada (Strømme y Sætersdal 1989).

En resumen, las plumas formadas a partir de los aportes de los ríos asociados al Sistema Coriano tiene muy poca contribución en el enriquecimiento de las aguas caribeñas y en la producción de biomasa en forma de recurso pesquero. Su principal contribución se relaciona con cambios geomorfológicos costeros favorecidos por procesos oceánicos, atmosféricos y por la elevación del mar. Las actividades antrópicas que han alterado el transporte de materiales terrígenos al mar han contribuido más bien a generar impactos importantes sobre los arrecifes de coral que se encuentran paralelos a la costa. La pluma de Cl-*a*, propiamente dicha, se manifiesta poco antes de abandonar el Sistema Coriano y al norte de la Península de Paraguaná como consecuencia del aumento en la transparencia por sedimentación de los sólidos suspendidos y la aparición de aguas de afloramiento en el Golfo de la Vela de Coro.

4.3. Cordillera de la Costa

Descripción del área. La costa caribeña venezolana, a partir del Surco de Barquisimeto está ocupada la Cordillera de la Costa, que la recorre oeste-este. Su origen se vincula a la orogénesis andina de finales del Cretáceo y cuya actividad se incrementó en el Eoceno (Sellier de Civrieux 1974). La cordillera representa un complejo sistema de formaciones montañosas, colinas, valles longitudinales y depresiones interiores. Su límite norte es el mar Caribe y por el sur la depresión central llanera. Aunque la depresión de Unare la divide en dos, aquí se ha subdividido en tres sectores: Litoral Central, Planicie aluvial Miranda Anzoátegui y sector oriental. No sólo están separados entre sí por accidentes geográficos y geológicos identificables si no que presentan, además, características geomorfológicas muy diferentes. La primera es caracterizada por costas rocosas y pequeñas playas y llega hasta Cabo Codera; le sigue hacia el este una planicie aluvial con costas bajas, lagunas costeras y playas arenosas ya que el sistema montañoso se aleja de la costa. La tercera, que es la continuación del sistema montañoso costero que se acerca nuevamente a la costa, continúa en Venezuela hasta su extremo oriental. De todos los ríos que nacen en la Cordillera de la Costa sólo el Tuy genera una pluma que se interna mar adentro (Figura 1).

4.3.1. Litoral Central. La sección de la costa caribeña venezolana conocida como Litoral Central está ocupada por el ramal norte de la Cordillera de la

Costa que termina en Cabo Codera. En él se encuentra el conjunto montañoso de mayor altitud de toda la cordillera: el Pico Naiguatá (2.750 msnm), el Pico Oriental (2.640 msnm) y el Pico Occidental (2.480 msnm.). De pendiente abrupta, la recorren pequeños arroyos y torrenteras con caudales mínimos, algunos intermitentes; sólo después de lluvias intensas aumentan sus caudales y arrastran volúmenes importantes de materiales sólidos gruesos. Como carece de plataforma continental, la mayoría de sus materiales se deslizan por el talud; el resto deriva muy cercano a la costa. La costa es casi rectilínea y se interrumpe ocasionalmente con bahías y ensenadas profundas formadas por valles fluviales sumergidos con características de rías (Lara de González et al. 1997). Es de destacar la alteración que a lo largo de los años ha experimentado parte de esta costa como consecuencia de la cercanía de la zona metropolitana y las necesidades básicas que se derivan de ello. Se han alterado cauces, se han hecho rellenos, espigones, malecones y paseos costeros, grandes construcciones portuarias para uso marino y aéreo, así como desarrollos habitacionales para suplir necesidades de alojamiento o con fines turísticos. Los diferentes arroyos que drenan la cordillera erosionan con mayor intensidad las áreas afectadas y transportan hasta la línea de costa el material erosionado. El uso indebido de los espacios agrava esta situación cuando ocurren eventos extraordinarios. La costa de Venezuela, especialmente el Litoral Central, experimenta frecuentemente precipitaciones abundantes asociados a los frentes fríos, esto debido a que la Cordillera de La Costa forma una gran muralla paralela al mar; por ello, cuando las masas de aire frío empujan verticalmente el aire caliente superficial que se condensa y genera precipitaciones. Ocasionalmente éstas son de gran intensidad y duración y provocan desastres en los espacios costeros pues la población ha invadido y desviado los cauces de los ríos y ha ocupado sus conos de deyección. Se recuerda especialmente el evento ocurrido en diciembre de 1999 por la destrucción generada en varias zonas costeras, pero especialmente en el Litoral Central. Estos eventos son recurrentes y de gran magnitud. Humboldt menciona las precipitaciones excepcionales ocurridas en 1797. Se tiene registro histórico de los eventos ocurridos, además de los mencionados, en los años 1904, 1910, 1927, 1928, 1932, 1938 y 1951 (Cárdenas 2000). La pluma generada por estos ríos rara vez es observable mar adentro y su influencia es puntual, aunque se observa transporte litoral de sólidos y formación de conos de deyección que deforman ligeramente la línea recta de la costa.

4.3.2. Planicie aluvial Miranda Anzoátegui. La cadena litoral de la Cordillera de la Costa termina abruptamente en Cabo Codera para dar paso a una amplia llanura ocupada por una extensa red fluvial que abarca hasta el Morro de Barcelona. Las llanuras costeras, en parte inundables, y las lagunas costeras que reciben el agua y los materiales sólidos de varios de los ríos de la zona: ríos Unare, Uchire, Machurucuto, Guapo, Río Chico, Capaya, Tuy y otros de menor tamaño, son sus elementos representativos. Su formación sobre los antiguos estuarios de esos ríos comenzó durante el Holoceno, durante la Trasgresión Flamenca favorecida por la elevación del nivel del mar (Cresa et al. 1993) del que está separado por barras arenosas o restingas formadas por material detrítico, restos de conchas de moluscos y un pequeño porcentaje de limo. Mar adentro predominan al este del Cabo Codera los fondos arenosos, restos de arrecifes de coral y praderas de fanerógamas; inmediatamente comienzan los fondos fangosos y le siguen los arena fangosos hasta el borde de la cubeta occidental de la Fosa de Cariaco. Al oeste de la desembocadura del río Tuy se encuentran pequeñas lagunas (Buche, La Reina, La Grande) y áreas anegadizas; al este, la laguna de Tacarigua así como canales artificiales construidos sobre los caños naturales del río Chico (Figura 5a). El resto de esta sección de la costa caribe venezolana lo ocupa el complejo lagunar Unare-Píritu.

La Planicie aluvial que ocupa el sector occidental de este tramo costero presenta una configuración más compleja que el oriental. Sus lagunas y llanuras costeras están altamente intervenidas con fines principalmente turísticos y habitacionales. El limitado caudal de los ríos del extremo occidental los convierte durante gran parte del año en caños de marea y su capacidad de generar una pluma que se interne en el mar es muy limitada. Hacia el este los ríos Chico y Guapo, aunque de mayor caudal, tampoco generan plumas que se adentren en el mar: el río Chico se pierde en los canales naturales y artificiales cercanos a su desembocadura, mientras que el río El Guapo desemboca en la Laguna de Tacarigua después que se desvió hacia ella su cauce natural. El centro lo ocupa la cuenca del río Tuy cuya capacidad de producir sólidos suspendidos, derivados de la erosión, es de moderada a ligera a pesar de estar muy intervenida ya que corresponde a la zona más poblada de Venezuela (Zambrano 1970); en cambio, produce grandes cantidades de materiales sólidos (plásticos en grandes volúmenes), materia orgánica y nutrientes relacionados con residuos, detergentes y contaminantes de uso doméstico e industrial. La mayor parte de los sólidos suspendidos

y materiales sólidos gruesos se acumula a lo largo de la costa y en las playas; el resto se interna muy poco en el mar ya que es rápidamente capturada por la cuña de agua oceánica más salada y fría que llega desde el noreste (Arriechi et al. 1981, Monente 1999).

El extremo oriental de este sector lo ocupa el complejo lagunar Unare-Píritu, que originalmente formaban una sola laguna construida sobre la planicie costera inundable del río Unare y otros pequeños ríos de carácter intermitente que fueron los que proporcionaron los materiales sólidos. Esta laguna estaba separada del mar por una gran isla barrera en formación desde inicio del Holoceno con los aportes de materiales continentales y los arrasados por las mareas y las corrientes. La elevación del nivel del mar determinó las formas actuales; que comenzaron con la construcción de un delta en la desembocadura del río Unare y dividió en dos la laguna original; luego, el delta desapareció y se transformó en la llanura aluvial actual (Lara de González et al. 1997, Rojas et al. 2006). La línea de costa está sufriendo un proceso de erosión activa por la intervención antrópica, dada por construcción de presas que retienen gran cantidad de sedimentos, el



Figura 5. a) Planicie aluvial construida por el río Tuy y ríos menores (Capaya, Chico, Guapo). b) Pluma de sólidos en suspensión formada por los aportes de los ríos del Sistema Miranda-Anzoátegui (Escena para el 04 de abril del 2017 derivada de MODIS Aqua en combinación de bandas 1, 4 y 3).

desvío y toma de agua en el cauce bajo del río para el funcionamiento de las camaroneras y la construcción de obras de protección costera como el caso de los espigones en la boca de la laguna de Píritu. En el sector de las lagunas de Unare y Píritu el retroceso de la línea de costa se estima en un orden de magnitud de 5 m/año (Pacheco y Suárez 2005). Ocasionalmente la conexión del río Unare con el mar se cierra y la isla-barrera original renace; con la llegada de las lluvias el caudal del río aumenta, rompe el tapón formado y se conecta nuevamente con el mar. Los materiales sólidos que se generan en el sistema, empujados contra la costa por el viento, se incorporan al transporte litoral.

Cada una de esas fuentes es insuficiente en sí misma para producir plumas que se adentren en el mar. Sin embargo, la suma de todas ellas arrastradas por las corrientes litorales genera una pluma pequeña aunque observable, al incorporarse a las descargas del río Tuy, especialmente, durante la temporada de lluvias (Figura 5b). Las características finales de la pluma están íntimamente relacionadas con la circulación general que predomina en la gran bahía y, en particular, en su extremo occidental (Higuerote-Carenero). Participan en su formación las aguas oceánicas, unas afloradas al norte de Cabo Codera y otras empujadas por los vientos del noreste. Las aguas de origen continental son transportadas por las corrientes de marea y recorren toda la costa, mientras que las del río Tuy varían ligeramente a lo largo del año de acuerdo con las lluvias en su cuenca. En el extremo sur occidental se genera un giro anticiclónico que facilita la mezcla de todas ellas y la pluma formada abandona el área y se interna en el Caribe (Figura 6).

La proyección de la pluma mar adentro varía a lo largo del año como consecuencia de los cambios estacionales en los aportes de las fuentes oceánicas o continentales (precipitaciones y corrientes marinas) y la intensidad del viento. Las imágenes de satélite presentan con frecuencia la formación de dos plumas independientes con temperaturas y color originadas una en el río Tuy, que se diluye rápidamente al internarse en el Caribe, y otra formada al norte de Cabo Codera a partir de las aguas más frías que afloran en esa zona. Se mueven en forma paralela y ocasionalmente se mezclan e ingresan unidas con más profundidad en el Caribe (Figura 7). La cuña submarina, prolongación del extremo del Cabo Codera, penetra en el mar y parte del agua aflorada que deriva hacia el este e ingresa en la bahía muy próxima a la costa, forman una barrera entre ambas. La fuerza de Coriolis, al disminuir la intensidad del viento o de las corrientes marinas que la empujan

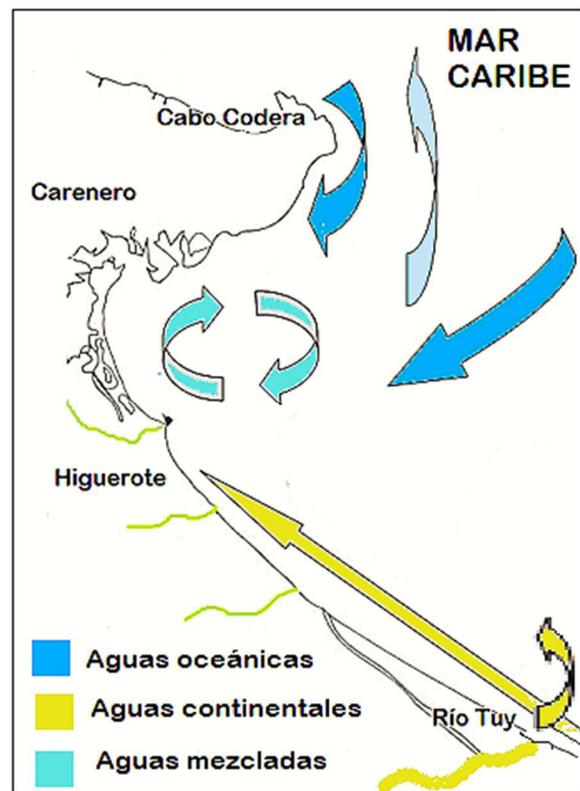


Figura 6. Formación de la pluma con los aportes del río Tuy y los ríos locales (Capaya, Chico, Guapo) y mezcla con aguas oceánicas.

hacia el oeste, la desvía hacia el este y la pluma formada gira 360 grados y regresa hacia el sur; cuando estas fuerzas debilitan la pluma avanza de nuevo hacia el norte.

La productividad secundaria (producción pesquera) de la zona es pobre, no sólo porque la pluma de Cl-*a* se interna muy poco en el mar, sino que además las características físicas del área no la favorece: turbidez, cercanía a la costa y, mar adentro, la Fosa de Cariaco. La actividad pesquera es casi exclusivamente artesanal y se realiza, salvo la extracción de guacucos y chipichipis en las playas, en los islotes e islas de mar abierto y en el Cabo Codera. En cambio, es importante la producción de moluscos, especialmente guacucos (*Tivela mactroides*), en las playas de Higuerote, donde se midieron densidades entre los 1.500 y 2.700 ind/m² (Egañez 1989).

4.3.3. Región oriental. La geomorfología cambia abruptamente en la región oriental de la costa caribeña venezolana. El sistema montañoso se acerca de nuevo a la costa y así continúa hasta su extremo oriental. Las penínsulas de Araya y Paria corren paralelas a la costa y establecen la divisoria de aguas.

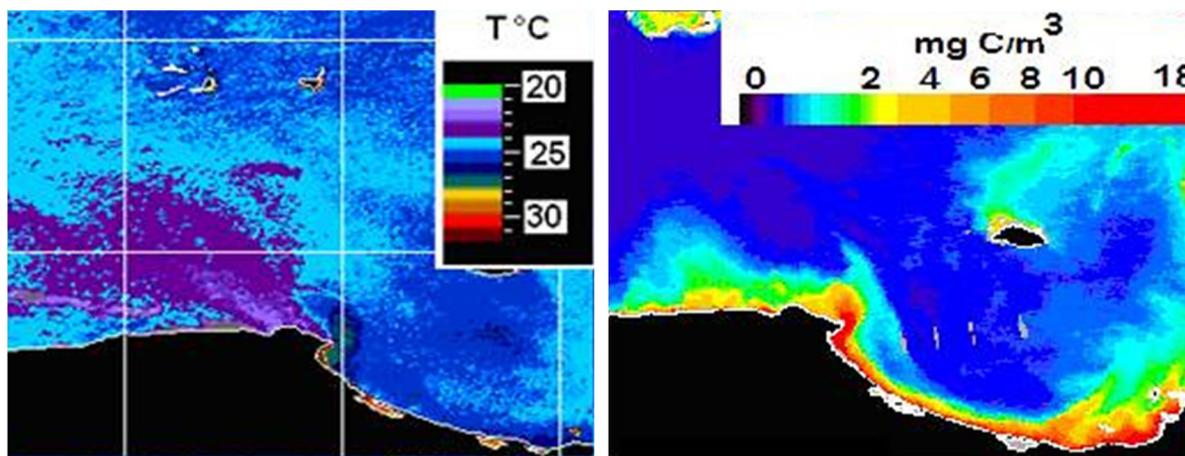


Figura 7. Plumas paralelas de orígenes diferentes (río Tuy y afloramiento). a) Temperatura superficial (28-01-1998; imagen ‘AVHRR Oceans Pathfinder SST data’). b) Color del mar, Cl-a (27-02-2007; imagen ‘MODIS Aqua Level 3 Global Daily Mapped 4 km Chlorophyll a’).

Su vertiente norte tiene pendientes pronunciadas, cercanas al mar y carece de ríos importantes; solamente se observan quebradas y torrenteras. En el extremo occidental se constituye la excepción y los ríos Neverí y Manzanares, originados en la Serranía del Turimiquire, han formado llanuras aluviales sedimentarias con lagunas, pantanos y playas. En ambos casos, se observa una costa en crecimiento constante derivada tanto de los aportes históricos de los ríos como los rellenos intencionales y la invasión posterior de los espacios desecados. Las frecuentes inundaciones de las áreas ocupadas obligaron a desviar el río Neverí, con la construcción de un canal (año 1972) que si bien ayuda a remediar parcialmente el impacto de las crecidas sobre la población, ha generado cambios en la distribución de sedimentos. La mayor parte de los aportes del río Neverí han contribuido a la construcción de su delta y la llanura aluvial; una pequeña cantidad llega al mar y pasan a formar parte de la corriente litoral controlada por las mareas, el oleaje y el viento; el resto se interna mar adentro. En cambio los aportes del río Manzanares se hunden en el cañón oriental de la Fosa de Cariaco (Lara de González et al. 1997). Los resultados que presentan Llano et al. (1991) al estudiar la granulometría de dos núcleos obtenidos en la Fosa Oriental de Cariaco parecieran confirmar la afirmación anterior. Ambos núcleos muestran a la misma profundidad un aumento en los porcentajes de arena, aunque los correspondientes a la estación con mayor cercanía a la desembocadura del río Manzanares (núcleo 1), son muy superiores a los del núcleo 2 muestreado al oeste de ella. Los autores lo atribuyen a deslizamientos vinculados con algún evento especial que incrementó el influjo de materiales terrígenos

nos y estiman que había ocurrido hacia unos diez años. La fuente natural de los materiales terrígenos es el río Manzanares, que transporta hasta el mar lo erosionado por las lluvias. El año 1970 se produjeron precipitaciones extraordinarias tanto en Cumaná como en Barcelona (Tabla 3), donde ocurrieron inundaciones que promovieron la construcción del canal antes mencionado. Por otro lado, la región se caracteriza por su intensa actividad sísmica, siendo Cumaná la ciudad que más terremotos ha experimentado en la historia del país (Beaupérthuy 2006). Aunque en ese periodo no se registró algún evento sísmico especial, la acumulación de materiales en el talud de la fosa unido a pequeños pero frecuentes movimientos sísmicos posiblemente pudieron generar su deslizamiento y llegar al fondo de la fosa.

Las características geológicas, oceánicas y atmosféricas predominantes en la zona limitan la posibilidad de que las plumas de los ríos Neverí y Manzanares se internen en el mar. Por un lado, el aporte de estos ríos es limitado y, por otro, su llegada al mar coincide geográficamente con la zona de afloramiento más importante del Caribe; así, la Cuenca de Cariaco, Araya, Margarita enmascaran y dificultan la posibilidad de formar una pluma o iden-

Tabla 3. Valores de precipitación (mm) en la ciudad de Cumaná. Año 1970 y promedio 1948-1982. Fuente INAMEH (2017).

	1970	Promedio 1948-1982
Junio	145,3	38,1
Julio	198,6	57,3

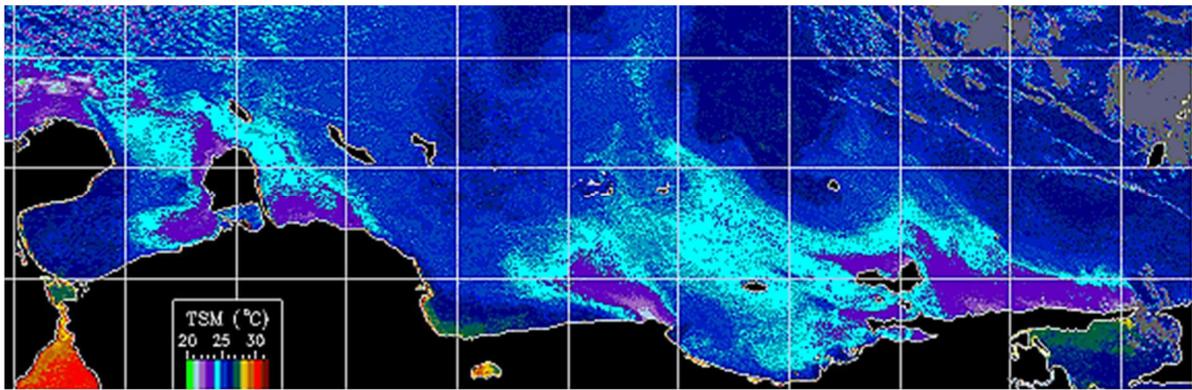


Figura 8. Distribución de temperaturas superficiales en los drenajes al Caribe de Venezuela (28-01-1998; sensor AVHRR, plataforma NOAA, producto a 1 x 1 km²).

tificarla (Figura 8); además, los vientos fuertes empujan contra la costa los sólidos en suspensión y los materiales más gruesos se hunden en la Fosa de Cariaco. Los torrentes de la vertiente norte de las penínsulas de Araya y Paria carecen de caudal suficiente para formar plumas que se internen en el Caribe.

5. CONSIDERACIONES FINALES

El Sistema Coriano y la Cordillera de la Costa limitan la presencia de cursos de agua de gran caudal a lo largo de la costa caribeña venezolana. El extremo occidental, ocupado por el Sistema Maracaibo, es la excepción ya que el Lago de Maracaibo es el receptor único de todos los ríos de su cuenca que reunidos ingresan al Golfo de Venezuela. Estos ríos drenan zonas altamente pobladas e intervenidas y las actividades antrópicas han alterado el transporte natural de materiales terrígenos al mar y han incrementado los contaminantes y materiales sólidos derivados de esas actividades.

Las plumas de sólidos en suspensión y Cl-a formadas a partir de los aportes de los ríos de la fachada caribeña venezolana penetran muy poco en el Caribe y se diluyen rápidamente mezcladas con las marinas. En consecuencia, tienen muy poca contribución en su enriquecimiento y en la producción de biomasa en forma de recurso pesquero. Además, próximos a sus desembocaduras se encuentran pequeños núcleos de afloramiento de ahí que las aguas de ambos orígenes, al mezclarse forman los limitados espacios donde se han ubicado pequeños focos en los que la densidad de biomasa aumenta ligeramente. Ello enmascara y dificulta la posibilidad de identificar mar adentro el origen de la pluma formada. Sólo las plumas de sólidos permiten observar su avance mar adentro y solamente en

aquellos sectores de la costa en que los sistemas montañosos se alejan de ella y presentan plataforma costera. Su más notoria presencia se relaciona con los cambios que han generado en la dinámica sedimentaria y en los procesos geomorfológicos costeros; los fenómenos atmosféricos y oceánicos junto a la elevación del nivel mar han participado en el proceso.

Agradecimientos

Agradezco a Fundación La Salle por la disposición de información en los archivos de EDIMAR. A Ramón Varela e Yrene Astor por sus orientaciones en la búsqueda de las imágenes de satélite. Deseo agradecer especialmente al editor y a los árbitros anónimos por ayudar a la mejor comprensión del texto y la precisión en los conceptos.

REFERENCIAS

- Acosta, Y., Molina, M., Leal, I., Moran, H., Jaime, L., Barrera, W., Hernández, R. y Chirinos, W. 2007. Evaluación de la contaminación por materia orgánica y metales pesados en sedimentos marinos costeros. Caso: costa suroeste península de Paraguaná. *VII Jornadas de Investigación en el marco del 30 Aniversario UNEFM*. Coro. Venezuela.
- Arrieche, E., Ramírez, A., Kretzein, H. y Bifano, C. 1981. Influencia del río Tuy en el Caribe. *Acta Científica Venezolana*. 32: 184-186.
- Ávila, H., Gutiérrez, E., Led, H., Araujo, M. y Sánquiz, M. 2010. Heavy metals distribution in superficial sediments of Maracaibo Lake (Venezuela). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*. 33 (2): 122-129.
- Ávila, H., Quintero, E., Nancy, A., Cárdenas, C., Araujo, M., Morales, N. y Prieto, M. 2014. Determinación de metales pesados en sedimentos superficiales costeros del Sistema Lago de Maracaibo, Venezuela. *Multiciencias*. 14(1): 16-21.
- Avila, R. G., Herrera, L. E., Febres, G. A. y Tonda, H.

1980. *Régimen de Mareas en las aguas de Venezuela en especial en la región del Delta del Orinoco*. Mimeografiado. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables. Caracas. Venezuela.
- Bastidas, C., Bone, D., Cróquer, A., Debrot, D., García, E., Humanes, A., Ramos, R. y Rodríguez, S. 2012. Massive hard coral loss after a severe bleaching event in 2010 at Los Roques, Venezuela. *Revista de Biología Tropical*, 60(suppl. 1): 29-37.
- Beauperthuy, L. D. 2006. Análisis histórico de las amenazas sísmicas y geológicas de la ciudad de Cumaná, Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. 21(4): 103-116.
- Camacho, R., Salazar, S., González, L., Pacheco, H. y Suárez, C. 2011. Caracterización geomorfológica de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, Estado Falcón, Venezuela. *Investigaciones geográficas*. 76: 2448-7279.
- Cárdenas, A. L. 2000. Análisis del fenómeno ocurrido en el litoral venezolano en diciembre de 1999. *Biblio 3W. Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*. 213: 1138-9796.
- Cartaya, S., Méndez, W. y González, L. 2005 Geomorfología y sedimentología de los ambientes depositacionales recientes del complejo estuarino de los ríos Hueque y Curarí, Estado Falcón, Venezuela. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*. 58: 7-33.
- Cressa, C., Vásquez, E., Zoppi, E., Rincón, J. y López, C. 1993. Aspectos generales de la Limnología en Venezuela. *Interciencia* 18(5): 237-248.
- Cróquer, A., Bone, D. 2003. Las enfermedades en corales escleractínidos: ¿Un nuevo problema en el arrecife de Cayo Sombrero, Parque Nacional Morrocoy, Venezuela? *Revista de Biología Tropical*. 51(4): 167-172.
- Egáñez, E. 1999. Reinserción y dinámica de la población de *Tivela mactroides*. (pp: 3.5.1-3.5.43). En Egáñez, H., Buitrago, J., Monente, J., Gutiérrez, J., Guevara, P., Llano, M., Narváez, J., Segura, M., García, J., Cuneo, F., Seguías, N. y Capelo, J. 1999. *Derrame de combustible en la zona de Carenero en junio de 1998. Evaluación de la Afectación y Recuperación del Área Marino Costera*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Estación de Investigaciones Marinas de Margarita, EDIMAR. Informe Técnico. Caracas. Venezuela.
- Fundación la Salle. 1985. *Estudio y evaluación de los recursos pesqueros en aguas del estado Falcón y región occidental. Informe Final*. Monente, J. A. (Ed.). Elaborado para el Fondo de Inversiones de Venezuela. Caracas.
- Ginés, H. (Ed). 1982. *Carta Pesquera de Venezuela (2): Áreas Central y Occidental*. Caracas. Venezuela.
- González de Juana, C., Iturralde de Arocena, J. y Picard, X. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Ediciones Foninves, Caracas. Venezuela.
- Graf, C. 1972. Relaciones entre tectonismo y sedimentación en el Holoceno del noroeste de Venezuela. *IV Congreso Geológico Venezuela, Caracas 1969, Mem 2*. Caracas Venezuela.
- Gregor, J., Marsálek, B. 2004. Freshwater phytoplankton quantification by chlorophyll a: a comparative study of in vitro, in vivo and in situ methods. *Water Research*. 38: 517-522.
- INAMEH. 2017. www.inameh.gob.ve/mensual/info_climatologica.php
- Lara de González, S., Suárez, C. y Marcucci, E. 1997. *Atlas morfodinámico costero de Venezuela*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico de Caracas. Subdirección de Investigación y Postgrado. Caracas. Venezuela.
- Llano, M., Cárdenas, J., Mayz, L., Guevara, P., Armas, A., Freon, P., Kimberley, M. y Abu-Jaber, N. 1991. Elementos biogénicos de la Fosa de Cariaco y los recursos ícticos del nororiente venezolano. *Memoria de la Sociedad de Ciencias Naturales La Salle*. 135-136: 57-71.
- Marín, J. L., Polo, C., Behling, E., Colina, G., Rincón, N. y Carrasquero, S. 2014. Distribución espacial de Cd y Pb en *Polymesoda solida* y sedimentos costeros del Lago de Maracaibo. *Multiciencias*. 14(1): 7-15.
- Martín, A., Bone, D., García, E., Pomares, O., Spiniello, P., Cruz, J. J., Papadakis, J. y Riera, A. 2008. *Interpretación de los resultados de los muestreos de aguas y sedimentos realizados en el Golfo de Venezuela. Informe final*. Martín, A y Bone D. (Eds). Petróleos de Venezuela S. A. FUNINDES - Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela.
- Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables (MARNR). 1990. *Atlas de Venezuela*. Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, Segunda Edición. Caracas. Venezuela.
- Molinés, J-M., Forneiro, M. y Le Provost, C. 1989. Tidal spectroscopy of a coastal area: observed and simulated tides of the Lake Maracaibo system. *Continental Shelf Research*. 9(4): 301-323.
- Monente, J. 1999. Hidroquímica (pp 3.3.1 - 3.3.43). En: Egáñez, H., Buitrago, J., Monente, J., Gutiérrez, J., Guevara, P., Llano, M., Narváez, J., Segura, M., García, J., Cuneo, F., Seguías, N. y Capelo, J. 1999. *Derrame de combustible en la zona de Carenero en junio de 1998. Evaluación de la Afectación y Recuperación del Área Marino Costera. Informe Final*. Fundación La Salle de Ciencias Naturales. Estación de Investigaciones Marinas de Margarita, EDIMAR. Caracas. Venezuela.
- Monente, J. A. 2010. Calidad de agua (pp: 22-27) En: Monente, J. A., Egáñez, H. (Eds). *Programa de Monitoreo Bloque PT Moruy II. INFORME FINAL*. EDIMAR. Caracas. Venezuela.
- Monente, J. A., Astor, Y. 1987. Observaciones hidrográficas superficiales en la región noroccidental del Mar Caribe Venezolano. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 47(127-128): 125-148.
- Pacheco, H., Suárez, C. 2004. Mediciones fotogramétricas para determinar variaciones de la posición de la línea de costa en el cordón litoral de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. *Acta Científica Venezolana*. 55: 97-106.
- Parra, P. 1979. *Estudio Integral sobre la Contaminación del Lago de Maracaibo y sus Afluentes. Parte II. Evaluación del Proceso de Eutrofización*. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Caracas, Venezuela.
- Pinto, A., Von Sperling, E. y Moreira R. 2001. Chlorophyll-a determination via continuous measurement of plankton fluorescence: methodology development *Water*

- Research*. 35(16): 3977-3981.
- PDVSA. 1995. *Imagen atlas de Venezuela: visión espacial*. Edición revisada y corregida. Editorial Arte. Caracas. Venezuela.
- Redfield, A. C. 1955. The hydrography of the Gulf of Venezuela. *Deep-Sea Research*. Suppl. 3: 115-133.
- Rincón, J. E. 2017. Estado de conservación en los ríos de la costa occidental del Lago de Maracaibo (pp: 15-28). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). 2017. *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto. Venezuela.
- Rodríguez G. 1973. *El Sistema Maracaibo*. IVIC. Caracas. Venezuela.
- Rodríguez, G. 2001. El Lago de Maracaibo como cuenca anaeróbica natural: uso de líneas de base históricas en estudios de impacto ambiental. *Interciencia*. 26(10): 450-456.
- Rodríguez, C., Varela, R. 1987. Pigmentos clorofílicos en la región noroccidental de Venezuela con énfasis en el Golfo de Venezuela. *Anales Instituto Investigaciones Marinas. Punta de Betín*. 17: 3-14.
- Rodríguez-Olarte, D., Coronel, J., Taphorn, D. y Amaro, A. 2007 ("2006"). Línea base de la integridad biológica de las comunidades de peces en el Río Tocuyo: un hidrosistema intervenido de la vertiente Caribe de Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 165: 73-91.
- Rojas, H., Ughi, A., González, J. y Bolívar, F. 2006, Caracterización morfológica de la isla barrera de la Laguna de Unare mediante perfiles sísmicos someros. *XIII Congreso Venezolano de Geofísica*. Caracas. Venezuela.
- Saavedra, J. 1973. Análisis de la dinámica sedimentaria y la geomorfología litoral en el golfo de Venezuela con imágenes multispectrales. *Memoria Segundo Congreso Latinoamericano de Geología*. 11-16 de noviembre 1973. Tomo IV: 2783-2795. Caracas. Venezuela.
- Sarmiento, R., Kirby, R. A. 1962. Recent sediments of Lake Maracaibo. *Journal Sedimentary Petrology*. 32: 698-724.
- Segnini, S., Chacón, M. M. 2017. El Chama: Un río andino en riesgo (pp: 29-58). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Sellier de Civrieux, J. M. 1974. Geología del Mar Caribe y del margen continental de Venezuela. (pp: 3-42). En: Okuda, T., Benitez, J., Sellier de Civrieux, J. M., Fukuo-ka, J. y Gamboa, B. (Eds). *Cuadernos Azules n° 15*. Publicaciones de la Comisión Organizadora. III Conferencia de los Derechos del Mar. Caracas. Venezuela.
- Stromme, T., Saetersdal, G. (Eds). 1989. *Prospecciones de los recursos pesqueros de las áreas de la Plataforma entre Surinam y Colombia 1988*. Informe final. Institute of Marine Research, Bergen. Noruega.
- Varela, R., Capelo, J., Narvaez, J. y Quiñones, R. 2010. Clorofila a: (pp 72-81). En: Monente, J. A., Egañez, H. (Eds). *Programa de Monitoreo Bloque PT Moruy II, Primera Campaña, Enero 2010. INFORME FINAL*. Caracas. Venezuela.
- Veltre, D., Barrera, W., Fernández, R., Leal, I. y Morán, H. 2007 Contaminación por metales pesados (Cd, Cu, Cr, Ni, Pb, V y Zn) en núcleos de sedimentos en la Bahía de Amuay. *VII Jornadas de Investigación en el marco del 30 Aniversario UNEFM*. Coro, Venezuela.
- Weil, E, 2003 The corals and coral reefs of Venezuela, (pp: 304-330) en Cortés J. (Ed). *Latin American Coral Reefs*. Elsevier
- Zambrano, A. 1970. Estudio fisiográfico de la Cuenca del río Tuy. *Boletín de Geología*. XI(21): 3-206.
- Zeigler, J. M. 1964. The hydrography and sediments of the Gulf of Venezuela. *Limnology and Oceanography*. 9(3): 397-411.



2005

850 m



2010



2015



2018

Acaso la mayor crisis del agua ocurre en el Lago de Valencia (Tacarigua), pues su expansión y contaminación cubre tierras urbanas y de cultivo, pero también se exporta a otras cuencas. Aquí la desembocadura del río Los Guayos. Imágenes modificadas de DigitalGlobe 2018 (<http://www.earth.google.com>).

La pluma del río Orinoco en el Océano Atlántico y el Mar Caribe

José Antonio MONENTE

Fundación La Salle de Ciencias Naturales, Maripérez, Caracas. Venezuela
jose.monente@fundacionlasalle.org.ve

La influencia del río Orinoco en el Mar Caribe, si bien se conocía desde los primeros estudios realizados en la zona sólo pudo ser valorada en su totalidad con la incorporación de las imágenes de satélite a los estudios oceanográficos. Esto generó un nuevo problema: cómo explicar que a partir de las aguas del Orinoco, pobres en nutrientes, se pudiera originar una pluma de clorofila que en ciertos meses del año ocupan la casi totalidad del Caribe oriental. Se sugirieron mecanismos tales como gran eficiencia en los procesos de reciclaje biogeoquímicos y de nutrientes así como mezclas con aguas de otros orígenes. En este capítulo se evalúan procesos complementarios de los anteriores: transporte de sólidos suspendidos como vehículo de transporte para metales pesados y compuestos orgánicos, el proceso de desorción y la formación de frentes oceánicos. Se concluye que la influencia del río Orinoco y su pluma tiene dos manifestaciones: una pluma de clorofila que entre junio y octubre ocupa gran parte del Caribe oriental y un aumento en la producción secundaria en la plataforma continental al norte de la Península de Paria que se manifiesta en forma de recurso pesquero, especialmente pelágico. Además, que ambas son el resultado de la interacción entre el río Orinoco, las aguas de afloramiento, muy activo en toda esa zona y procesos físicos y geoquímicos.

Palabras claves: Pluma de clorofila, pesquerías, desorción, imágenes de satélite, río Orinoco, Caribe sur oriental.

1. INTRODUCCIÓN

Las aguas superficiales del Mar Caribe (Caribe) se forman de la mezcla de aguas procedentes de diferentes orígenes (Figura 1) y acceden tanto por el sur este, el este y el norte; las del río Orinoco, forman parte de las primeras y son claramente identificables en ciertas épocas del año. Su movimiento general es este-oeste como Corriente del Caribe (CC). Las aguas profundas presentan una fuerte estratificación vertical y en ellas el Orinoco no tiene influencia. Los estudios oceanográficos, iniciados hace más de cincuenta años, mostraron que las aguas del Amazonas transportadas por la Corriente de Guayana (CG), entran al Caribe entre las islas Grenada y Santa Lucía, mientras que las de la Corriente Ecuatorial del Norte (CNE) lo hacían más al norte, entre Dominica y Antigua. Las aguas del Orinoco entran al Caribe entre Venezuela, Trinidad-Tobago y Grenada. El volumen total de agua ingresada por el este geográfico asciende a 18,4 Sv (Sv, Sverdrup: un millón de metros cúbicos por segundo: 1.000.000 m³/s) mientras que por el norte, entre Islas Vírgenes y La Española, ingresan 3 Sv (Johns et al. 2002). El agua que llega por el extremo sur oriental del Caribe, y con ella los aportes del Orinoco, no está incluida en esos cálculos; de hecho, muy pocas publicaciones valoran sus aportes al Caribe (Gade 1961, Arango 1969, Monente 1986, Monente 1989-1990a, Bigidare et al. 1993, Bonilla et al. 1993). La llegada de ese importante volumen de agua generaba cambios estacionales en la salinidad del Caribe central y especialmente en el oriental (Wust 1964). Este hecho, se atribuía tanto a los aportes de la CNE que transportaba las aguas de la zona de convergencias del Atlántico cercanas al Ecuador o las que llegaban desde el sur. Froeling et al. (1978) comprueban, con base en la fluctuación de la concentración de silicatos, que esa variación estacional se debía a los aportes de los ríos Amazonas y Orinoco transportados hasta el Caribe por la CG.

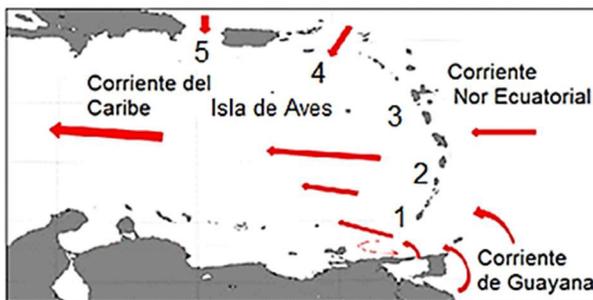


Figura 1. Principales pasos por los que ingresa agua al Caribe Oriental: Grenada (1), Santa Lucía (2), Guadalupe (3), Anegada (4) y Mona (5).

Debido a la diferencia significativa entre los volúmenes medios de ambos ríos (179.000 y 36.000 m³/s, respectivamente) atribuyeron al primero la principal responsabilidad de los cambios estacionales observados en la salinidad. La incorporación de la información que ofrecen los sensores remotos a las investigaciones oceanográficas cambió radicalmente esta visión y mostró la importancia de la influencia del Orinoco en los cambios que experimenta el Caribe oriental, especialmente visible en ciertos meses del año y que se manifiesta en las imágenes en forma de una mancha superficial claramente diferenciada de su entorno (pluma de clorofila) que lo recorre de sur a norte (Figura 2).

La presencia de esta pluma de clorofila a (Cl-a) que recorre el Caribe oriental llama la atención puesto que las aguas del Orinoco han sido catalogadas de poco productivas (Bonilla et al. 1993). Lewis y Saunders (1990) encuentran que los nutrientes (fósforo y nitrógeno) se ubican bajo promedio mundial para los ríos no intervenidos: la concentración de fosfatos está ligeramente bajo la mitad del promedio mundial y la de los nitratos está muy cerca de él. Las aguas poco productivas del Orinoco inundan primero su delta, luego la plataforma costera atlántica y el Golfo de Paria e ingresan finalmente al Caribe: una parte por el Golfo de Paria (la totalidad en aguas bajas) y el resto por el norte de Trinidad.

En los otros meses, la pluma cambia de dirección empujada por el viento y, unida a los importantes volúmenes de agua profunda que aparece en el sur este del Caribe (Castellanos et al. 2000) se dirige hacia el este y fertiliza la plataforma continental venezolana. Este descubrimiento generó una nueva serie de investigaciones con estudios de campo ayudados con tecnología más eficiente e imágenes de satélite Todo ello para responder preguntas de interés; como el hecho que aguas relativamente pobres y con un aporte mucho menor (18.400.000 m³/s y 36.000 m³/s, respectivamente) entre el agua oceánica y la del Orinoco puedan generar tanta influencia como la que se observa en Caribe oriental. También es de interés conocer qué fenómenos físicos lo favorecen y cuáles son las implicaciones biológicas de la presencia del río Orinoco en Caribe oriental, además de otras preguntas más complejas relacionadas con aspectos químicos o bioquímicos. (Muller Karger y Varela 1989-1990, Del Castillo et al. 1999; Morell y Corredor 2001, Corredor et al. 2004, Gilbes et al. 2004, Hu et al. 2004, Rodríguez y Schneider 2005, Rincón et al. 2008, Cherubini y Richardson 2007, Odriozola et al. 2007, López et al. 2012, 2013, Rueda et al. 2018).

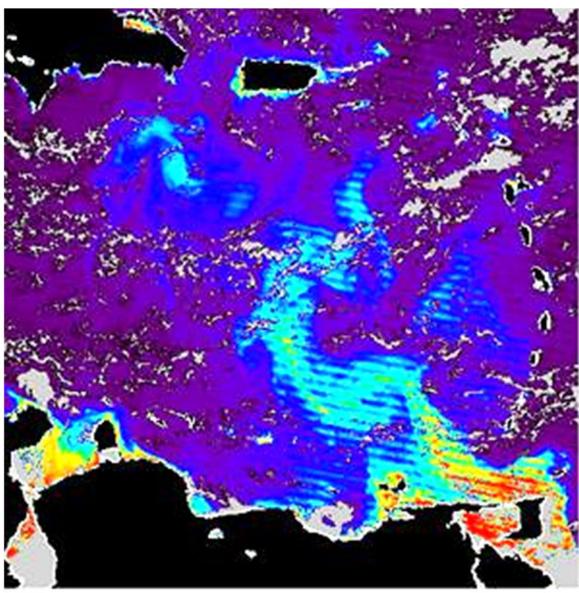


Figura 2. Pluma de clorofila-a 21 de octubre de 2017. (MODIS Aqua Level 3 Global Daily Mapped 4 km Chlorophyll a).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La información de campo aquí empleada procede de la Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR) de Fundación La Salle y colectada a lo largo de cincuenta años en las embarcaciones BIOMAR, B/O La Salle y B/O Hno. Ginés. Hasta el año 1965 se encuentra en Ballester (1965); el resto de la mayor parte de la información es inédita. Las mediciones antiguas de temperatura *in situ* se realizaron empleando termómetros de inmersión protegidos (precisión 0.05 °C); las más recientes con equipos (marca Sea Bird) que miden en forma automatizada conductividad, salinidad y temperatura. Los nutrientes se analizaron siguiendo la metodología vigente para el momento, principalmente por Strickland y Parsons (1968). Las imágenes que muestran temperaturas superficiales (año 1998) fueron obtenidas con el Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo de los satélites NOAA12 y NOAA14, procesadas y producidas por el Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI) de la Universidad Simón Bolívar según la metodología descrita por Castellanos et al. (2000). El resto de imágenes T y Cl-a, (USF IMARS, MODIS) proceden de las bases de datos del Proyecto Cariaco (<http://cariaco.intecmar.usb.ve/>). Las imágenes a color natural (RGB: Red, Green, Blue), aunque parecen fotografías, son en realidad una combinación de las bandas roja, verde y azul del MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer) que llevan los satélites Terra y Aqua de la NASA.

3. RESULTADOS

Descripción del área. La cuenca del río Orinoco ocupa un área cercana al millón de km² repartidos entre Colombia y Venezuela. Los ríos de su margen izquierda proceden de los Llanos colombianos y venezolanos y de los sistemas montañosos de Venezuela: los Andes y el Sistema Central. Los de la margen derecha aportan las aguas que escurren del Macizo de Guayana. Sus características físicas y químicas difieren notoriamente: las primeras son aguas claras cargadas de sedimentos; las segundas son aguas negras, ácidas y con pocos o muy pocos sólidos suspendidos (Monente et al. 2017). En toda la cuenca predomina la estacionalidad de las lluvias, lo que otorga al Orinoco una clara diferencia con otros ríos importantes, el Amazonas por ejemplo, en la evolución de su caudal a lo largo del año ya que el volumen máximo supera al mínimo en un factor que frecuentemente es superior a 10. Es por ello que se habla de aguas altas y aguas bajas. Este doble comportamiento es fundamental en la formación de la pluma que desarrolla las aguas del río Orinoco en el Atlántico y el Caribe.

Aunque la cuenca está moderadamente poblada, es muy impactada por las actividades antrópicas. En la margen izquierda predominan las actividades agropecuarias donde el empleo de agroquímicos es con frecuencia irracional; mientras en la derecha, es la minería, legal e ilegal, y sus actividades conexas: deforestación, transporte, reducción del mineral, etc. En su tramo final el río Orinoco es el dragado permanente del canal de navegación para facilitar el tránsito de los buques con mineral. No es solamente el dragado, sino el empleo abusivo del río como vía de comunicación o para la navegación acuática con embarcaciones equipadas con motores de gran potencia que navegan a velocidades muy altas generan oleaje que ocasionan erosión en las riberas y la muerte accidental de mamíferos acuáticos (Monente et al. 2017); además, es frecuente el derrame de combustibles y otros compuestos orgánicos, tanto por descuido como intencionalmente. Todo ello afecta indudablemente la calidad de las aguas del Orinoco, aunque lamentablemente los estudios que cuantifiquen esos daños son muy escasos.

Relación entre el caudal del Orinoco y la intensidad del viento en Caribe suroriental. La marcada estacionalidad de la influencia del río Orinoco en la costa atlántica venezolana y en el Caribe oriental se relacionó con la de las lluvias en su cuenca y las amplias variaciones en su caudal a lo largo del año: máximo a finales de agosto o principios de septiembre según los años y mínimo entre febrero y marzo (promedios: máximo 65.287 m³/s en agosto y

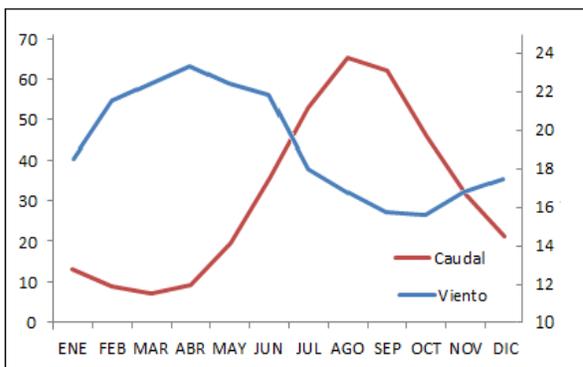


Figura 3. Caudal del río Orinoco m³/s x 10³. Promedio del periodo 1926 a 1989 en Ciudad Bolívar (08° 08' 00" N, 63° 32' 00" O). MARNR-DGSIA. Dirección de Hidrología y Meteorología. Velocidad del viento m/s en Punta de Piedras, Estado Nueva Esparta. (10° 54' 13" N, 64° 06' 29" O). Archivos Fundación La Salle.

mínimo 7.127 m³/s en marzo) (Figura 3). Ello llevó a establecer dos periodos claramente diferenciados: en el primero la influencia del Orinoco en el Caribe era muy importante, mientras que en el segundo era limitada; entre ellos se ubicaron periodos de transición con influencias intermedias. Esta estacionalidad se manifestaba no sólo en los cambios de la salinidad observada en la plataforma atlántica, el este de Trinidad y sur este del Caribe también en la superficie que ocupaban en una u otra época del año las aguas de salinidades más bajas (Figura 4). Sin embargo, no es solamente el mayor o menor caudal del Orinoco el único responsable de la diferencia en la superficie oceánica influenciada; la fluctuación en la intensidad del viento a lo largo del año, tal como lo muestra la Figura 3, juega un papel complementario muy importante.

En los meses en que el río Orinoco descarga su mayor volumen de agua la intensidad del viento es menor y viceversa. La conjugación de ambos fenó-

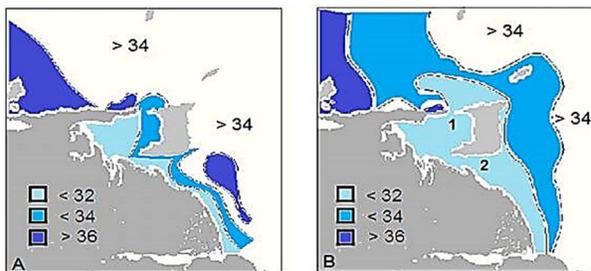


Figura 4. Distribución superficial de salinidad en enero 1964 (A) y julio de 1966 (B). 1 Boca de Dragón, 2 Boca de Serpientes. Fuente: A: B-17, (Ballester 1965) y B: LS-9. Estación de Investigaciones Marinas de Margarita EDIMAR. Fundación La Salle.

menos climáticos determina las características de la pluma del río Orinoco en la costa atlántica y en el Caribe. El agua dulce al ser menos densa permanece en superficie y se mueve arrastrada por las corrientes mientras se produce la mezcla con las aguas marinas de las capas inferiores. Si los vientos y el oleaje son moderados, como entre julio y octubre, no ocurren perturbaciones bruscas importantes en la columna de agua y las mezclas, aunque constantes, son débiles, la superficie influenciada es máxima y sus aguas ingresan al Caribe tanto desde el Golfo de Paria como por el norte de Trinidad. Por el contrario, en los meses de vientos fuertes, enero-abril, la menor cantidad de agua dulce que llega al mar se mezcla rápidamente con las aguas oceánicas al aumentar el oleaje. Además, el viento empuja contra la costa deltana las aguas del Orinoco y las obliga a ingresar al Golfo de Paria desde donde acceden al Caribe por Boca de Dragón. En ambos casos, alcanzado el extremo sur oriental del Caribe se incorporan al movimiento general de las masas de aguas que lo recorren.

Formación de la pluma de Cl-a. La acción conjunta del caudal del río Orinoco más la intensidad del viento genera dos situaciones extremas en la formación de la pluma que recorre el Caribe. En la primera, entre noviembre y los primeros meses del año, ésta queda parcialmente enmascarada pues a la reducción del caudal, se une la presencia de aguas de otros orígenes: agua del Amazonas y agua que asciende a la superficie desde zonas más profundas. La primera ingresa al norte de los 13° N, donde los vientos fuertes la empujan hacia las costas venezolanas y, unidas a las del Orinoco, ocupan parte muy importante de la plataforma continental al norte de la Península de Paria junto con las que allí se encuentran (Figura 5). En la segunda parte del año los elementos se combinan en forma inversa y la pluma originada en el río Orinoco se observa en la casi totalidad del Caribe oriental (Figura 2). Por ello, gran parte de los estudios realizados en la influencia del Orinoco en el Caribe se han centrado en ese periodo. Esta diferencia, evidente a nivel superficial, se observa también en la columna de agua, aunque rara vez supera los diez metros de profundidad.

Son pocas y en su mayoría antiguas las investigaciones de mediciones de nutrientes en la Plataforma Continental frente al Delta del Orinoco (PCDO), aunque todas ellas muestran resultados consistentes. Más escasas todavía son las que incluyen, además, al Golfo de Paria y al Caribe sur oriental. La Estación de Investigaciones Marinas de Margarita (EDIMAR) realizó entre 1963 y 1966 varias expediciones que cubrieron esa amplia región. Los resultados hasta el

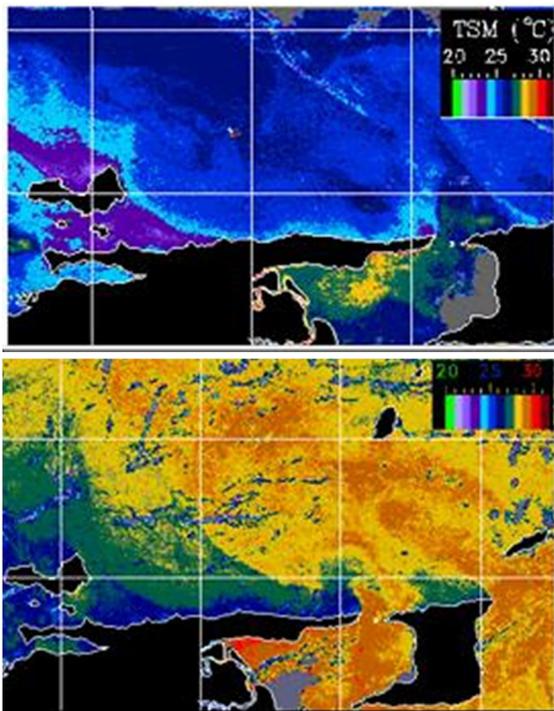


Figura 5. Temperatura superficial (25 de febrero y 27 de agosto de 1997; imagen ‘AVHRR Oceans Pathfinder SST data’).

1965 se encuentran en Ballester (1965). En 1966 se realizaron dos mediciones adicionales: la primera en marzo y la segunda en julio: los resultados obtenidos se encuentran en los archivos de EDIMAR. En la primera década del siglo XXI se realizaron otras aunque involucraron solamente a la plataforma atlántica y han sido publicados más recientemente (Astor 2004, Rodríguez y Schneider 2005, Martín et al. 2007).

La Tabla 1 muestra las concentraciones de nutrientes encontradas en la PCDO, donde las aguas del río Orinoco ingresan al mar. Al compararlas con las reportadas en zonas muy productivas (ej. costa de Perú), si bien las diferencias son importantes, especialmente en fósforo y nitrógeno, se observan algunas concentraciones altas. Los fosfatos presentan en ambos muestreos concentraciones promedio más altas en el Caribe que en la PCDO; en cambio, las concentraciones de nitratos y de silicatos son mayores en la PCDO. No sólo los fosfatos, factor limitante principal del cual dependen las poblaciones de los organismos acuáticos (Margalef 1974), presentan concentraciones mayores en el Caribe que las encontradas en las aguas del Orinoco y la plataforma continental que las recibe; la productividad primaria es mayor en el sur del Caribe que en el Golfo de Paria y la plataforma costera atlántica (Ballester y

Margalef 1965); también lo es la producción secundaria en forma de recurso pesquero, especialmente pelágico (Tabla 2). La Tabla 3 muestra las estimaciones de biomasa calculadas con base en la prospección hidroacústica y pescas exploratorias realizadas en cinco zonas de influencia directa del río Orinoco o muy cercanas a su desembocadura, por lo que se les podría considerar susceptibles de recibir sus aportes (Figura 6). Otros estudios realizados en la zona encuentran valores similares aunque con las diferencias naturales asociadas a los años en que se realizaron (Gerlotto y Ginés 1988, Cárdenas y Achuri 2002, Molinet et al. 2008). La Tabla 4 presenta la diferencia estacional en el volumen de biomasa observada en la plataforma continental ubicada al norte de la Península de Paria. Estas mediciones se realizaron siguiendo las fluctuaciones de río Orinoco (caudal máximo y mínimo y los dos periodos intermedios). Los valores de biomasa varían poco entre sí en cuanto al caudal y los periodos intermedios.

4. DISCUSIÓN

La manifestación más notoria de la influencia del río Orinoco en el Caribe es la pluma de clorofila que se inicia en Boca de Dragón y lo recorre sur-norte entre junio y octubre; en los otros meses la pluma se mueve hacia el este, cambia tanto su zona de influencia como los efectos que produce. Se han formulado varias hipótesis con el fin de aclarar la aparente contradicción presentada (aguas pobres en nutrientes y pluma extensa de clorofila). Muller-Karger et al. (1989-1990) plantean que el nitrógeno debe ser reciclado entre cinco y 25 veces antes de alcanzar el Caribe y Bonilla et al. (1993) llegan a conclusiones parecidas, sugiriendo además de un muy eficiente proceso de reciclaje biogeoquímico durante el recorrido, el aporte elevado de silicatos que estimulan el

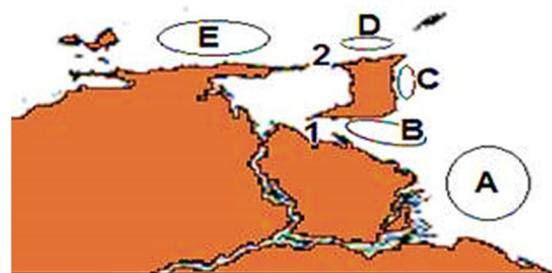


Figura 6. Áreas con mediciones de biomasa por ecointegración y pescas exploratorias (Stromme y Sætersal 1989): A, Plataforma deltana; B, Zona común Venezuela-Trinidad; C, Costa oriental de Trinidad; D, Costa norte de Trinidad; E, Norte de Paria. 1, Boca de Dragón; 2, Boca de Serpiente.

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes (* $\mu\text{g-at/l}$; ° μM) reportados en diferentes publicaciones

Nitratos	Fosfatos	Silicatos	Fuente	Lugar
0,02 - 11,6	0,0 - 2,7	0,5 - 94,0	Plataforma Deltana	Ballester (1965)*
0,0 - 0,5	0,6 - 1,2	3,8 - 4,1	Plataforma Deltana	Morris (1981)*
0,0 - 9,3		2,05 - 120	Plataforma Deltana	Bonilla et al. (1993)*
0,01 - 3,0	0,0 - 0,25	1,5 - 7,5	Fachada Atlántica	Rodríguez y Schneider (2005)°
0,0 - 35,0	0,2 - 4,0	0,0 - 30,0	Costas de Perú	Calienes et al. (1985)°

crecimiento de las diatomeas. Monente (1992, 1997) atribuye gran importancia, especialmente entre julio y noviembre, a las mezclas observadas en el sureste del Caribe entre las aguas procedentes del río Orinoco y las que encuentran en el extremo oriental de la Península de Paria y norte de Trinidad. Son numerosas las imágenes de satélite que muestran en esa zona mezclas a partir de lo que parecieran ser pequeños giros ciclónicos y anticiclónicos, paralelos entre sí (Figura 5).

El aumento en la concentración de nutrientes, particularmente del fósforo en el Caribe sur oriental con relación a la PCDO, pareciera indicar que existen, junto al eficiente proceso de reciclaje, mezclas con aguas cuyas concentraciones de fósforo sean superiores a las que proceden del río Orinoco. El único fenómeno conocido en la zona que aporta aguas diferentes a las de ese río es el afloramiento de aguas profundas, importante en las costas de la Península de Paria y norte de Trinidad (Figura 7). Existen, además otros procesos físicos y químicos, estrechamente relacionados con el río Orinoco que mejoran la capacidad productora de las aguas superficiales en el mar Caribe: el transporte de sólidos

suspendidos (SS) con su carga de metales traza y materia orgánica y su posterior sedimentación; el fenómeno de desorción y enfrente que forman en la propia Boca de Dragón las aguas que afloran en el extremo oriental de la Península de Paria y que regula parte de los movimientos de las masas de agua en sus cercanías.

El afloramiento o surgencia, fenómeno oceánico costero fuertemente asociado al viento, transporta aguas profundas hasta la superficie. Característico de la costa oriental de Venezuela y la costa norte de Trinidad es claramente observable en las imágenes de satélite. Estas aguas, saladas y frías (tonos morados y azules en la Figura 5 que son en general más ricas en nutrientes, se mezclan con las que llegan del sur más calientes y menos saladas (tonos verdes, amarillos y marrones claros). Como está asociado al viento es más fácil observarlo en los primeros meses del año cuando éste tiene mayor intensidad. Sin embargo, ocurre durante todo el año con variaciones en su intensidad, el área que influencia y en alguna de sus variables físicas, especialmente temperatura. Las imágenes de satélite muestran que las temperaturas de las aguas superficiales cercanas a la costa nor-oriental de Venezuela son siempre entre 1 y 3 °C menores con relación a las registradas mar adentro. Como el caudal del Orinoco tiene comportamiento opuesto al del viento (Figura 3), la estacionalidad de ambos fenómenos ha permitido atribuir a uno u otro (surgencia - río Orinoco) la responsabilidad principal en la fertilización del Caribe a lo largo del año (Muller Karger et al. 1989-1990).

La corriente costera y la corriente de marea que recorren el extremo oriental de la Península de Paria (Pelegrí y Padrón 1986) transportan al este las aguas afloradas en la zona costera. Allí forman el frente S-N mencionado que obliga a las aguas procedentes del Golfo de Paria a moverse hacia el norte; igualmente, las aguas atlánticas contienen a las que proceden del sur y circulan por el este de Trinidad y

Tabla 2. Concentraciones superficiales promedio ($\mu\text{g-at/l}$) de fosfatos, nitratos y silicatos. Fuente: EDIMAR. Fundación La Salle. (Expediciones LS 1, marzo y LS 9, julio)

Ambiente	Fosfatos		Nitratos		Silicatos	
	Marzo	Julio	Marzo	Julio	Marzo	Julio
Plataforma Deltana	0,34	0,29	5,5	3,50	8,01	7,34
Golfo de Paria	0,3	0,52	2,53	2,87	9,8	9,93
Caribe sur oriental	0,41	0,34	2,6	2,90	5,25	6,77

Tabla 3. Estimación de biomasa (Toneladas) en el extremo nororiental de América del Sur en agosto de 1988, (Stromme y Saetersal, 1989). 1: Anchoas, sardinas, jureles, atunes, carites, etc. 2: Curvina, pargo, mero, roncador, etc.

Ambientes	Norte de Paria	Norte de Trinidad	Este de Trinidad	Zona común	Plataforma deltana
Pelágicos ¹	1240.000	18.000	30.000	84.000	70.000
Demersales ²	47.000	4.700	Sin información	13.000	26.000

Tabla 4. Estimación de biomasa (Toneladas) en la plataforma al norte de la Península de Paria durante el año 1988, según Stromme y Saetersal (1989). Pelágicos 1: Anchoas y sardinas. Pelágicos 2: Jureles, atunes, carites, etc.

Meses y periodos	Pelágicos 1	Pelágicos 2	Total
Febrero	1220.000	230000	1450.000
Mayo - junio	830.000	40.000	870.000
Agosto	1100.000	140.000	1240.000
Octubre - noviembre	840.000	20.000	860.000

las obligan a ingresar por el extremo sur oriental del Caribe. Unidas a las que ingresaron por Boca de Dragón se incorporan a la rama sur de la Corriente del Caribe (Figura 5)

Los frentes oceánicos, aunque todavía no se han estudiado lo suficiente, constituyen espacios de estudio de gran interés tanto en oceanografía física como biológica. (Belkin et al. 2009): se encuentran en todos los océanos; en América Latina sobresalen los de la Patagonia, Golfo de México, California y la costa del Pacífico entre Chile y Colombia, representan áreas donde se interrelacionan aguas de distintos orígenes y controladas por fenómenos físicos, oceánicos y atmosféricos. La oscilación en las mareas favorece la variación de rumbo en las corrientes costeras lo que provoca la formación de un corredor generalmente muy bien definido por el que se mueven las masas de agua que transportan nutrientes y organismos. En Boca de Dragón confluyen todos estos elementos y se forma un frente que, a pesar de ser de magnitud notoriamente menor a los mencionados, genera a pequeña escala resultados parecidos a los observados en ellos.

El río Orinoco transporta un importante volumen de sólidos en suspensión calculada entre 100 y 150 millones de toneladas al año (Meade et al. 1990, Monente 1989-1990b). Parte de ellos llega al Caribe aunque el mayor volumen se queda en su delta, la plataforma continental y el Golfo de Paria. van Andel (1967) estima que la mayoría de ellos iría a

parar tanto al Golfo de Paria como a la plataforma continental en el Caribe suoriental. La formación del Delta del Orinoco y el crecimiento que se observa todavía en varios sectores, especialmente en su sector sur y su más inmediata plataforma parecen sugerir que parte importante de los sólidos, aunque no cuantificada, se sedimenta en el Delta, en la Plataforma Deltana y en Golfo de Paria (Monente et al. 2017). El aumento en la transparencia contribuye a mejorar la actividad de los productores primarios al permitir la penetración de la luz a mayor profundidad ya que antes de ingresar al Caribe por Boca de Dragón son atrapadas por la corriente anticiclónica que prevalece en el centro del golfo de modo que ocurre sedimentación al estar más tiempo en él (Van Andel y Postma 1954).

Los sólidos suspendidos, especialmente los más finos, actúan como transportadores de la mayor parte de los metales pesados al medio marino. Tanto los de origen natural como los derivados de las actividades humanas tienen tendencia a formar asociaciones con otras sustancias minerales como carbonatos y, especialmente, con sustancias de origen orgánico mediante intercambio iónico, adsorción, etc. Uno de los mecanismos que facilita su liberación al entrar en contacto con el agua salada es la desorción al cambiar las condiciones físicas y químicas del medio acuoso, pues la asociación metal-sedimentos finos es débil por provenir, generalmente, de aportes recientes y no formar parte de la

estructura cristalina del sedimento (Prado et al. 1986). Los metales traza, esenciales para el crecimiento del fitoplancton, son catalizadores de los procesos fotosintéticos: el Mn y el Mo, y especialmente el Fe, tienen actividad esencial durante la fotosíntesis; los complejos de Cu sirven como cofactores en los ciclos de oxidación-reducción. Los compuestos orgánicos, especialmente los ácidos húmicos, tienen en el mar una acción quelante y por ello juegan un papel muy importante al mantener los metales traza en forma disponible para que el fitoplancton los aproveche.

La liberación de metales a bajas salinidades se debe a la floculación (principalmente a la formación de oxihidróxidos de Fe y Mn) y a la rápida precipitación como consecuencia de los cambios en el pH, en la fuerza iónica y en la salinidad que ocurre al mezclarse el agua dulce y la salada (Martínez y Senior 2001). Ello facilita la desorción y algunos metales se liberan y quedan disponibles para que el fitoplancton los aproveche mientras que otros se hunden y sedimentan en el fondo (Prado et al. 1986). En las aguas del río Orinoco, en particular, los metales están asociados a los sólidos suspendidos en porcentajes que fluctúan entre el 77,8% y 98,6 (Zn y Cu) mientras que el Fe, el Cr y el Ni superan el 90%, (Sánchez 1990). Por ello, las concentraciones de metales medidas en el río Orinoco son más bajas que las encontradas en la planicie deltaica, la plataforma o el talud (Yanes et al. 2005). Si bien no se han realizado estudios sobre desorción en esta zona, los realizados en otras áreas costeras de Venezuela demuestran cómo se separan los metales de los sólidos finos a los que viajan adheridos: Arrieche (1981) y Prado et al. (1986) en el río Tuy, Martínez y Senior (2001) en el río Manzanares. Estudios realizados muestran que tanto los sólidos suspendidos como los sedimentos de la plataforma continental y del Golfo de Paria tienen adheridos a ellos metales trazas en concentraciones muy altas en especial Fe y Al (Sánchez 1990, Torgeir 2004, Alfonso et al. 2005, Yáñez et al. 2005, Martín et al. 2007).

La materia orgánica disuelta, especialmente los ácidos húmicos son, probablemente, los mejores queladores (Margalef 1974). Por ello juega un papel muy importante en el mar el mantener disponibles los metales traza para que el fitoplancton los aproveche al facilitar la solubilización de ciertos elementos (ej. Fe) como también al inmovilizar a otros que en concentraciones altas pueden convertirse en tóxicos (ej. Cu).

Las concentraciones de carbono orgánico disuelto no son excepcionalmente altas en las aguas del río Orinoco aunque se encuentran dentro del rango

esperado en un río de características similares Lewis y Saunders (1990); sin embargo, dado su gran caudal su aporte al mar es importante. El volumen de carbono orgánico total transportado por el río Orinoco oscila entre $6,8 \times 10^6$ TM/año (Lewis y Saunders 1990) y $7,1 \times 10^{12}$ g C/año (López et al. 2012).

Las aguas del río Orinoco, antes de unirse con las aguas profundas afloradas en el Caribe suroriental, experimentan cambios importantes bajo la acción de procesos físicos y químicos reforzados por otros de origen oceánico y atmosférico. La unión de ambas genera un florecimiento de fitoplancton cuya manifestación más notoria durante ciertos meses del año es una pluma de clorofila observable en casi todo el Caribe oriental. En los otros meses, la pluma si bien no desaparece, ofrece formas diferentes: tiene menor desarrollo y se mueve hacia el oeste donde sostiene la producción secundaria en forma de recurso pesquero tanto pelágico como demersal (Tabla 4). La Figura 6 muestra las cinco zonas a que hacen referencia las tablas 3 y 4 que se diferencian tanto por el volumen de agua que reciben del Orinoco como por la distancia recorrida por éstas antes de alcanzarlas. Las concentraciones de biomasa son bajas en la plataforma deltaica y la zona común entre Trinidad y Venezuela (A y B respectivamente en la Figura 6), a pesar de recibir la totalidad de los aportes del Orinoco; lo encontrado en la zona común es ligeramente superior debido, probablemente a que ya han ocurrido los primeros procesos físicos y biogeoquímicos (desorción y sedimentación) y se ha formado el primer frente (claramente identificable al navegar por la zona) entre las aguas oceánicas y las del Orinoco. Por otro lado, las zonas costeras de Trinidad (C y D en la Figura 6) reciben muy poca agua del Orinoco a pesar de que en aguas altas parte importante de su caudal circula al este de Trinidad e ingresa al Caribe por el norte de esa isla; las aguas de afloramiento presentes en ellas impiden que se acerquen a la costa (Stromme y Saetersal 1989). Como consecuencia los volúmenes de biomasa encontrados son mínimos. La plataforma continental al norte de la Península de Paria y hasta la isla de Margarita presenta volúmenes de biomasa muy altos tanto en forma de organismos pelágicos como demersales. Estos volúmenes que varían a lo largo del año (Tabla 4) de acuerdo al comportamiento del río o el viento (Figura 3) no presentan diferencias entre aguas altas y bajas o vientos de alta o baja intensidad. En cambio, la diferencia es notoria con respecto a los periodos calificados como de transición. Esto pareciera indicar que las aguas del Orinoco y las que afloran se complementan durante

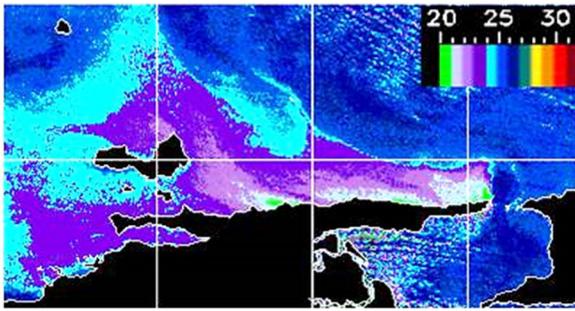


Figura 7. Temperatura superficial (3-01-1998; imagen ‘AVHRR Oceans Pathfinder SST data’).

todo el año de forma tal que la combinación de ambas genera inicialmente florecimiento de biomasa (producción primaria) que luego se convierte en recurso pesquero (producción secundaria).

Mientras que en la segunda parte del año la pluma del Orinoco ocupa gran parte del Caribe oriental, en la primera se dirige hacia el este donde el afloramiento se encuentra en su momento de mayor desarrollo generando condiciones favorables para el florecimiento masivo del plancton. Además, la presencia de aguas frías constituye la situación ideal para que los productores secundarios, especialmente la sardina, encuentren las condiciones óptimas en las costas de Araya, Coche y Margarita. Allí se reunían grandes cardúmenes de sardina de forma tal que, en el pasado esta pesquería representaba el mayor volumen de capturas para Venezuela. Esta situación cambió radicalmente a partir del año 2005. Hasta el año 2004 las capturas fluctuaban entre 150.000 y 200.000 Tm. A partir de ese año comenzó un rápido descenso que para el año 2012 se había reducido a 35.000 Tm (Gómez et al. 2014).

Varias son las causas a las que se ha atribuido la responsabilidad del cambio. Se ha comprobado la disminución en la intensidad del viento y como consecuencia afloramiento más débil y temperaturas más altas lo que ha significado la disminución significativa en la biomasa fitoplanctónica (Gómez et al. 2014) afectando a toda la cadena trófica especialmente al volumen de sardina capturada. Un elemento clave adicional fue la sobrepesca realizada en los años 2003 y 2004 (Cárdenas 2013).

Las imágenes de satélite recientes muestran varias situaciones reveladoras: todavía en Boca de Dragón se sigue generándose la pluma de clorofila durante los primeros meses del año y que se dirige hacia el oeste pero no alcanza las zonas tradicionales de congregación de la sardina; muestran también las altas temperaturas de las aguas superficiales alrededor de ellas. La contracorriente litoral que recorre

la plataforma continental, probablemente originada de un giro ciclónico en las corrientes de la zona provocado por la cordillera submarina de Aves y su prolongación hasta la isla Margarita (Pelegrí y Padrón 1986) pareciera tener mayor intensidad y ser la responsable de la barrera que limita el acercamiento de la pluma del Orinoco y los diferentes compuestos que transporta a las zonas de afloramiento, lugares donde antes se concentraba la sardina; además, las temperaturas más altas explicaría su ausencia.

Las capturas reportadas en estos dos últimos años muestran mejores resultados, aunque se han observado cambios en los lugares de captura (50.000 toneladas: J. J. Cárdenas comunicación personal). La noticia es buena aunque todavía no se ha evaluado técnicamente si este aumento se relaciona con una pequeña recuperación de los stocks o a causas circunstanciales, situación que es muy importante investigar, pues el equilibrio entre los aportes del río Orinoco y la llegada de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes que favoreció el florecimiento de fitoplancton y la abundancia de organismos pelágicos y demersales se ha roto con las consecuencias señaladas.

5. CONCLUSIÓN

La presencia de la importante pluma de clorofila que recorre el Caribe sur oriental en ciertos meses del año tiene su origen en los aportes del río Orinoco al océano aunque sus aguas son deficientes en algunos nutrientes, especialmente fósforo. Ello significa que, además del eficiente proceso de reciclaje biogeoquímico y las mezclas durante su recorrido, parecieran existir otros mecanismos que mejoran la productividad de las aguas procedentes del sur. Éstos serían de carácter físico como el aumento en la transparencia por sedimentación de los sólidos suspendidos y la llegada a la superficie de aguas profundas ricas en nutrientes como consecuencia del afloramiento, la presencia del frente formado en el extremo oriental de la Península de Paria y las mezclas entre los diferentes tipos de agua. También procesos geoquímicos como la liberación de metales traza, esenciales durante la fotosíntesis, por desorción y la presencia de compuestos orgánicos, ácidos húmicos, que ejercen el papel de agentes quelantes. Al llegar al Caribe promueven el florecimiento del fitoplancton cuyo resultado es origen de la pluma de clorofila que lo recorre durante ciertos meses del año y el aumento en la productividad secundaria en otros

La unión del agua del río Orinoco con todos estos factores adicionales proporciona al Caribe suroriental no sólo una diversidad biológica extraordinaria, también una abundancia en el recurso

pesquero que lo convirtió en un espacio privilegiado. Lamentablemente, tecnologías pesqueras perversas unidas a la sobreexplotación de las poblaciones y a cambios ambientales relacionados con el cambio climático han limitado, y a veces arruinado, lo que debiera ser la relación perfecta entre los espacios continentales y los acuáticos como lo es la que se establece entre el río Orinoco y el Caribe.

Los aportes del Orinoco son fundamentales pero no son los únicos, existen otros factores que participan en todo el proceso y solamente se convierten en agentes de cambio después de la participación conjunta de todos ellos y experimentar una serie de transformaciones promovidas por los fenómenos físicos y químicos que interactúan en la zona. En consecuencia, alteraciones en cualquiera de ellos generan cambios muy importantes en la evolución general de todo el sistema. Un claro ejemplo de ello es lo observado en estos últimos años con la disminución de las poblaciones de sardinas. El cambio en la intensidad del viento y el aumento de la temperatura de las aguas superficiales se está manifestando en la disminución de fitoplancton con consecuencias negativas para el resto de la cadena trófica. Así mismo, no estamos en capacidad de evaluar, por carecer de los estudios correspondientes, como está impactando a la diversidad biológica de su cuenca, su delta y su zona de influencia la degradación observada en el Orinoco en años recientes. En resumen, el aumento en la productividad que se observa en el Caribe oriental con manifestaciones diferentes a lo largo del año: pluma de clorofila y producción pelágica, proviene de los aportes del río Orinoco reforzados por la presencia de aguas de afloramiento facilitados por procesos físicos y químicos.

6. REFERENCIAS

- Alfonso, J. A., Molina, L., Bastidas, C. y Flores, S. 2005. Comportamiento de metales traza en sedimentos marinos de costa afuera del Delta del Orinoco. (pp: 94-101). En: Gómez, M. G., Capaldo, M., Yanes, C., Martín, A. (Eds.). *Frente Atlántico venezolano. Investigaciones geoambientales: Ciencias de la Tierra*. Tomo II. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA). Fondo Editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela.
- Arango, F. J. 1969. Derrame de las aguas del río Orinoco en el mar Caribe sudoriental. *Fisheries Report*. 71.1: 27-30 UNESCO, París, Francia.
- Arrieche, E., Ramírez, A., Kretzein, H. y Bifano, C. 1981. Influencia del río Tuy en el Caribe. *Acta Científica Venezolana*. 32: 184-186.
- Astor, Y. 2004. Caracterización físico ambiental. (pp: 1-8). En Monente, J. A. (Ed). *Plan de seguimiento ambiental Proyecto Plataforma Deltana*. Informe Técnico de EDIMAR. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA). Caracas, Venezuela.
- Ballester, A. 1965. Tablas Hidrográficas. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 70-71 y 72: 41-140.
- Ballester, A. y Margalef, R. 1965. Productividad primaria. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 70-71-72: 209-221.
- Belkin, I. M., Cornillon, P. C. y Sherman, K. 2009. Fronts in large marine ecosystems. *Progress in Oceanography*. 81: 223-236.
- Bidigare, R. R., Ondrusek, M. E. y Brooks, J. M. 1993. Influence of the Orinoco River outflow on distributions of algal pigments in the Caribbean Sea. *Journal of Geophysical Research*. 98 (C2): 2259-2269.
- Bonilla, J., Senior, W., Bugden, J., Zafriou, O. y Jones, R. 1993. Seasonal Distribution of Nutrients and Primary Productivity on the Eastern Continental Shelf of Venezuela as influenced by the Orinoco River. *Journal of Geophysical Research*. 98 (C2): 2245-2257.
- Caliènes, R., O. Guillén y N. Lostaunau. 1985. Variabilidad espacio-temporal de clorofila, producción primaria y nutrientes frente a la costa peruana. *Boletín del Instituto Marino Perú*. 10: 6-12.
- Cárdenas, J. J. 2013. Sardina: La tormenta perfecta. *COFA*. 11: 5-18.
- Cárdenas, J. J. y Achury, A. 2002. Acústica pesquera de los recursos marinos del nororiente de Venezuela: evaluación y seguimiento espacio-temporal del stock de sardina (*Sardinella aurita* Valenciennes 1847). *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 154: 39-54.
- Castellanos, P., Varela, R. y Muller-Karger, F. 2002. Descripción de las áreas de surgencia al sur del Mar Caribe examinadas con el sensor infrarrojo AVRR. *Memoria Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 154: 51-72.
- Cherubin, L. M. y Richardson, P. L. 2007. Caribbean current variability and the influence of the Amazon and Orinoco freshwater plumes. *Deep-Sea Research. Part I-Oceanographic Research Papers*. 54(9): 1451-1473.
- Corredor, J., Morell, J. M., López, J. M., Capella, J. y Armstrong, R. A. 2004. Cyclonic Eddy Entrains Orinoco River Plume in Eastern Caribbean". *EOS Transactions, American Geophysical Union*. 85(20): 197-208.
- Del Castillo, C. E., Coble, P. G., Morell, J. M., López, J. M. y Corredor, J. E. 1999. Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry*. 66(1-2): 35-51.
- Froelich, P. N., Atwood, D. K. y Giese, G. S. 1978. Influence of Amazon River water on surface salinity and dissolved silicate concentration in the Caribbean Sea. *Deep Sea Research*. 25: 735-744.
- Gade, H. G. 1961. On some oceanographic observations in the southeastern Caribbean Sea and Adjacent Atlantic Ocean with special reference to the influence of the Orinoco River. *Boletín Instituto Oceanográfico Venezuela*. 2: 287-342.
- Gerlotto, F. y Ginés, H. 1988. Diez años de ecoinvestigación en EDIMAR, referida a la sardina del oriente venezolano (*Sardinella aurita*). *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 48 (Sup. 3): 311-324.
- Gilbes, F. y Armstrong, R. A. 2004. Phytoplankton dynamics in the eastern Caribbean Sea as detected by space

- remote sensing. *Journal of Remote Sensing*. 25(7-8): 1449-1452.
- Gómez, A. G., Mata, E. y Gómez, O. 2014. Crisis de la pesca de sardina en Venezuela: variación de la biomasa del fitoplancton en el este de Margarita, una década de estudio (2003-2012). *Boletín Instituto Oceanográfico Venezuela*. 53 (1): 25-36.
- Hu, C. E., Montgomery, T. R., Schmitt W. y Muller-Karger, F. E. 2004. The dispersal of the Amazon and Orinoco River water in the tropical Atlantic and Caribbean Sea: Observation from space and S-PALACE floats. *Deep Sea Research*. Part II, 51(10-11): 1151-1171.
- Johns, W. E., Townsend, T. L., Fratantonic, D. M. y Wilson, W. D. 2002. On the Atlantic inflow to the Caribbean Sea. *Deep-Sea Research I* 49: 211-243
- Lewis, W. M. Jr. y Saunders, J. F. 1990. Chemistry and transport by the Orinoco main stem and lower tributaries (pp: 211-239). En: Weibezahn, F. H., Álvarez, A., Lewis, W. H. Jr. (Eds.). *El Orinoco como ecosistema*. Caracas. Venezuela.
- López, R., Del Castillo, C. E., Miller, R. L., Salisbury, J. y Wisser D. 2012. Examining organic carbon transport by the Orinoco River using SeaWiFS imagery. *Journal of Geophysical Research*. 117, G03022, doi:10.1029/2012JG001986.
- López, V., López, J. M., Morell, J., Corredor, J. E. y Del Castillo, C. E. 2013. Influence of the Orinoco River on the primary production of eastern Caribbean surface waters. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 118: 4617-4632.
- Margalef, R. 1974. *Ecología*. Ediciones Omega. Barcelona. España.
- Martín, A. y Bone, D. (Eds.). 2007. *Línea base ambiental Plataforma Deltana*. Petróleos de Venezuela, S. A. Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela.
- Martínez, G. y Senior, W. 2007. Especiación de metales pesados (Cd, Zn, Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del río Manzanares, Venezuela. *Intervención*. 26: 53-61.
- Meade, R. H., Weibezhan, F. H., Lewis W. H. y Pérez Hernández, D. 1990. Suspended sediment budget for Orinoco river (pp: 55-80) En: Weibezahn, F. H., Álvarez, A., Lewis, W. H. Jr. (Eds.). *El Orinoco como ecosistema*. Caracas. Venezuela.
- Molinet, R., Arocha, F. y Cárdenas, J. J. (Eds.). 2008. *Evaluación de los recursos pesqueros en el oriente venezolano*. Petróleos de Venezuela S. A. Universidad Simón Bolívar. Caracas. Venezuela.
- Monente, J. A. 1986. Influencia del río Orinoco en el Caribe. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 46 (125-126): 95-105.
- Monente, J. A. 1989-1990a. Influencia del río Orinoco en el Caribe. Materia en suspensión. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 50: (131-134): 347-360.
- Monente, J. A. 1989-1990b. Materia en suspensión transportada por el río Orinoco. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 50 (5-13): 347-360.
- Monente, J. A. 1997. Phenomena contributing to the periodic enrichment of Caribbean waters. *Intervención*. 22(1): 24-27.
- Monente, J. A. 1992. Contribución del río Orinoco a la formación de las aguas superficiales del Caribe. *Intervención*. 17(2): 105-111.
- Monente, J. A., Colonnello, G. y Herrera, O. 2017. Los ríos del Delta del Orinoco: Situación y riesgos (pp: 127-149). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centrocidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Morell, J. M. y Corredor, J. 2001. Photomineralization of Fluorescent Dissolved Organic Matter in the Orinoco River Plume: Estimation of Ammonium Release. *Journal of Geophysical Research*. 106(C8) 16807-16813.
- Morris, I., Smith, A. y Glover, H. E. 1981. Products of photosynthesis in phytoplankton off the Orinoco river and in the Caribbean Sea. *Limnology Oceanography*. 26(6): 1034-1044.
- Muller-Karger, F. y Varela, R. 1989-1990. Influjo del río Orinoco en el mar Caribe Observaciones con el CZCS desde el espacio. *Memoria Sociedad Ciencias Naturales La Salle*. 131-134: 361-390.
- Odrizola, A. L., Varela, R., Hu, C., Astor, Y., Lorenzoni, L. y Muller-Karger, F. E. 2007. On the absorption of light in the Orinoco River plume. *Continental Shelf Research*. 27(10-11): 1447-1464.
- Pelegrí, J. y Padrón, D. 1986. Algunas características del régimen de corrientes en la Plataforma Continental del norte de la Península de Paria. *Boletín Instituto Oceanográfico Venezuela*. 25 (1&2): 35-53.
- Prado, M., Pérez, R., Pérez, A., Mogollón, J. L. y Bifano, C. 1986. Fenómenos de desorción en el sistema aguas-sedimentos de la cuenca del río Tuy. *Acta Científica Venezolana*. 37: 338-339.
- Rincón, F., Astor, Y., Muller-Karger, F., Varela, R., Odrizola, A. L. 2008. Características oceanográficas del flujo en Boca de Dragón, Venezuela. *Memoria de la Fundación La Salle de Ciencias Naturales*. 168: 7-24.
- Rodríguez, L. y Schneider, E. 2005. Nutrientes en el frente atlántico venezolano (pp: 134-150). En: Gómez, M. G., Capaldo, M., Yanes, C., Martín, A. (Eds.). *Frente Atlántico venezolano. Investigaciones geoambientales: Ciencias de la Tierra*. Tomo II. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA). Fondo Editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela.
- Rueda-Roa, D. T., Ezer, T. y Muller-Karger, F. E. 2018. Upwelling in the Southern Caribbean Sea from Remote Sensing and local data. *Journal of Marine Science and Engineering*. 6.36; doi:10.3390/jmse6020036
- Sánchez, J. C. 1990. La calidad de las aguas del río Orinoco (pp: 41-68). En: Weibezahn, F. H., Álvarez, H., Lewis, W. H. Jr. (Eds.). *El Orinoco como ecosistema*. Caracas. Venezuela.
- Strickland, J. D. y Parsons, T. R. 1968. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Ottawa. Fisheries Research Board of Canada, Bulletin 167.
- Stromme, T. y Saetersdal, G. (Eds.). 1989. *Prospecciones de los recursos pesqueros de las áreas de la Plataforma entre Surinam y Colombia*. 1988. Instituto de Investigaciones Marinas (IMR). Bergen. Noruega.
- Torgeir, B. 2004. Results on contaminants in the sediment around 2 exploratory wells, Dorado 1X and Dorado 2X,

- during March 2004 (pp: B1-B4). En: Monente, J. A. (Ed.). *Plan de Seguimiento Ambiental Proyecto Plataforma Deltana*. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA). Caracas, Venezuela.
- van Andel, T. H. y Postma, H. 1954. *Recent sediments of the Gulf of Paria*. Verh. Der Koninklijke Nederlandse Akad van Wetensch Afd Natuurknde, Eerste Reeks. North Holland Pub. Co., Amsterdam. Holland.
- van Andel, T. J. H. 1967. The Orinoco Delta. *Journal of Sedimentary Petrology*. (37) 2: 297-310.
- Wust, G. 1964. *Stratification and circulation in the Antillean-Caribbean Basins. Pat.1. Spreading and mixing of the water types*. N.Y. Columbia University Press. New York. USA.
- Yanes, C., Ramírez, A. y Tosiani, T. 2005. Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales marinos frente al Delta del Orinoco, Venezuela. (pp: 102-112). En: Gómez, M. G., Capaldo, M., Yanes, C., Martín, A. (Eds.). *Frente Atlántico venezolano. Investigaciones geoambientales: Ciencias de la Tierra*. Tomo II. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA). Fondo Editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela.

Influencia de las sequías sobre el régimen hídrico de los ríos en Venezuela

Franklin PAREDES-TREJO¹, Humberto BARBOSA-ALVES²,
María Alejandra MORENO-PIZANI³ y Asdrúbal FARÍAS-RAMÍREZ³

1. Grupo para Investigación sobre Cuencas Hidrográficas y Recursos Hidráulicos. Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Los Llanos Occidentales 'Ezequiel Zamora'. San Carlos, Cojedes, Venezuela. franklinparedes75@gmail.com
2. Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites. Instituto de Ciências Atmosféricas. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Alagoas, Brasil. barbosa33@gmail.com
3. Departamento de Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Aragua, Venezuela. morenom76@gmail.com; ajfara@gmail.com

La sequía es un fenómeno climático que ha tomado gran importancia mediática en Venezuela debido a los complejos impactos socioeconómicos que causó el evento seco del año 2015-2016 sobre el régimen hídrico de los ríos más importantes del país. Para contribuir a mejorar la comprensión del efecto de las sequías sobre las grandes cuencas hidrográficas de Venezuela, en este capítulo se discuten los resultados más relevantes del análisis espacial y temporal de las sequías, basado en la información capturada por sensores remotos durante el periodo 1981-2017. El Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Salud de la Vegetación (VHI) fueron empleados como índices climático y biofísico, respectivamente. Los resultados sugieren que las cuencas venezolanas con mayor resiliencia ante las sequías hidrológicas son aquellas que presentan una amplia área drenada; una vegetación en que dominan las especies vegetales con abundante dosel y espacialmente densas, un régimen climático húmedo y una baja exposición a sequías meteorológicas. Por otro lado, se notó que las cuencas localizadas en la vertiente al Mar Caribe presentan una menor resiliencia a las sequías que aquellas situadas en otras vertientes del país.

Palabras Clave: sequía hidrológica, Índice de Precipitación Estandarizado, estrés hídrico, recursos hidrobiológicos

1. INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno natural caracterizado por una deficiencia prolongada de lluvias sobre una región geográfica determinada (Fuchs et al. 2014). A diferencia de otros riesgos naturales, las sequías evolucionan muy lentamente y suelen desencadenar complejos impactos medioambientales y socioeconómicos, los cuales siguen manifestándose más allá de su finalización (IPCC 2014, Wilhite et al. 2014). Los eventos más recientes y devastadores afectaron extensas regiones en Somalia (años 2015-17), Kenia (años 2014-15), Etiopía (años 2015-17) y Malawi (años 2015-16), causando hambrunas sin precedentes y migraciones humanas masivas hacia los países vecinos (Liebmann et al. 2014, Nicholson 2014). Algunos estudios han señalado que la sequía fue el detonante del conflicto bélico en Siria (De Châtel 2014, Gleick 2014). En Sudamérica, uno de los episodios seco más notable de la presente década, ocurrió en el noreste de Brasil entre los años 2012 y 2015, ocasionando cuantiosas pérdidas agrícolas (Gutiérrez et al. 2014, Campos 2015, Marengo et al. 2016). En el caso de particular de Venezuela, la sequía del año hidrológico 2015/16 marcó un hito histórico, pues casi colapsa el sistema hidroeléctrico nacional (Reyer et al. 2015, Paredes et al. 2016a).

La sequía puede ser vista como una señal que refleja la variabilidad natural del clima (Thornton et al. 2014); sin embargo, hay una creciente preocupación internacional debido al incremento de su recurrencia en diferentes regiones climáticas del orbe (Dai 2012, Feng y Fu 2013, Cook et al. 2014, McCabe et al. 2015). En algunos trabajos científicos, relativamente recientes, se ha sugerido que esta singularidad en el clima podría estar siendo impulsada por el calentamiento global (Trenberth et al. 2013, Damberg y Agha-Kouchak 2014, Funk et al. 2014, Kelley et al. 2015). Así pues, la evidencia observacional muestra que la sequía es una amenaza climática capaz de modificar temporalmente las pautas consideradas normales del ciclo hidrológico en cualquier cuenca hidrográfica de la zona intertropical, afectando severamente los asentamientos humanos (Chambers y Roberts 2014, Valverde y Marengo 2014, Lopes et al. 2016).

Desde el punto de vista operacional, las sequías se categorizan en tres grandes tipos: meteorológicas, agrícolas e hidrológicas (Wilhite 2000, Paredes et al. 2015). De forma muy simplificada, se puede decir que una deficiencia prolongada en la precipitación causa una sequía meteorológica; su persistencia en el tiempo reduce el contenido de humedad superficial del suelo y seguidamente en la zona radicular, dando origen a una sequía agrícola; la extensión temporal de tales condiciones conduce a una sequía hidrológica,

caracterizada por una recarga deficiente de los acuíferos, la merma del caudal en los ríos y un descenso sostenido del nivel en los lagos y embalses (Zargar et al. 2011, Mehran et al. 2015, Hao y Singh 2015).

Como se mencionó, la sequía meteorológica es una consecuencia de la variabilidad natural climática, pero la velocidad con la cual se agota la humedad en el suelo depende de la humedad antecedente, evaporación desde el suelo desnudo, evapotranspiración, infiltración-percolación y escorrentía. En algunos casos, la evapotranspiración potencial puede aumentar por el incremento de la radiación, viento o déficit de presión de vapor en la atmósfera, resultando una pérdida extra de humedad; no obstante, las plantas pueden ralentizar su evapotranspiración al encontrarse bajo estrés hídrico y por tanto, controlar la retroalimentación atmósfera-suelo-atmósfera (Van Loon 2015). El agotamiento de la humedad en el suelo también disminuye la recarga de los acuíferos y el flujo volumétrico de escorrentía superficial y subsuperficial a los ríos. De nuevo, la velocidad a la cual decrece el caudal de los ríos, el nivel freático, así como el nivel de los lagos y embalses dependerá en gran medida de las características hidrogeológicas del acuífero que los alimenta (Vrochidou et al. 2013, Wang et al. 2016). Esta cadena de procesos físicos, temporalmente desfasados entre sí, se denomina propagación de la sequía; el cual es un término usado para referirse a los cambios que sufre el pulso seco (i.e., sequía meteorológica) a través del componente terrestre del ciclo hidrológico (Van Loon 2015, Van Loon y Laaha 2015, Huang 2017).

Una sequía se caracteriza por su duración (i.e., intervalo de tiempo entre su inicio y finalización), magnitud (i.e., déficit acumulado respecto a un umbral), intensidad (i.e., relación entre magnitud e intensidad; en algunos casos se denomina, severidad), extensión geográfica (i.e., área afectada por la sequía) y tiempo de recurrencia (i.e., intervalo de tiempo entre dos eventos de igual severidad) (Salas 1993, Vano et al. 2014). Para cuantificar estos parámetros, se han formulado una amplia variedad de índices numéricos basados en los registros de la precipitación, el contenido de humedad en el suelo, el caudal/nivel de un cuerpo de agua, entre otras variables hidroclimáticas que son afectadas directamente por las rachas secas (Zargar et al. 2011, Hao y Singh 2015).

En casi todos los países en vías de desarrollo los registros hidroclimáticos son escasos, presentan un alto porcentaje de datos faltantes, una corta amplitud temporal y las estaciones de donde estos provienen están geográficamente dispersas, imposibilitando la caracterización precisa de las sequías (Paredes et al.

2014, 2015, Olivares et al. 2016a, 2016b). Esta limitación se ha venido superando con el uso de estimaciones para algunas variables hidroclimáticas (por ejemplo, precipitación), derivada de la información captada desde el espacio por sensores abordo de algunos satélites (Salio et al. 2015, Paredes et al. 2016b, Paredes et al. 2017, Zambrano et al. 2017).

A pesar de que las sequías en Venezuela han ocurrido con diferentes grados de intensidad y extensión espacial a lo largo de su historia (Padilla 2014, Foghin-Pillin 2015), la mayoría de los trabajos publicados que han tratado esta amenaza climática, focalizan su atención en las sequías meteorológicas, pues la precipitación es la variable hidroclimática con mayor abundancia de registros en el país (Mendoza y Puche 2014, Paredes et al. 2014, Olivares et al. 2016a; Trejo et al. 2016, Quiroz et al. 2016). En contraste, la valoración de la sequía hidrológica es un tópico poco investigado (Paredes et al. 2006, Paredes et al. 2016c), principalmente por la escasez de series temporales de flujo/limnimetría en los ríos perennes (Guevara 2007). En este punto, debe advertirse que los resultados provenientes de un análisis de sequía hidrológica con base solamente en mediciones de flujo/elevación en uno o varios puntos de un río, no son confiables si dicho río se encuentra dentro de una cuenca regulada, pues las anomalías que se detecten podrían deberse al manejo de la estructura de regulación (por ejemplo, embalse, bocatoma, derivación) y no a una sequía (Lorenzo-LaCruz et al. 2013, Zhang et al. 2014).

Si se toma en cuenta el concepto de propagación de la sequía en las cuencas hidrográficas, es posible tener una primera aproximación del efecto que causan las sequías sobre el régimen hídrico de los ríos a partir de la evolución espacio-temporal de las sequías meteorológicas y agrícolas, pues como se comentó, ambas preceden la ocurrencia de una sequía hidrológica (Van Loon 2015). En efecto, ciertos estudios han demostrado que algunos índices formulados para sequías meteorológicas, tales como el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI; por sus siglas en inglés), capturan bastante bien la dinámica de las sequías hidrológicas en las cuencas hidrográficas (Zhai et al. 2010, Adeogun et al. 2014).

En cuanto al efecto de la temperatura y el déficit de precipitaciones sobre la humedad del suelo, el Índice de Salud de la Vegetación (VHI, por sus siglas en inglés) ha sobresalido por integrar información sobre la temperatura del suelo y el verdor de la vegetación; ambos estrechamente relacionados con el estrés hídrico vegetal (Kundu et al. 2016, Marufah et al. 2017). Tanto el SPI como el VHI se derivan de sensores remotos, en consecuencia, su uso conjunto permite inferir el estado de los principales indicadores

climáticos (por ejemplo, precipitación) y biofísicos (por ejemplo, estrés hídrico en la vegetación) precursores de las sequías hidrológicas en grandes cuencas hidrográficas. Para contribuir a mejorar la comprensión del efecto de las sequías sobre las grandes cuencas hidrográficas de Venezuela, en este capítulo se discuten los resultados más relevantes del análisis espacial y temporal del SPI y VHI sobre todo el territorio venezolano.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Para mantener la racionalidad en el análisis de los resultados, el territorio venezolano continental se dividió en siete grandes regiones geográficas que ocupan una superficie conjunta de 1.064.690 km², correspondientes a las cuencas drenadas por los ríos Orinoco (60,48%), Esequibo (17,48%), Casiquiare-Río Negro (4,87%) y aquellas que tributan hacia el Mar Caribe (8,84%), Lago de Maracaibo (5,81%), Golfo de Paria (2,24%) y Lago de Valencia (0,29%). Como se nota en la Figura 1, esta configuración la determina el relieve. La cuenca del río Orinoco es la más extensa (643.875 km²) y separa físicamente las vertientes que tributan al Mar Caribe, Lago de Maracaibo y Golfo de Paria de las cuencas de los ríos Esequibo y Casiquiare-Río Negro. Su divisoria oeste, noroeste y central la conforman los puntos más elevados de la Cordillera de Los Andes (allí nacen, entre otros, los ríos Uribante, Caparo y Portuguesa) y la Cordillera de la Costa (de la cual surgen los ríos Guárico y Tiznados), mientras que en el extremo sur y sureste, la Serranía de Pacaraima (aquí nacen los ríos Caroní y Caura) y la Serranía de Parima cumplen la función de parte-aguas.

El clima predominante, basado en la clasificación de Köppen, es del tipo Aw y Aw' (lluvioso y cálido, con un máximo pluviométrico anual), claramente definidos en los llanos occidentales, centrales y orientales (Silva-León 2010), donde las sabanas sobre mesas, planicies aluviales de desborde altas, sabanas inundables y llanuras eólicas dominan el paisaje (Chacón-Moreno et al. 2013). Al extremo sureste del río Orinoco, el tipo de clima Af_i (selvático con un promedio mensual de precipitación > 60 mm), prevalece sobre la cuenca alta y media de los ríos Caroní y Caura. El tipo BSh (semiárido) se presenta en la vertiente Mar Caribe, específicamente en las cuencas de los ríos Neverí, Aragua y Manzanares al noreste de Anzoátegui; en la parte alta de la cuenca del río Tocuyo, y en las cuencas del litoral noroccidental (por ejemplo, río Hueque). Según la clasificación de Huber, el piso térmico megatérmico, caracterizado por una temperatura media anual mayor a 24 °C y una elevación media menor a 500 msnm, es dominante en

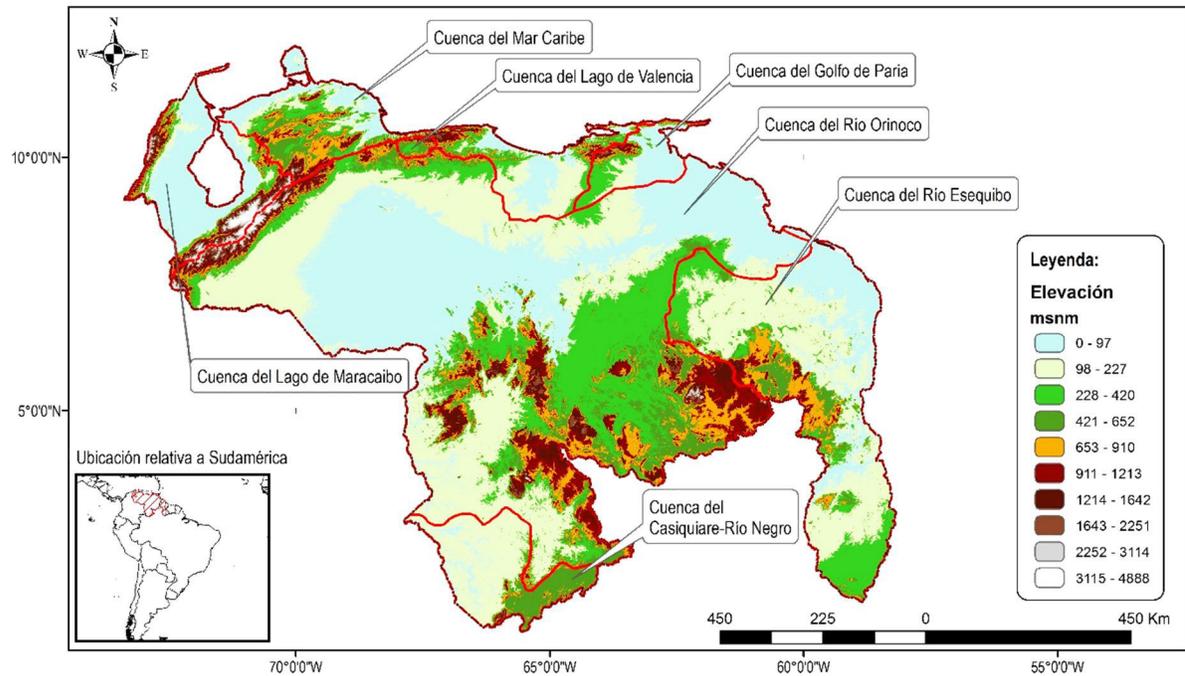


Figura 1. Ubicación e hipsometría de las unidades geográficas dentro del área de estudio. Modelo digital de elevación a 250 m derivado de proyecto USGS/NASA SRTM y rellenado por Jarvis et al. (2008)

casi toda el área ocupada por la cuenca del río Orinoco (León 2002). La precipitación media anual (PMA) presenta una alta variabilidad espacial y temporal, pero a gran escala muestra un gradiente decreciente en sentido sur-norte (Guenni et al. 2008). Al sur, la PMA supera los 3300 mm (clima muy cálido y pluvial, según Silva-León 2010), pero en la franja costera puede ser menor a 300 mm (clima muy cálido y seco, según Silva-León 2010).

La estacionalidad de la precipitación es controlada por la Zona de Convergencia Intertropical, la cual favorece la ocurrencia de lluvias entre abril y marzo sobre gran parte del país. Otras situaciones sinópticas, tales como las ondas del este, depresiones y tormentas tropicales, huracanes y restos de frentes fríos, también causan lluvias abundantes en cualquier momento del año. En contraste, la alta presión del Atlántico Norte inhibe temporalmente la formación de lluvia entre octubre y marzo, dando origen a una temporada seca espacialmente generalizada (Martelo 2003). Cabe destacar que el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) puede modificar el inicio y término del periodo de lluvia; como regla general, su fase cálida induce sequías, pero su contraparte fría se asocia con lluvias excedentarias (Pierre y Tirado 2007, Trejo et al. 2016). Similarmente, el contenido térmico del Atlántico Norte puede intensificar o debilitar la influencia del ENSO según el tipo de acoplamiento que se dé entre ambos (Rojas y Alfaro 2000), mientras que la Oscila-

ción Madden-Julian, que es un modo de variabilidad intraestacional, influye la actividad convectiva durante el periodo de lluvias (Tomaziello et al. 2016, De Oliveira et al. 2017).

En cuanto al escurrimiento superficial, en promedio, la cuenca del río Orinoco aporta, 37.384 m³/s; la del Lago de Maracaibo, 1.424 m³/s; la vertiente Mar Caribe, 263 m³/s; la del río Cuyuní, 483 m³/s; finalmente, la del lago de Valencia, 12 m³/s (Rodríguez-Betancourt y González-Aguirre 2000). A pesar del bajo rendimiento hídrico de la vertiente Mar Caribe, es allí donde se encuentran las cuencas hidrográficas más densamente pobladas; como por ejemplo, la de los ríos Tuy, Capaya y Guapo en el litoral central (Ovalles et al. 2012).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

a. Datos derivados de sensores remotos: debido a la escasez de registros pluviométricos de larga duración proveniente de una red de estaciones espacialmente bien distribuidas sobre el área de estudio, se emplearon las estimaciones de precipitación mensual del producto operacional denominado, Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS). CHIRPS fue desarrollado por el Servicio Geológico de los EEUU y el Grupo para Riesgos Climáticos de la Universidad de California, EEUU. Este producto combina la precipitación climatológica pentadal (i.e., 5 días); las observaciones

de satélites basadas en infrarrojo térmico del Centro para la Predicción del Clima de la NOAA (NOAA's Climate Prediction Center, CPC) y el Centro Nacional de Datos Climáticos (National Climatic Data Center, NDCC); los campos numéricos de lluvia modelados por el Sistema para el Pronóstico del Clima de la NOAA (NOAA Climate Forecast System, CFS); y una extensa cantidad de registros de precipitación in situ (Funk et al. 2015). CHIRPS es un producto reticulado con cobertura casi global (i.e., 50° S a 50° N, para todas las longitudes), resolución espacial de 0,05° (unos 5,3 km), y distribuido a intervalos diario, pentadal, decenal (i.e., 10 días) y mensual desde 1981 hasta cerca del mes presente. Para este estudio se escogió la versión 2 (CHIRPS v2), por ser la más reciente, estar disponible en <http://chg.ucsb.edu/> y haber sido validada con resultados satisfactorios en contra de los registros del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (Paredes et al. 2016b).

El VHI (Vegetation Health Index) se usó en este estudio. Este índice fue sugerido por Kogan (1995), pero se presentó formalmente en Kogan (2001). El VHI se deriva de la radiancia espectral diaria capturada por el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo de los satélites meteorológicos de órbita polar de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration); aunque desde 2011 se emplea el sensor Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) transportado por el satélite Suomi-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) (Cao et al. 2013). En principio, los valores de radiancia en las bandas visible (VIS: 0,58-0,68 μm), infrarrojo cercano (NIR: 0,72-1,1 μm) e infrarrojo térmico (IR: 10,3-11,3 μm y 11,5-12,5 μm), son remuestreados a 4 km. Para minimizar el efecto de las nubes, se prepara un compuesto de 7 días y selecciona a nivel de píxel, la radiancia de cada banda cuando la diferencia NIR-VIR es máxima. Para remover el ruido interanual y estacional en la radiancia se aplican varios filtros. Seguido se calcula el NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); es decir, $\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{VIS}) / (\text{NIR} + \text{VIS})$; y estima el brillo térmico (BT, Brightness Temperature) usando la radiancia medida por el canal 4 del sensor AVHRR como se explica en Karnieli et al. (2010). Hecho esto, se computa el Índice de Condición de la Vegetación (VCI, Vegetation Condition Index) y el Índice de Condición de Temperatura (TCI, Temperature Condition Index) siguiendo el método descrito en Kogan (2001). Finalmente, $\text{VHI} = \alpha \text{VCI} + (1-\alpha) \text{TCI}$; donde α y $(1-\alpha)$ definen la contribución de cada índice; por lo general, $\alpha = 0,5$ (Karnieli et al. 2010). El VHI varía de 0 a 100; cuando $\text{VHI} < 50$ el estrés hídrico sobre las plantas comienza a reflejarse, pero si $\text{VHI} < 30$ es

evidente un estrés hídrico (Kogan et al. 2004). Para este estudio, el VHI se seleccionó como índice de sequía agrícola por integrar el estado de la vegetación (i.e., VCI) y la condición térmica prevaleciente en la dupla suelo-vegetación (i.e., TCI). El VHI semanal con una resolución espacial de 4 km, fue tomado del Centro para Investigación y Aplicaciones de Satélites adscrito al Servicio de Información y Satélites de la NOAA (STAR-NESDIS, por sus siglas en inglés), vía <ftp://ftp.star.nesdis.noaa.gov/>, desde la semana 37 del año 1981 hasta la semana 12 del año 2017.

b. El Índice de Precipitación Estandarizado derivado de CHIRPS v2: para el periodo 1981-2017, las series mensuales de precipitación derivada del producto CHIRPS v2 sobre el área de estudio y a nivel de píxel se transformaron en el SPI (Standardized Precipitation Index). Este índice se escogió por haberse usado en diferentes estudios realizados en el territorio venezolano a nivel local (Olivares et al. 2016a), regional (Paredes et al. 2008) y nacional (Mendoza y Puche 2014). El SPI fue desarrollado por McKee et al. (1993) y se diferencia de otros índices, por permitir cuantificar el déficit de precipitación para diferentes escalas temporales. Por ejemplo, el SPI con una escala mensual es adecuado para valorar sequías meteorológicas; una escala trimestral funciona bien en el monitoreo de sequías agrícolas; la escala semestral u otra superior, captura adecuadamente la dinámica de las sequías hidrológicas (Keyantash y Dracup, 2002; Hayes et al. 2011, Van Loon 2015). Por lo anterior, se empleó una escala temporal de seis meses en el cálculo del SPI (en lo sucesivo, SPI6). Para transformar la serie mensual de precipitación a SPI6 en un píxel, se aplicó la siguiente secuencia: i) agrupación semestral móvil; ii) ajuste mensual de cada subserie mensual a una función gamma de dos parámetros (estimados por máxima verosimilitud); iii) cálculo de la probabilidad acumulada de cada elemento, empleando una función gamma incompleta; iv) conversión de cada elemento a un valor normalizado usando una distribución normal inversa. Este último es el SPI6 (Paredes et al. 2015). La formulación matemática del SPI es descrita por Mendoza y Puche (2014).

La condición ambiental prevaleciente sobre la zona cubierta por un píxel y en un mes cualesquiera puede ser inferida según el valor del SPI6: no seca ($\text{SPI} \geq 1,00$), cerca de lo normal ($0,99 \geq \text{SPI} > -1,00$), moderadamente seca ($-1,00 \geq \text{SPI} > -1,50$), severamente seca ($-1,50 \geq \text{SPI} > -2,00$) o extremadamente seca ($\text{SPI} \leq -2,00$) (McKee et al. 1993). Para este estudio, se consideró que dentro de un píxel, un episodio seco severo inicia cuando el $\text{SPI6} \leq -1,50$ y termina cuando, de nuevo, $\text{SPI6} > -1,5$. Asimismo, el

porcentaje mensual de superficie afectada por una condición ambiental severamente seca se estimó dividiendo el número de píxeles donde $SPI6 \leq -1,50$ por el número total de píxeles contenidos en el área de estudio (Paredes et al. 2015). Por otro lado, con base en el enfoque de la propagación de la sequía (Van Loon 2015), se asumió que los eventos secos severos con una extensión espacial $\geq 30\%$ del área total de la unidad de estudio, y que persisten durante al menos cuatro meses consecutivos desencadenan sequías hidrológicas.

c. El VHI como indicador de sequía: el VCI y la precipitación están estrechamente relacionados entre sí; por lo tanto, los cambios en la precipitación afectan el VCI y con ello, al VHI (Singh et al. 2003). Cuando $VHI \leq 40$, la vegetación comienza a mostrar signos de estrés causados por déficit de humedad severo en suelo y las altas temperaturas (Kogan et al. 2001). Para este estudio, se consideró que dentro de un píxel, un estrés hídrico severo inicia cuando el $VHI \leq 30$ y finaliza cuando $VHI > 30$ nuevamente. Similar al enfoque empleado para el SPI6, el porcentaje semanal de superficie afectada por estrés hídrico severo se estimó dividiendo el número de píxeles donde $VHI \leq$

30 por el número total de píxeles contenidos en el área de estudio; luego, la serie resultante se transformó en anomalías semanales. Es decir, cada valor porcentual semanal se restó a la media semanal. Así pues, una anomalía semanal igual a 10 (-10), significa que en esa semana el área ocupada por las zonas donde $VHI \leq 30$, es 10% mayor (menor) a la media para la semana en cuestión. Finalmente, se asumió que una racha seca tiene potencial para desencadenar una sequía hidrológica si la anomalía semanal porcentual es igual o mayor a 20% y se mantiene así por cuatro o más semanas sucesivas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Las sequías según el SPI6

La Figura 2 muestra el área porcentual afectada por sequías severas (i.e., $-2,00 < SPI6 \leq -1,50$) o sequías extremas (i.e., $SPI6 \leq -2,00$) en el área de estudio entre junio de 1981 y febrero de 2017. En principio, se observa que las sequías de gran cobertura espacial (i.e., $\geq 30\%$), han sido bastante frecuentes. Sin embargo, cuando se hace una exploración más exhaustiva de la Figura 2, se advierte que las cuencas del Lago de Valencia y el Lago de Maracaibo fueron afectadas por

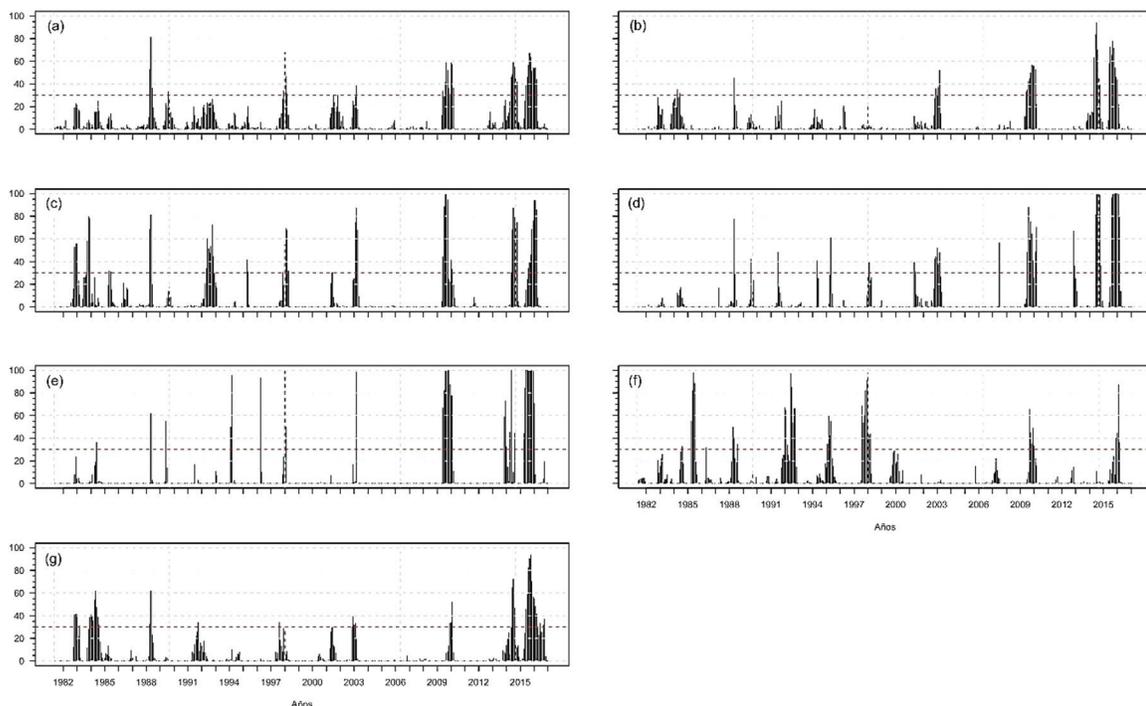


Figura 2. Superficie mensual donde el SPI6 es menor o igual a -1,50 entre el 06/1981 y 02/ 2017 expresada en porcentaje para la: (a) cuenca del río Orinoco; (b) vertiente Mar Caribe; (c) cuenca del río Esequibo; (d) vertiente del Golfo de Paria; (e) cuenca del Lago de Valencia; (f) cuenca del Casiquiare-Río Negro; (g) cuenca del Lago de Maracaibo. La línea segmentada de color rojo corresponde a un porcentaje de 30%, que es el umbral para identificar eventos extensos.

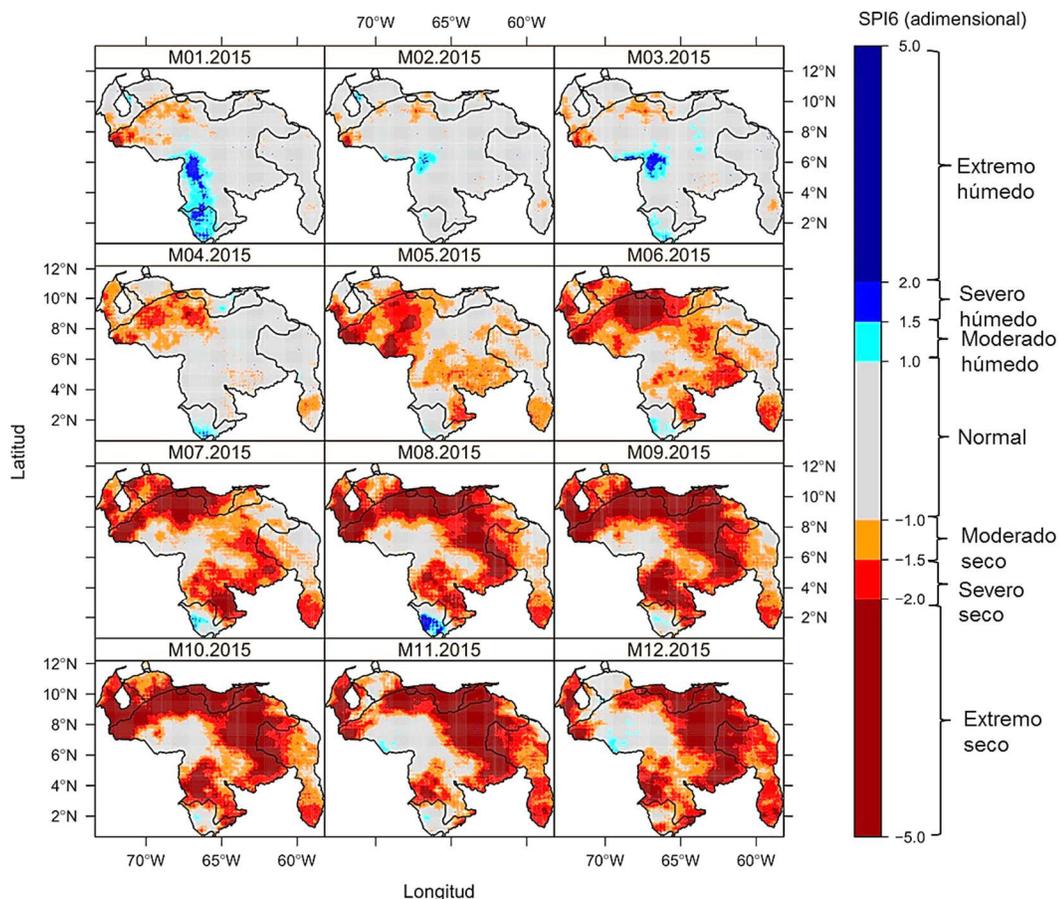


Figura 3. Distribución espacial mensual del SPI6 durante el año 2015. Las unidades geográficas son las mismas de la Figura 1. M01 representa enero, M12 representa diciembre, el resto de los paneles corresponden a los meses intermedios.

sequías muy persistentes; en particular, entre 06/2009 y 02/2010 (9 meses), y desde 04/2015 al 01/2016 (10 meses) para el caso del Lago de Valencia (Figura 2e), mientras que en el Lago de Maracaibo (Figura 2g) sobresalen las observadas entre 12/1983 y 08/1984 (9 meses) y desde 06/2015 al 03/2016 (10 meses). Esta característica también se aprecia en las vertientes Mar Caribe (Figura 2b) y Golfo de Paria (Figura 2d), pero en estas regiones suelen ser más extensivas que persistentes. En contraste, en la cuenca del Casiquiare-Río Negro, las sequías tendieron a ser menos frecuentes y persistentes a partir del año 1998 (Figura 2f).

A juzgar por el contenido de la Figura 2, la sequía del año 2015 fue un evento notable. Esto se ve reflejado por una secuencia de picos en la cobertura espacial. Para analizar con mayor detalle este evento, la dinámica espacio-temporal del SPI6 se muestra en la Figura 3. Una racha extrema seca y bastante concen-

trada sobre la parte alta de la cuenca del río Uribante (estado Táchira) se observó en enero del 2015 (ver panel M01.2015 en la Figura 3). Este núcleo seco se debilitó progresivamente; pero desde abril en adelante, donde habitualmente inician las lluvias, se manifestaron condiciones ambientales extremadamente secas (i.e., $SPI \leq -2$), que se propagaron rápidamente sobre la vertiente oriental de la Cordillera de Los Andes, el norte y centro de Guárico, la cuenca del Lago de Valencia, hasta llegar a cubrir casi la totalidad de las vertientes Mar Caribe y Lago de Maracaibo. Entre agosto y diciembre, más del 50% de la cuenca del río Orinoco estuvo expuesta a condiciones extremadamente secas.

4.2. Las sequías según el VHI

El área porcentual semanal bajo estrés hídrico severo (i.e., $VHI \leq 30$) en cada unidad geográfica del área de estudio desde finales de agosto de 1981 hasta media-

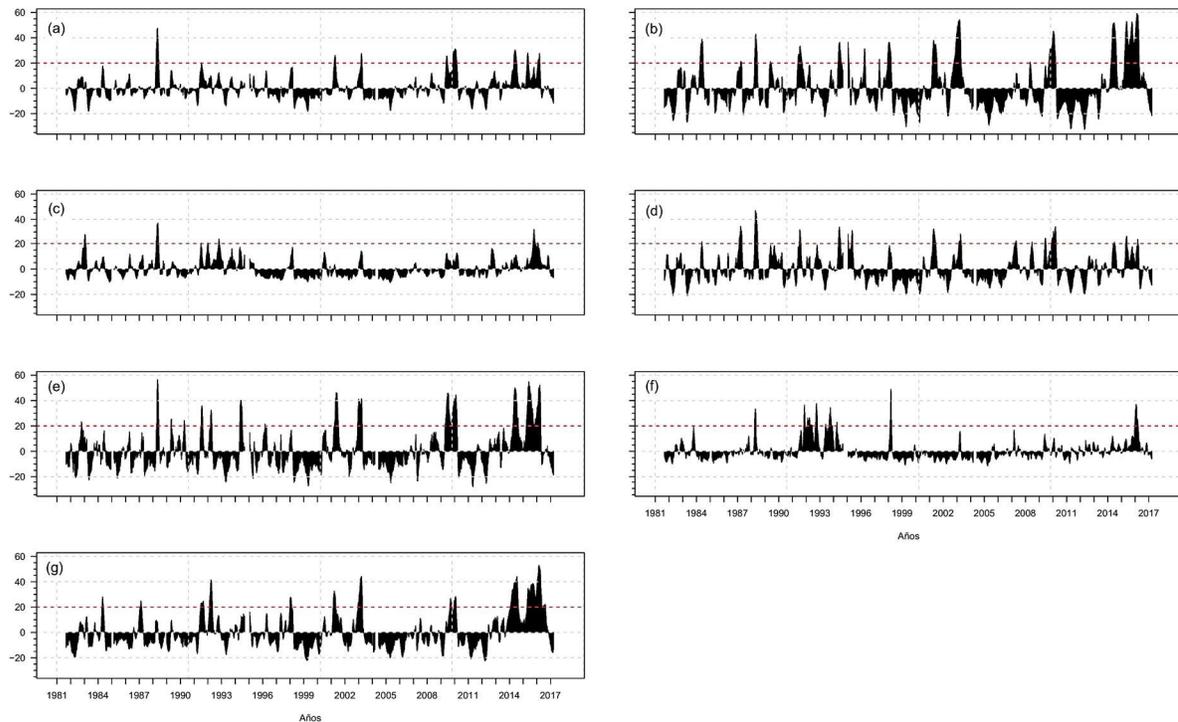


Figura 4. Superficie porcentual semanal con $VHI \leq 30$ entre la semana 35 de 1981 y la semana 12 de 2017 expresada como anomalía en la: (a) cuenca del río Orinoco; (b) vertiente Mar Caribe; (c) cuenca del río Esequibo; (d) vertiente del Golfo de Paría; (e) cuenca del Lago de Valencia; (f) cuenca del Casiquiare-Río Negro; (g) cuenca del Lago de Maracaibo. La línea segmentada de color rojo indica una anomalía semanal de 20%, que es el umbral para identificar eventos extensos. Los tramos discontinuos se deben a la ausencia de información sobre el VHI para estos periodos de tiempo.

dos de marzo de 2017, expresada como anomalía, se presenta en la Figura 4. Similar a lo mostrado en la Figura 2, se nota que las rachas secas de gran extensión espacial (i.e., anomalía $\geq 20\%$) y temporalmente persistentes son relativamente frecuentes en las vertientes Mar Caribe (Figura 4b), Lago de Valencia (Figura 4e) y Lago de Maracaibo (Figura 4g). Los tres episodios más significativos, debido a su cobertura espacial y persistencia temporal, se registraron en: i) la vertiente Mar Caribe, desde marzo del 2015 hasta abril del 2016 (duración: 56 semanas); ii) la cuenca del Lago de Maracaibo, a partir de abril del 2015 hasta mayo del 2016 (duración: 56 semanas); y iii) la cuenca del Lago de Valencia, entre abril y mediados de octubre del 2015 (duración: 29 semanas). La comparación visual de las Figuras 2 y 4, evidencia que un déficit de lluvias prolongado sobre una amplia región geográfica favorece la ocurrencia de un estrés hídrico vegetal generalizado, lo cual es un rasgo claramente consistente con el enfoque de propagación de la sequía (Van Loon 2015).

Los eventos secos más severos y extensos se manifestaron con mayor frecuencia a partir del año 2013 (Figura 4); lo cual es consistente con el conteni-

do de la Figura 2. Además, en las Figuras 2 y 4, el año 2015 sobresale por haberse dado anomalías semanales de gran magnitud, positivas y sucesivas. Para visualizar el efecto espacial de esta sequía sobre el estado de la vegetación, la Figura 5 ilustra la distribución espacial del VHI entre mediados de abril y finales de julio del 2015. Durante estas 16 semanas, llama la atención que las cuencas de los ríos Casiquiare-Río Negro y Esequibo mostraron áreas geográficamente dispersas donde $VHI \leq 30$, a pesar de que ambas regiones estuvieron parcialmente expuesta a sequedad atmosférica relativamente severa (ver paneles M04 a M07 en la Figura 3). Por el contrario, sobre las vertientes Mar Caribe y Lago de Maracaibo, se dio un máximo de cobertura la semana 20 (Figuras 4b y 4g), concentrado en gran medida sobre las cuencas de los ríos Unare (noroeste de Anzoátegui), Hueque (oeste de Falcón) y Palmar (vertiente noroccidental del Lago de Maracaibo). Luego, en la semana 22, ocurrió un pico de cobertura en la cuenca del Lago de Valencia (Figura 4e). En este contexto, es de interés resaltar que en la cuenca del río Orinoco, se dio una recuperación gradual del verdor de la vegetación sobre Los Llanos a partir de la semana 18 (i.e., comienzo de mayo).

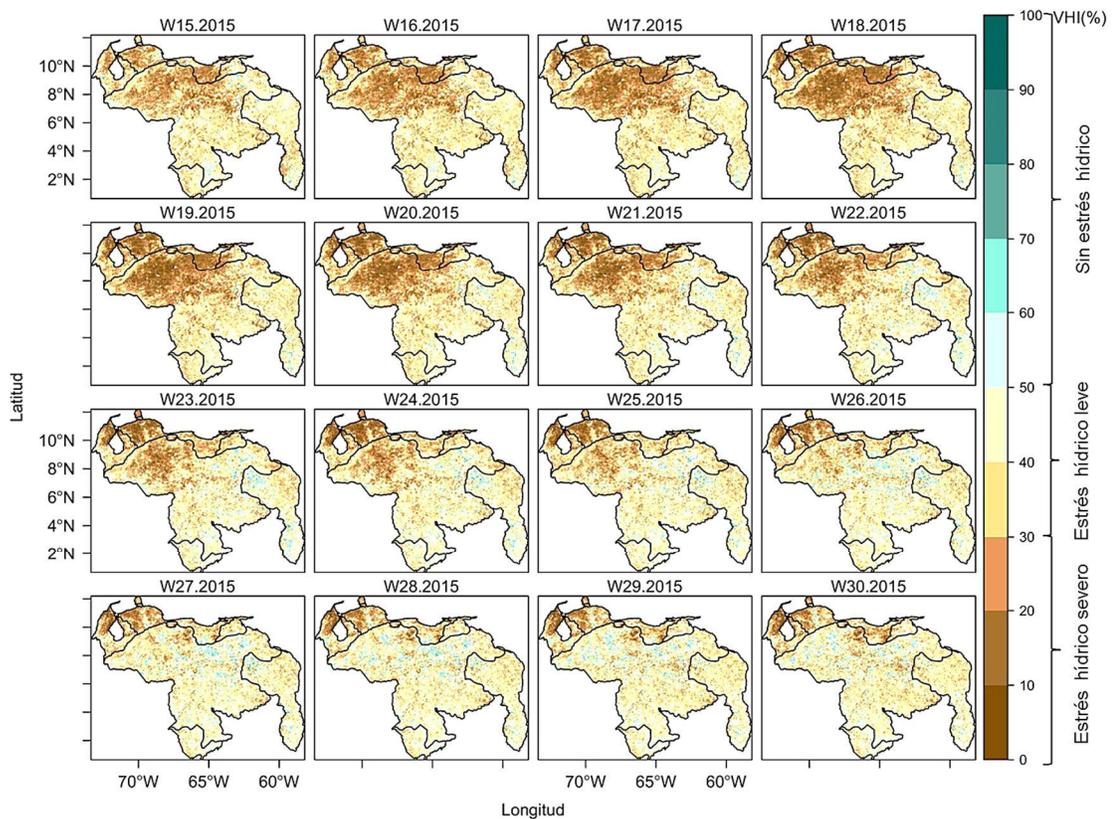


Figura 5. Distribución espacial del Índice de Salud de la Vegetación (VHI) entre las semanas 15 y 30 del año 2015. El código W15.2015 indica que el panel muestra el VHI para la semana 15 del año 2015, similarmente se aplica al resto de los paneles. Las unidades geográficas son las mismas de la Figura 1.

4.3. Generalidad de la sequía a nivel de cuenca

Para explorar con más detalle la relación entre la sequedad atmosférica y la respuesta de la vegetación, se promedió mensualmente las anomalías semanales mostradas en la Figura 4 durante el periodo comprendido entre el 08/1981 y 02/2017 en cada una de las unidades geográficas del área de estudio (i.e., anomalía promedio mensual del VHI). Luego, se calculó el coeficiente de correlación lineal de Pearson entre esta última serie temporal y el área mensual expuesta a condiciones severamente seca o extremadamente seca basada en el SPI6 (Figura 2). Todos los valores de correlación lineal encontrados fueron estadísticamente significativos ($\alpha = 0,05$) e iguales a 0,68; 0,66; 0,57; 0,46; 0,54; 0,32; y 0,64 para la cuenca del río Orinoco, la vertiente Mar Caribe, la cuenca del río Esequibo, la vertiente del Golfo de Paria, la cuenca del Lago de Valencia, la cuenca del Casiquiare-Río Negro y la cuenca del Lago de Maracaibo, respectivamente. Como era de esperar, este hallazgo es consistente con la asociación reportada entre las sequías y el estado de la vegetación en algunos trabajos previos, tales como el de Dutta et al. (2015). No obs-

tante, es importante notar que en las vertientes Mar Caribe y Lago de Maracaibo, el verdor de la vegetación responde bastante bien a la sequedad atmosférica ($r = 0,66$ y $0,64$ respectivamente), mientras que en la cuenca del Casiquiare-Río Negro la vegetación muestra un alto nivel de resiliencia ($r = 0,32$).

Si se toma en cuenta el enfoque de propagación de la sequía (Van Loon 2015) y los resultados previamente descritos, es posible hipotetizar que las sequías meteorológicas en las cuencas de las vertientes Mar Caribe y Lago de Maracaibo tienen más potencial de desencadenar sequías hidrológicas que en el resto de las regiones analizadas. De hecho, el acoplamiento temporal entre el debilitamiento del verdor y la intensificación de la sequedad ambiental sugiere que durante un episodio seco prolongado, el contenido de la humedad del suelo en estas regiones se agota más rápido que en otras, por lo que se podría suponer que el aporte hídrico al flujo base de los ríos sería determinado en gran medida por el flujo subterráneo. La Figura 6 permite contrastar el caudal medio mensual registrado en una cuenca situada en la ver-

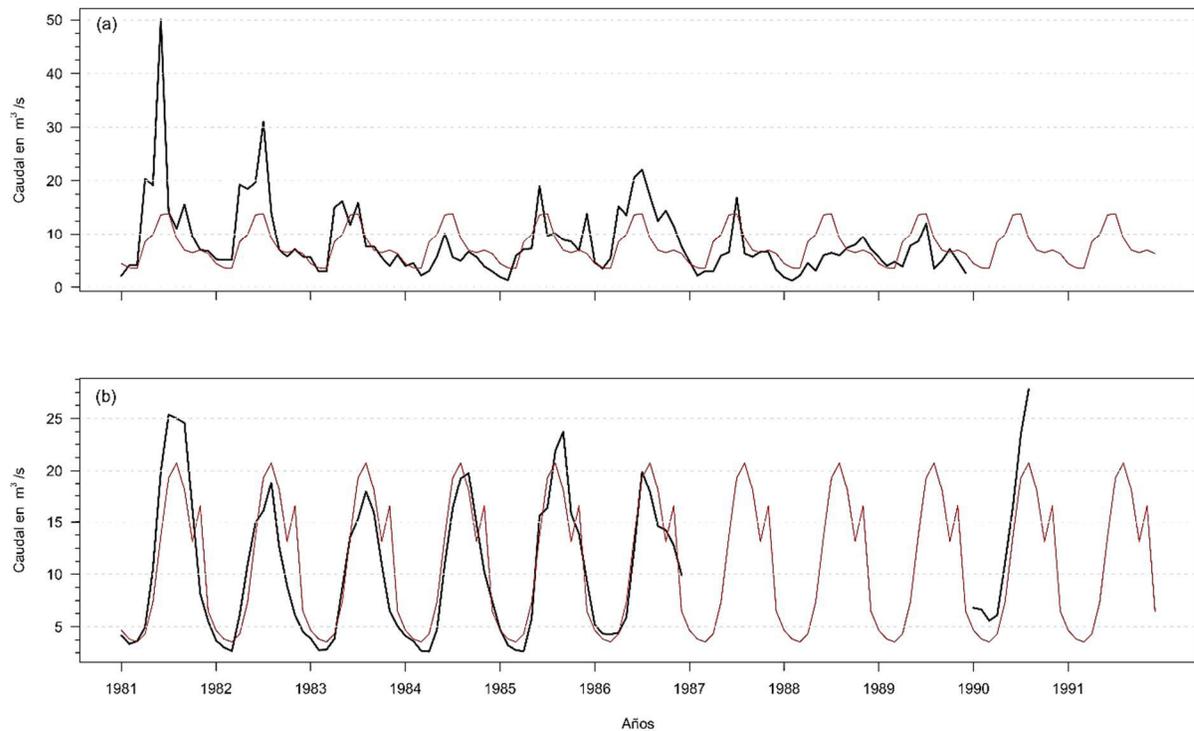


Figura 6. Caudal medio mensual observado en las cuencas de los ríos: (a) Tocuyo en la estación La Guaya, estado Lara y vertiente Mar Caribe; y (b) Ventuari en la estación Ciudad Piaraa, estado Amazonas, cuenca del Casiquiare-Río Negro. La estación La Guaya se localiza en $69^{\circ} 55' 39''$ Oeste y $9^{\circ} 40' 18''$ Norte, donde el río Tocuyo drena unos 533 km^2 . La estación Ciudad Piaraa se encuentra en $66^{\circ} 20' 20''$ Oeste y $05^{\circ} 03' 20''$ Norte, donde el río Ventuari drena alrededor de 29.290 km^2 . La línea de color negro representa el caudal medio mensual registrado. La línea de color rojo muestra el valor promedio mensual para el periodo 1963-1993 en (a) y 1972-1991 en (b). Los datos del cual se derivaron ambas graficas fueron proporcionados por el INAMEH. Los tramos discontinuos se deben a la ausencia de información.

vertiente Mar Caribe (río Tocuyo) con otra localizada en la cuenca del Casiquiare-Río Negro (río Ventuari) durante el periodo 1981-1991. Es evidente que el río Tocuyo (Figura 6a) presenta una mayor variabilidad estacional con relación a la observada en el río Ventuari (Figura 6b). Es decir, las variaciones que manifiesta el caudal con respecto a su media histórica mensual son de mayor magnitud en el río Tocuyo.

La cuenca del Casiquiare-Río Negro entre 1981 y 1991 estuvo expuesta a una severa sequedad atmosférica de gran extensión espacial (Figura 2f); en especial, durante 1985. Sin embargo, los registros del río Ventuari no manifestaron una desviación significativa con relación a su media histórica (Figura 6b). Por el contrario, la persistente sequía del año 1984 en la vertiente Mar Caribe (Figura 2b) se vio reflejada por una sucesión de caudales persistentemente bajos (Figura 6b), revelando una muy lenta recuperación a través del tiempo. Esta característica es consistente con las inferencias derivadas del análisis del SPI6 y el VHI, y sugiere que los ríos de la vertiente Mar Caribe responden más rápidamente a las sequías meteo-

rológicas extensas y persistentes, y además, estos tardan más tiempo en recuperarse de estos eventos que su contraparte situada al sur de Venezuela.

El hecho de que las cuencas que forman parte de las vertientes Mar Caribe y Lago de Maracaibo manifiesten una menor resiliencia natural antes las sequías prolongadas, implica que deben ser conservadas con premura. Tal conservación debe basarse principalmente en la reforestación generalizada de sus cabecezas, pues los resultados sugieren que la vegetación juega un papel clave en el proceso de infiltración y escorrentía, favoreciendo indirectamente al mantenimiento del gasto base. A propósito de las sequías en la cuenca del Lago de Maracaibo, Ramírez (2017) señala que estos eventos causan, con bastante frecuencia, serios déficits del suministro hídrico para la ciudad de Maracaibo y otras regiones del estado Zulia. Por otro lado, las sequías hidrológicas también pueden perjudicar significativamente los ciclos de migraciones y los eventos reproductivos de algunas especies sensibles a la merma del caudal ecológico, así como elevar la concentración de las sustancias tóxicas

(por ejemplo, nitrógeno y fósforo) a niveles capaces de afectar las especies que conforman la ictiofauna (Rodríguez-Olarte et al., 2017). Es necesario reconocer que las sequías son una consecuencia de la variabilidad natural del clima (Thornton et al. 2014), por tanto no pueden ser controladas por el hombre. Así pues, la conservación integral de las cuencas debe ser vista como una alternativa para minimizar su impacto sobre los regímenes hidrológicos de los ríos e indirectamente sobre las especies que hacen vida en estos cuerpos de aguas.

Sobre la base de los resultados, puede afirmarse que la evolución de las sequías hidrológicas en los ríos venezolanos es influenciada principalmente por el área drenada, el tipo de vegetación predominante, el régimen climático y la exposición a condiciones secas severas. Como regla general, estas características parecen determinar la velocidad a la cual se recuperan los ríos después de la ocurrencia de una sequía meteorológica, tal como lo indicaron Van Loon y Laaha (2015). Sin embargo, estos factores deben analizarse en futuras investigaciones, para medir el efecto de las sequías meteorológicas sobre los procesos físicos que se dan en el suelo, tales como la infiltración, percolación, interceptación vegetal entre otros, y cómo se ve afectado el flujo base de los ríos en cada caso.

Agradecimiento

Este estudio fue financiado por el proyecto PNPB - UFAL/Meteorología código IES 26001012 vinculado al Instituto de Ciencias Atmosféricas de la Universidad Federal de Alagoas (ICAT/UFAL), Brasil. Agradecemos a los árbitros anónimos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Adeogun, B. K., Nwude, M. O., Mohammad, Y. S. y Adie, D. B. 2014. Evaluation of suitable standardized precipitation index time scales for meteorological, agricultural and hydrological drought analyses. *FUTA Journal of Research in Sciences*. 2014(2): 140-149.
- Campos, J. N. B. 2015. Paradigms and Public Policies on Drought in Northeast Brazil: A Historical Perspective. *Environmental Management*. 55(5): 1052-1063.
- Cao, C., Xiong, J., Blonski, S., Liu, Q., Upreti, S., Shao, X. y Weng, F. 2013. Suomi NPP VIIRS sensor data record verification, validation, and long-term performance monitoring. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 118: 11.664-11.678.
- Chacón-Moreno, E., Ulloa, A., Tovar, W., Márquez, T. C., Sulbarán-Romero, E. y Rodríguez-Morales, M. 2013. Sistema de clasificación ecológico y mapas de ecosistemas: enfoque conceptual-metodológico para Venezuela. *Ecotrópicos*. 26: 1-27.
- Chambers, J. Q. y Roberts, D. A. 2014. Ecology: Drought in the Congo Basin. *Nature*. 509(7498): 36-37.
- Cook, B. I., Smerdon, J. E., Seager, R. y Coats, S. 2014. Global warming and 21st century drying. *Climate Dynamics*. 43(9-10): 2607-2627.
- Dai, A. 2012. Increasing drought under global warming in observations and models. *Nature Climate Change*. 3(1): 52-58.
- Damberg, L. y AghaKouchak, A. 2014. Global trends and patterns of drought from space. *Theoretical and Applied Climatology*. 117(3-4): 441-448.
- De Châtel, F. 2014. The Role of Drought and Climate Change in the Syrian Uprising: Untangling the Triggers of the Revolution. *Middle Eastern Studies*. 50(4): 521-535.
- De Oliveira, C. P., Ambrizzi, T. y Aimola, L. 2017. Influence of intraseasonal variability on precipitation in northern South America during the winter season. *International Journal of Climatology*. 37(4): 2177-2186.
- Dutta, D., Kundu, A., Patel, N. R., Saha, S. K. y Siddiqui, A. R. 2015. Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 18(1): 53-63.
- Feng, S. y Fu, Q. 2013. Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 13(19): 10081-10094.
- Foghin-Pillín, S. 2015. El año de las humaredas registro histórico de algunas sequías extremas en Venezuela. *Bitácora-e*. 2: 3-25.
- Fuchs, B. A., Svoboda, M. D., Wilhite, D. A. y Hayes, M. J. 2014. Drought Indices for Drought Risk Assessment in a Changing Climate (pp. 217-231). En: Eslamian S. (Ed). *Handbook of Engineering Hydrology: Modeling, Climate Change, and Variability*. CRC Press, London, UK.
- Funk, C., Hoell, A. y Stone, D. 2014. Examining the contribution of the observed global warming trend to the California droughts of 2012/13 and 2013/14. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 95(9): S11-S15.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S. y Michaelsen, J. 2015. The climate hazards infrared precipitation with stations - a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*. 2: 150066.
- Gleick, P. H. 2014. Water, Drought, Climate Change, and Conflict in Syria. *Weather, Climate, and Society*. DOI: 10.1175/WCAS-D-13-00059.1
- Guenni, L., Degryze, E. y Alvarado, K. 2008. Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela. *Revista Colombiana de Estadística*. 31(1): 41-65.
- Guevara, E. 2007. Modelación de los caudales ecológicos en ríos de Venezuela. *Revista Ingeniería UC*. 14(2): 25-34.
- Gutiérrez, A. P. A., Engle, N. L., De Nys, E., Molejón, C. y Martins, E. S. 2014. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*. 3: 95-106.
- Hao, Z. y Singh, V. P. 2015. Drought characterization from a multivariate perspective: A review. *Journal of Hydrology*. 527: 668-678.
- Hayes, M., Svoboda, M., Wall, N. y Widhalm, M. 2011. The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of*

- the American Meteorological Society*. 92(4): 485-488.
- Huang, S., Li, P., Huang, Q., Leng, G., Hou, B. y Ma, L. 2017. The propagation from meteorological to hydrological drought and its potential influence factors. *Journal of Hydrology*. 547: 184-195.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jarvis, A., Reuter, H. I., Nelson, A. y Guevara, E. 2008. Hole-filled SRTM for the globe Version 4. Disponible en CGIAR-CSI SRTM 90m Database (<http://srtm.csi.cgiar.org>). (Consultado el 15 de enero de 2017)
- Karnieli, A., Agam, N., Pinker, R. T., Anderson, M., Imhoff, M. L., Gutman, G. G. y Goldberg, A. 2010. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: merits and limitations. *Journal of climate*. 23(3): 618-633.
- Kelley, C. P., Mohtadi, S., Cane, M. A., Seager, R. y Kushnir, Y. 2015. Climate change in the Fertile Crescent and implications of the recent Syrian drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 112(11): 3241-3246.
- Keyantash, J. y Dracup, J. A. 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 83(8): 1167-1180.
- Kogan, F. N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 76(5): 655-668.
- Kogan, F. N. 2001. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 82(9): 1949-1964.
- Kogan, F., Stark, R., Gitelson, A., Jargalsaikhan, L., Dugrajav, C. y Tsooj, S. 2004. Derivation of pasture biomass in Mongolia from AVHRR-based vegetation health indices. *International Journal of Remote Sensing*. 25(14): 2889-2896.
- Kundu, A., Dwivedi, S. y Dutta, D. 2016. Monitoring the vegetation health over India during contrasting monsoon years using satellite remote sensing indices. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(2): 1-15.
- León, G. A. 2002. Clasificaciones de pisos térmicos en Venezuela. *Revista Geográfica Venezolana*. 43(2): 311-328.
- Liebmann, B., Funk, C., Català, I. y Ciencias, D. 2014. Understanding Eastern Horn of Africa Rainfall Variability and Change Understanding Eastern Horn of Africa Rainfall Variability and Change. *Journal of Climate*. 27(23): 8630-8646.
- Lopes, A. V., Chiang, J. C. H., Thompson, S. A. y Dracup, J. A. 2016. Trend and uncertainty in spatial-temporal patterns of hydrological droughts in the Amazon basin. *Geophysical Research Letters*. 43(7): 3307-3316.
- Lorenzo-LaCruz, J., Vicente-Serrano, S. M., González-Hidalgo, J. C., López-Moreno, J. I. y Cortesi, N. 2013. Hydrological drought response to meteorological drought in the Iberian Peninsula. *Climate Research*. 58(2): 117-131.
- Marengo, J. A., Torres, R. R. y Alves, L. M. 2016. Drought in Northeast Brazil - past, present, and future. *Theoretical and Applied Climatology*. 1-12. DOI: 10.1007/s00704-016-1840-8.
- Martelo, M. T. 2003. *La precipitación en Venezuela y su relación con el sistema climático*. Dirección de Hidrología, Meteorología y Oceanología. Dirección General de Cuencas Hidrográficas-MARN. [Consulta: 06-03-2015] Disponible en: <http://goo.gl/tSIMzn>
- Marufah, U., Hidayat, R. y Prasasti, I. (2017, January). Analysis of relationship between meteorological and agricultural drought using standardized precipitation index and vegetation health index. En: *Libro de resúmenes de IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 54, No. 1, p. 012008). IOP Publishing.
- McCabe, G. J. y Wolock, D. M. 2015. Variability and trends in global drought. *Earth and Space Science*, 2(6): 223-228.
- McKee, T. B., Doesken, N. J. y Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. 17(22): 179-183.
- Mehran, A., Mazdiyasn, O. y AghaKouchak, A. 2015. A hybrid framework for assessing socioeconomic drought: Linking climate variability, local resilience, and demand. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 120(15): 7520-7533.
- Mendoza, N. y Puche, M. 2014. Evaluación de la ocurrencia de sequía en localidades de Venezuela. *Revista de la Facultad de Agronomía*. 24(4): 661-678.
- Nicholson, S. E. 2014. A detailed look at the recent drought situation in the Greater Horn of Africa. *Journal of Arid Environments*. 103: 71-79.
- Olivares, B. O., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R. M., Rey, B., Juan, C. y Rodríguez, M. F. 2016a. Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. *Acta Nova*. 7(3): 266-283.
- Olivares, B. O., Cortez, A., Muñetones, A. C. y Casana, S. 2016b. Elementos estratégicos de la gestión del conocimiento organizacional para la innovación. Caso: red de agrometeorología. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*. 10(1): 68-81.
- Ovalles, Y., Méndez, E., Ripanti, F., Ramírez, G. y León, J. 2012. El plan de ordenación y desarrollo de cuencas hidrográficas en la construcción de futuro. *Revista Forestal Venezolana*. 56(1): 83-94.
- Padilla, M. V. 2014. *The drought of 1869 in Caracas, Venezuela: environment and society at the edge of modernity*. Doctoral dissertation. University of British Columbia, Canadá.
- Paredes, F. J., Barbosa, H. A. y Guevara, E. 2015. Análisis espacial y temporal de las sequías en el nordeste de Brasil. *AgriScientia*. 32(1): 1-14.
- Paredes, F. J., Barbosa, H. A. y Lakshmi Kumar, T. V. 2017. Validating CHIRPS-based satellite precipitation estimates in Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*. 139: 26-40.
- Paredes, F. J., Barbosa, H. A., Peñaloza-Murillo, M. A., Alejandra Moreno, M. y Fariás, A. 2016b. Intercomparison of improved satellite rainfall estimation with CHIRPS gridded product and rain gauge data over Venezuela. *Atmosfera*. 29(4): 323-342.

- Paredes, F., Brito-Castillo, L., Barbosa Alves, H. y Guevara, E. 2016c. Main features of large-scale oceanic-atmospheric circulation related to strongest droughts during rainy season in Brazilian São Francisco River Basin. *International Journal of Climatology*. 36(12): 4102-4117.
- Paredes, F., Guevara, E. y Barbosa, H. 2016a. *Influencia del fenómeno El Niño sobre las sequías de gran cobertura en la cuenca del río Caroní, Venezuela*. En: Libro de Resúmenes del XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Lima, Perú. 26 al 30 de septiembre, 2016.
- Paredes, F., Guevara, E., Barbosa, H. y Uzcategui, C. 2015. Tendencia de la precipitación estacional e influencia de El Niño - Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del Lago de Valencia-Venezuela. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 6(6): 33-48
- Paredes, F., La Cruz, F. y Guevara, E. 2014. Análisis regional de frecuencia de las sequías meteorológicas en la principal región cerealera de Venezuela. *Bioagro*. 26(1): 21-28.
- Paredes, F., Millano, J. L. y Guevara, E. 2008. Análisis espacial de las sequías meteorológicas en la región de Los Llanos de Venezuela durante el período 1961-1996. *Revista de Climatología*. 8: 15-27.
- Paredes, F., Rumbo, L., Guevara, E. y Carballo, N. 2006. Caracterización histórica de las sequías extremas del río Tírgua en el estado Cojedes. *Revista de ciencia y tecnología Agrollanía*. 3: 101-113.
- Pierre, F. y Tirado, M. 2007. Influencia del ENOS sobre la precipitación en la cuenca del río Yacambú y la depresión de Quíbor, estado Lara, Venezuela. *Bioagro*. 19(1): 41-52.
- Quiroz, I., Paredes, F. y Guevara, E. 2016. Incidencia de las sequías sobre las cuencas aportantes a los grandes embalses en Venezuela. *Agora de Heterodoxias*. 2(3): 65-89.
- Reyer, C. P., Adams, S., Albrecht, T., Baarsch, F., Boit, A., Trujillo, N. C. y Langerwisch, F. 2015. Climate change impacts in Latin America and the Caribbean and their implications for development. *Regional Environmental Change*. 1-21. DOI: 10.1007/s10113-015-0854-6.
- Rodríguez-Betancourt, R. y González-Aguirre, J. 2000. *El manejo de los recursos hídricos en Venezuela*. International Water Management Institute: México, Distrito Federal. 40 p.
- Rodríguez-Olarte, D., Barrios M., Marrero, C. y Marcó, L. 2017. Río Turbio: un síndrome urbano en la vertiente andina del Orinoco. Capítulo 3 (pp: 59-74). En: Rodríguez-Olarte, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 1*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Rojas, M. y Alfaro, E. 2000. Influencia del océano Atlántico tropical sobre el comportamiento de la primera parte de la estación lluviosa en Venezuela. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 7(2): 88-92.
- Salas, J. 1993. Analysis and modeling of hydrologic time series (pp. 19.1-19.72). En: Maidment D. (Ed). *Handbook of hydrology*. McGraw-Hill. New York, USA.
- Salio, P., Hobouchian, M. P., Skabar, Y. G. y Vila, D. 2015. Evaluation of high-resolution satellite precipitation estimates over southern South America using a dense rain gauge network. *Atmospheric Research*. 163: 146-161.
- Silva-León, G. 2010. *Tipos y subtipos climáticos de Venezuela*. Trabajo de ascenso a la categoría de titular. Departamento de Geografía Física. Escuela de Geografía. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- Singh, R. P., Roy, S. y Kogan, F. 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *International Journal of Remote Sensing*. 24(22): 4393-4402.
- Thornton, P. K., Ericksen, P. J., Herrero, M. y Challinor, A. J. 2014. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*. 20(11): 3313-3328.
- Tomaziello, A. C. N., Carvalho, L. M. y Gandu, A. W. 2016. Intraseasonal variability of the Atlantic Intertropical Convergence Zone during austral summer and winter. *Climate Dynamics*. 47(5-6): 1717-1733.
- Trejo, F. J. P., Barbosa, H. A., Ruiz, I. Q. y Peñalozamurillo, M. A. 2016. Patrones de circulación atmosféricas-oceánicas a meso-escala vinculados a las sequías severas y extensas en Venezuela. *Revista Brasileira de Meteorología*. 31(4): 468-489.
- Trenberth, K. E., Dai, A., van der Schrier, G., Jones, P. D., Barichivich, J., Briffa, K. R. y Sheffield, J. 2013. Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*. 4(1): 17-22.
- Valverde, M. C. y Marengo, J. A. 2014. Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil. *Open Journal of Modern Hydrology*. 04(01): 10-26.
- Van Loon, A. F. 2015. Hydrological drought explained. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*. 2(4): 359-392.
- Van Loon, A. F. y Laaha, G. 2015. Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology*. 526: 3-14.
- Vano, J. A., Udall, B., Cayan, D. R., Overpeck, J. T., Brekke, L. D., Das, T. y Morino, K. 2014. Understanding uncertainties in future Colorado River streamflow. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 95(1): 59-78.
- Vrochidou, A. E. K., Tsanis, I. K., Grillakis, M. G. y Koutroulis, A. G. 2013. The impact of climate change on hydrometeorological droughts at a basin scale. *Journal of Hydrology*. 476: 290-301.
- Wang, W., Ertsen, M. W., Svoboda, M. D. y Hafeez, M. 2016. Propagation of drought: from meteorological drought to agricultural and hydrological drought. *Advances in Meteorology*. Hindawi Publishing Corporation. DOI: 10.1155/2016/6547209
- Wilhite, D. A. 2000. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions (pp. 3-18). En: Wilhite, D. (Ed). *Drought: A Global Assessment*. Drought Mitigation Center Faculty Publications, London, UK.
- Wilhite, D. A., Sivakumar, M. V. K. y Pulwarty, R. 2014. Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*. 3: 4-13.
- Zambrano, F., Wardlow, B., Tadesse, T., Lillo-Saavedra, M. y Lagos, O. 2017. Evaluating satellite-derived long-

- term historical precipitation datasets for drought monitoring in Chile. *Atmospheric Research*. 186: 26-42.
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B. y Khan, F. I. 2011. A review of drought indices. *Environmental Reviews*. 19: 333-349.
- Zhai, J., Su, B., Krysanova, V., Vetter, T., Gao, C. y Jiang, T. 2010. Spatial variation and trends in PDSI and SPI indices and their relation to streamflow in 10 large regions of china. *Journal of Climate*. 23(3): 649-663.
- Zhang, R., Chen, X., Zhang, Z. y Shi, P. 2014. Evolution of hydrological drought under the regulation of two reservoirs in the headwater basin of the Huaihe River, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 29(2): 487-499.

Coberturas de bosques y desembocaduras fluviales: relaciones espacio-temporales en Venezuela

Pedro RODRÍGUEZ BUENO^{1,2} y Douglas RODRÍGUEZ-OLARTE²

1. Postgrado en Ciencias Ambientales. Universidad Yacambú, Barquisimeto. Lara, Venezuela.
pedroarodriguezb@hotmail.com

2. Colección Regional de Peces. Museo de Ciencias Naturales. Decanato de Agronomía. Universidad
Centroccidental Lisandro Alvarado, UCLA. Barquisimeto, estado Lara, Venezuela.
douglasrodriguez@ucla.edu.ve.

Los diferentes usos de la tierra en las cuencas hidrográficas, como la deforestación y los sistemas de producción agrícola, tienen relación causal con la pérdida de cobertura de bosques y la erosión de suelos, pero también con la consecuente sedimentación de cauces y la morfología y dimensiones de las desembocaduras fluviales. Además, en la evolución y morfología de las desembocaduras se suman el efecto de los vientos, mareas y corrientes asociadas con el cuerpo receptor. Aquí se describen y relacionan los cambios temporales de las coberturas boscosas y las desembocaduras fluviales para tres cuencas costeras de Venezuela: Misoa (Lago de Maracaibo), Mitare y Tocuyo (Mar Caribe) mediante la comparación de imágenes satelitales en los años 2000, 2005, 2010 y 2015. De manera general, en todas las cuencas hubo pérdidas progresivas de coberturas boscosas y aumento de otras coberturas, incluyendo áreas intervenidas con vegetación secundaria. Las desembocaduras se reconocieron como cauces únicos con desembocaduras cúspicas (Tocuyo) o lobuladas (Misoa), así como distributarios en deltas consolidados y multilobulados (Mitare). La acreción y progradación fueron progresivas en todas las desembocaduras y se asociaron de manera variable con la pérdida de cobertura boscosa en las cuencas, pero la erosión litoral fue limitante para reconocer relaciones directas entre las mismas.

Palabras Clave: Desembocaduras, dinámica fluvial, carga de sedimentos, coberturas de la tierra, recursos hidrobiológicos, sensores remotos, ríos de Venezuela.

1. INTRODUCCIÓN

Los eventos antrópicos en una cuenca hidrográfica predicen el funcionamiento y conservación de sus ríos. La deforestación, los residuos agroquímicos, los efluentes urbanos e industriales y la introducción de especies exóticas, entre otros, representan la principal causa de degradación de los ecosistemas dulceacuícolas, lo cual se expresa en la fragmentación y pérdida de los hábitats acuáticos y sus biotas (García et al 2016). De manera natural el movimiento de sedimentos en los ríos es clave en el ciclo biogeoquímico global, pero también es una medida importante de la degradación del suelo (Walling y Fang 2003); así, se entiende que las perturbaciones con mayor preponderancia en los ríos obedecen a la incorporación de sedimentos generados de manera extraordinaria y que son originados principalmente por la deforestación de las cuencas altas y bosques ribereños, actividad siempre asociada con la agricultura (Rebolledo 2011). Los volúmenes de sedimentos extemporáneos al régimen natural de perturbaciones tienen su expresión más notoria en la modificación de los cauces, más aún cuando el río ingresa a las planicies y ocurre la deposición de material con granulometrías finas; además, estos sedimentos también contribuyen al modelado fluvial que predomina en las planicies y las desembocaduras (Slingerland y Smith 2004).

La evolución de las desembocaduras en estuarios o deltas obedece a la variación en la velocidad del agua fluvial gracias al efecto combinado de la contención de la corriente ejercida por parte del cuerpo de agua receptor (mar, lagos, ríos mayores), así como sus mareas y corrientes (Álvarez 2011). En momentos de mareas altas (pleamar) se represa el volumen de agua de los ríos, disminuyendo la velocidad de la corriente y permitiendo la deposición de sedimentos; por el contrario, las mareas bajas (bajamar) facilitan el ingreso de agua fluvial al cuerpo receptor, incrementando la velocidad de la corriente, acarreado un mayor volumen de sedimentos y disminuyendo su acumulación (Álvarez 2011). Cuando la amplitud de la marea es muy baja (marea floja) y dependiendo del volumen de sedimentos acarreados los ríos conforman deltas, mientras que cuando la amplitud de marea es mayor entonces se crean estuarios. Cuando el volumen de sedimentos fluviales en las desembocaduras es más elevado que el volumen del delta que se pierde por hundimiento o erosión, ocurre una progradación deltaica y entre las múltiples causas puede estar la pérdida extraordinaria de suelos en las cuencas hidrográficas (Álvarez 2011), por lo que la evaluación de los tipos de coberturas y usos de la tierra en una cuenca hidrográfica puede explicar el incre-

mento anómalo de la concentración de sedimentos en las aguas, en los cauces de los ríos y, eventualmente, en las desembocaduras.

Los ríos costeros que nacen en áreas protegidas o con amplias coberturas boscosas usualmente tienen menor concentración de sedimentos en sus aguas y una mayor riqueza de especies que otros ríos bajo el impacto de la deforestación (Rodríguez-Olarte et al. 2006), aun cuando la reducción de sedimentos arrasados por los grandes ríos ha sido explicada por la construcción de embalses, pero también por la implementación de prácticas de conservación de suelos (Walling y Fang 2003, Wang et al. 2015). A escalas de cuencas hidrográficas los sensores remotos han permitido detectar cambios espacio-temporales en las coberturas de la tierra y su efecto sobre los ríos; por ejemplo, el incremento de la superficie agrícola se asocia con cambios en los tramos finales de los ríos y sus desembocaduras, a menudo con la alteración morfológica de las mismas o el detrimento de sus biotas, como se ha reconocido en los al Mar Caribe en el norte de Suramérica (Bastidas et al. 1999, Restrepo et al. 2009) o ríos en el resto del mundo (Syvitski y Kettner 2011).

Aparte del delta del río Orinoco, uno de los mayores de América por su tamaño y por la complejidad de múltiples distributarios (Monente et al. 2017), en el país existen deltas menores, relictuales o con distributarios solo activos durante el periodo de lluvias. Usualmente los ríos que desembocan en lagos presentan deltas, como el río Guapo y su delta activo en la Laguna de Tacarigua. Las desembocaduras en cauces únicos o estuarios también son comunes en los ríos costeros al Mar Caribe (ej. Aroa, Tocuyo, Tuy) y también al Lago de Maracaibo (ej. Machango). La avulsión periódica en el tramo final de estos ríos es común y los cauces varían periódicamente en dirección y orientación de manera periódica, conformando en algunos casos lóbulos deltaicos con extensión notable (Blanco-Libreros 2015).

La mayoría de los ríos al norte del Orinoco, principalmente los ríos al mar, se encuentran en un avanzado proceso de depauperación por los cambios acelerados y crecientes en sus cuencas. Aun cuando existen varias áreas protegidas en las cadenas de montañas, la agricultura y la pérdida de suelos es generalizada y tiene un efecto notable en los ríos (Rodríguez-Olarte et al. 2015). El efecto de estas perturbaciones se puede comprender mejor en las escalas de cuencas hidrográficas, donde los ríos y sus atributos puedan ser evaluados y relacionados en toda su extensión, esto es, desde las cuencas altas hasta las desembocaduras; es ahí donde los estudios espacio-temporales empleando imágenes satelitales aportan

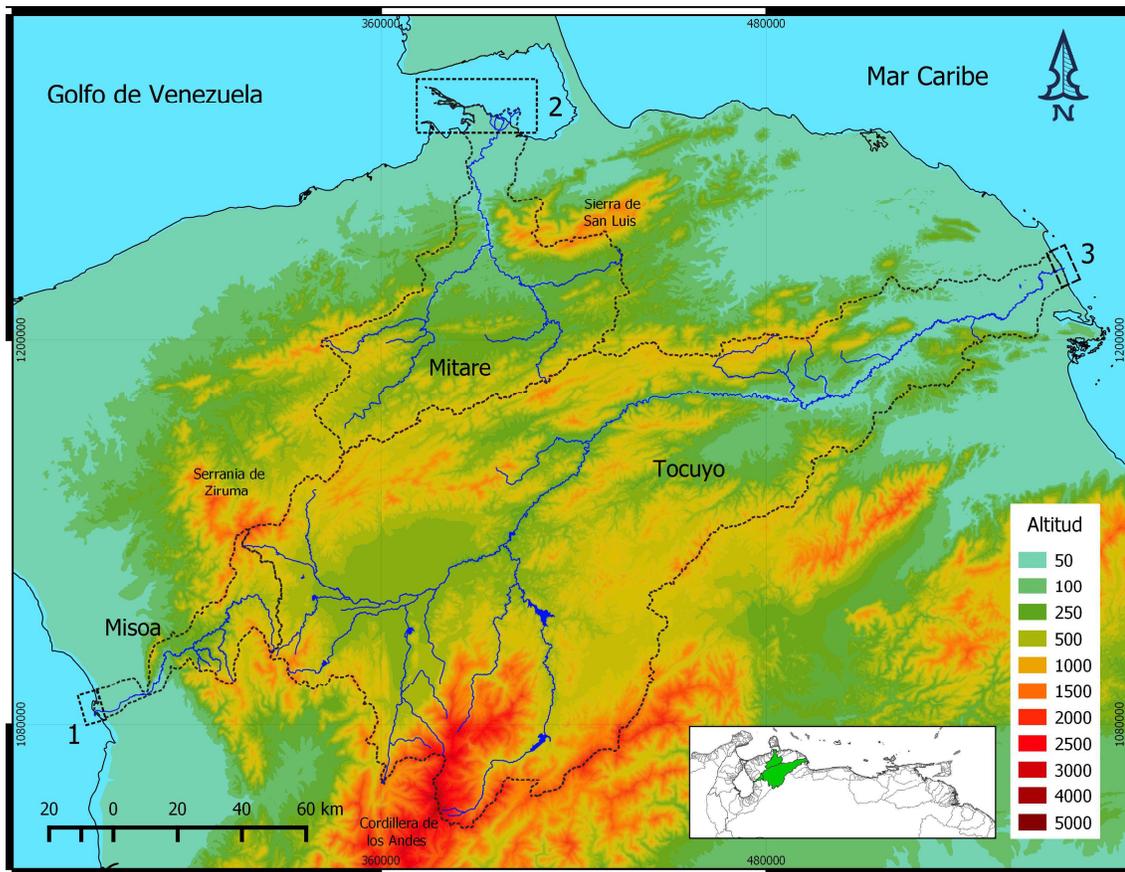


Figura 1. Cuencas de los ríos sus desembocaduras en el occidente de Venezuela: Misoa en el Lago de Maracaibo, Mitare en el Golfete de Coro (Golfo de Venezuela) y Tocuyo en el Golfo Triste. Los recuadros en cada desembocadura son explicados en las siguientes figuras.

datos e información de utilidad sobre el estado de los recursos hidrobiológicos y sus tendencias a futuro. En este capítulo se presenta un análisis espacio-temporal sobre los cambios generales en las coberturas boscosas en cuencas hidrográficas y su relación con la variación morfológica en las desembocaduras de sus ríos al Mar Caribe y Lago de Maracaibo

2. ÁREA DE ESTUDIO

Una inspección de imágenes satelitales a lo largo de la vertiente Caribe de Venezuela permitió reconocer cuencas con variación importante en sus coberturas y tramos finales de los ríos. Con base en lo anterior se escogieron los ríos Misoa (costa oriental del Lago de Maracaibo), Mitare (Golfo de Venezuela, Golfete de Coro) y Tocuyo (Mar Caribe, Golfo Triste).

El río Misoa (964 km², Figura 1): Drena la costa nororiental del Lago de Maracaibo y nace en la Sierra de Ziruma (1.990 msnm, Cerro El Cerrón). El río drena sectores donde predominan montañas bajas con pendientes moderadas y en su tramo inferior, que

es corto (~20 km), discurre en una planicie aluvial. El clima de la región es tropical isotérmico e influenciado en gran parte por el Lago de Maracaibo (Barrios et al. 2015). En la costa oriental de lago la precipitación anual muestra una variación poco marcada desde la franja orográfica más alta, entre los 1.200 y 1.800 msnm (COPLANARH 1974). La temperatura media en la cuenca presenta variaciones que superan la temperatura media anual regional, usualmente entre los 27-28 °C. La vegetación originaria en la costa nororiental era de asociaciones boscosas con variabilidad según las condiciones de suelo, topografía y clima, pero actualmente el área ocupada por bosques se ha reducido notablemente por la ampliación de la frontera antrópica, y una parte importante de la superficie de la cuenca es cubierta por asociaciones herbáceas, arbustos, cultivos y pequeños relictos de bosques (Tachack-García et al. 2010, Colonnello y Lasso-Alcalá 2011). Los principales impactos en la cuenca se reconocen en la pérdida de cobertura vegetal asociada con la deforestación y la agricultura, la presencia de centros poblados ribereños y la actividad

petrolera (Barrios et al. 2017). En las planicies el río ha sido canalizado en parte de su recorrido y en su desembocadura presenta un lóbulo deltaico activo según los aportes del río.

El río Mitare (4.550 km², Figura 1): Nace en las vertientes del Cerro Copeyal en la Sierra de San Luis. En la región las precipitaciones son escasas y existe un balance hídrico negativo en nueve meses del año, pero en las cumbres llueve más que en el entorno semi-árido. Las precipitaciones generalmente tienen alta intensidad y baja duración (Velásquez 2011). En las áreas bajas la vegetación es xerofítica, compuesta principalmente por plantas resistentes al déficit hídrico y a la presencia de sales, tales como herbazales, matorrales o arbustos desérticos (Camacho et al. 2011), pero en las montañas existen bosques densos. La actividad agropecuaria se disemina por toda la cuenca, excepto en el parque nacional Juan Crisóstomo Falcón (19.100 ha), donde es puntual y dispersa. La cría extensiva de cabras es común y, en menor medida, los cultivos hortícolas. El río Mitare, al igual que los ríos de zonas áridas, es objeto de una fuerte extracción de agua. En su principal afluente (Pedregal) existe un embalse colmatado, inactivo y con su presa averiada. La morfología de la desembocadura del río Mitare en el Mar Caribe (Golfete de Coro) tiene relación con el istmo de la península de Paraguaná y las corrientes locales; esta se extiende en una llanura deltaica con lóbulos ramificados, donde predominan planicies fangosas y hay avulsiones periódicas. Ese es el mayor delta de Venezuela al mar Caribe.

El río Tocuyo (17.709 km², Figura 1): Es un río andino que nace en las estribaciones de la Cordillera de los Andes (3.585 msnm, Páramo del Cendé). La precipitación es variable a lo largo de la cuenca: en la parte alta los promedios anuales alcanzan 1.212 mm, en la cuenca media estas descienden alrededor de los 800 mm y en las planicies costeras aumentan a 1.471 mm. La vegetación tiene un gradiente variado, destacando franjas de vegetación baja en los páramos, bosques nublados y húmedos en las montañas andinas, vegetación rala y xerofítica en toda la cuenca media y bosques densos en las planicies del tramo final del cauce (Alvarado 2010). La actividad agropecuaria es diseminada en toda la cuenca, con cultivos de café en las montañas, mientras que en la cuenca media y las planicies la matriz del paisaje agropecuario la conforman cultivos de hortalizas y la cría de ganado caprino y vacuno. En la cuenca hay varios embalses, tanto en el cauce principal (Dos Cerritos, Atarigua) como en los tributarios (Los Quediches, El Ermitaño, Jácura, etc.). Varios parques nacionales: Dinira en los

páramos (24.249 ha), Yacambú en las selvas nubladas en las selvas nubladas andinas (6.249 ha en la cuenca), Cerro Saroche en los lomeríos de bosques muy secos (32.603ha) y Cueva de la Quebrada del Toro en la serranía de Churuguara (4.885 ha).

3. MÉTODOS

Para valorar los cambios en la morfología de las desembocaduras se emplearon varias fuentes, tales como el Atlas Físico y Político de la República de Venezuela (Codazzi 1840) y las cartas de la antigua Dirección de Cartografía Nacional (DCN), actualmente Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB; <http://sigot.geoportalsb.gob.ve>). Se utilizaron cartas topográficas de las desembocaduras: a) Misoa, con base en vistas aéreas tomadas en 1973 (Carta 5945 Bachaquero, DCN 1975), b) Mitare, con base en vistas aéreas tomadas en 1960 (Carta 6150 Punta Cardón, DCN 1962 y Carta 6250 Coro, DCN 1974) y c) Tocuyo, con base en vistas aéreas tomadas en 1967 (Carta 6549 Tocuyo de la Costa, DCN 1967). Las otras fuentes consultadas fueron imágenes satelitales antes indicadas (USGS 2015) y las asociadas con DigitalGlobe (<http://www.earth.google.com>); en esta última fuente todas las imágenes cubrieron el periodo 1970-2016, pero usualmente fueron tomadas en momentos diferentes al de las cartas e imágenes satelitales. Las cartas geográficas fueron georreferenciadas y se elaboraron archivos de delimitación de cada cuenca (formato shp).

Para la estimación de las coberturas boscosas se utilizaron imágenes Landsat, obtenidas a través del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS 2015). Para ello se asumió que la cobertura de bosque agrupó a todas las formaciones vegetales de porte alto que entre sí ocupen más de 0,5 hectáreas y una cobertura de dosel mayor al 10% (FAO, 2015). Se generaron diferentes capas (tipo línea y polígonos), iniciando con las cartas geográficas y donde transformaron coordenadas geográficas (dato horizontal La Canoa REGVEN) utilizando el programa Transforven v 1.0 (Grupo MECINCA 2003). Se georeferenciaron las cartas DCN y con base a las imágenes satelitales se generaron mapas con capas de coberturas, para ello se siguió parte de la metodología utilizada por Aldana y Bosque (2008), Molina y Albarrán (2013) y Rodríguez-Bueno (2015). La sobreposición de las capas digitalizadas generó los mapas utilizados para el análisis. Para verificar la correspondencia de las imágenes y mapas respecto a las coordenadas, accidentes geográficos y coberturas boscosas se realizaron visitas de campo. El procesamiento de imágenes y la construcción de los mapas se realizaron con el programa Qgis versión 2.7.1. Se realizó un análisis de cambios

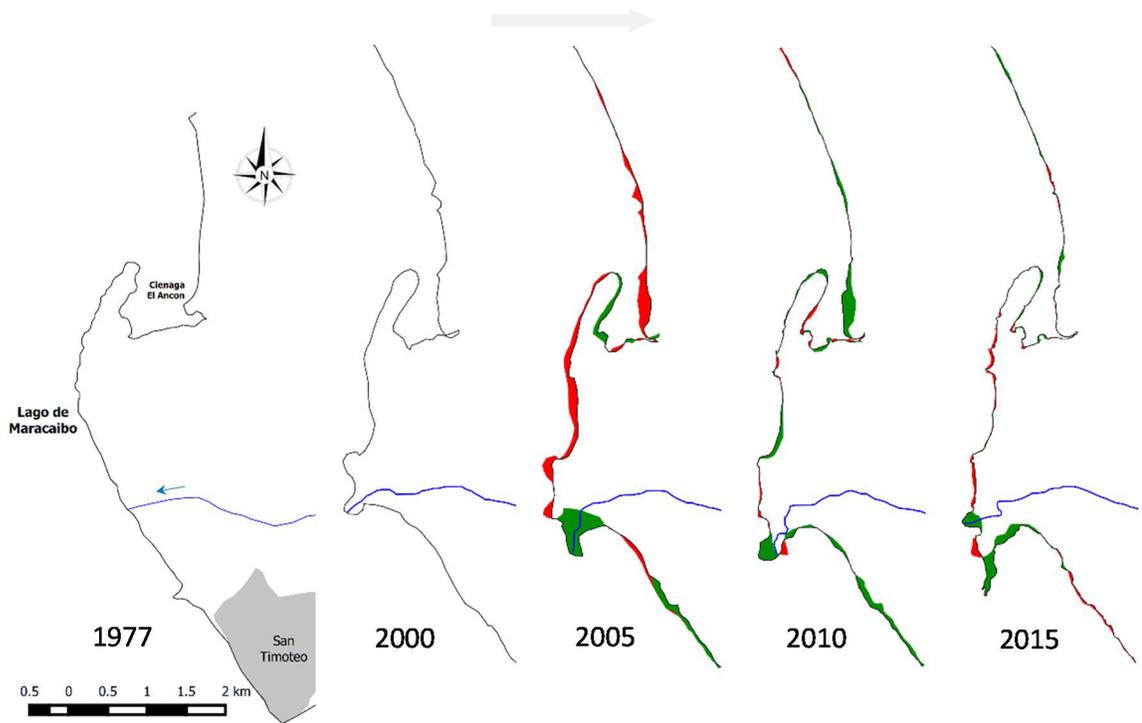


Figura 2. Secuencias de cambios históricos en la desembocadura del río Misoa en la costa nororiental del Lago de Maracaibo. En verde se indica la acreción y en rojo la erosión. En el primer año el litoral es delineado con base en el mapa cartográfico de la Dirección de Cartografía Nacional. La flecha gris indica la dirección del tiempo.

análisis de los cambios temporales de la cobertura en las cuencas de los ríos Misoa, Mitare y Tocuyo, así como en la línea costera asociada a sus desembocaduras. Se determinaron las superficies de incremento (acreción) y pérdida (erosión) en las desembocaduras a partir de las líneas de costa cartografiada en las hojas de la DCN y se compararon entre las imágenes satelitales generadas para el periodo de sequía (de usual enero-abril) en los años 2000, 2005, 2010 y 2015. Igualmente, se describieron cambios en la orientación de los flujos y avulsiones (abandono de cauces y/o conformación de nuevos cauces), así como en la progradación.

4. RESULTADOS

En todas las desembocaduras y en todos los periodos se detectaron procesos de progradación variados, incluyendo cambios morfológicos en la línea costera y los cauces, sugiriendo que el volumen de sedimentos acarreados orientó el balance de masas hacia la acumulación más que a la erosión signada por corrientes de los propios ríos o del cuerpo receptor. En los tramos finales de los ríos Misoa y Tocuyo se presentaron cauces desplazados y desembocaduras únicas, aun cuando se detectaron cauces relictuales inactivos, lagunas de herradura y pequeños lóbulos

(Misoa). Por el contrario, el río Mitare tuvo numerosos distributarios con alternancia histórica en su actividad en un delta de tamaño considerable (186,39 km²).

4.1. Río Misoa:

La cobertura en la cuenca del río Misoa presentaron variaciones moderadas entre los periodos, pero la intervención humana se extendió a casi toda la cuenca, principalmente en las planicies. En las zonas altas persistieron pocos parches de bosques pero con tendencia a la reducción de su superficie. En esta cuenca la cobertura ocupó un 21,6% del área (20.842 ha) en el año 2000, mientras que en año 2015 disminuyó a 19,4% (18.682 ha, Tabla 1).

Las imágenes históricas indican que la desembocadura del río Misoa tuvo cambios conspicuos en dos periodos específicos. En la cartografía de la DCN se registró un lóbulo al norte (Figura 2). Este lóbulo (Punta Misoa) ahora se encuentra estabilizado y en su base interna existe un parche compacto de bosque de manglar (~150 ha) y una ciénaga asociada (Ciénaga El Ancón). Para el primer registro satelital se detectó un lóbulo nuevo al este, con 38,3 ha para el año 2000. A partir del año 2000 el cauce avulsionó al sur y una considerable acumulación de sedimentos conformó

Tabla 1. Disminución de la cobertura boscosa en las cuencas de los ríos Misoa, Mitare y Tocuyo. El diferencial (Δ) indica la variación total en el periodo (2000-2015).

Cuencas hidrográficas	Cobertura boscosa (km ²)		
	2000	2015	Δ
Río Misoa	208,4	186,8	(-) 21,6
Río Mitare	406,6	226,2	(-) 180,4
Río Tocuyo	2.541,0	1.979,2	(-) 561,7

un nuevo lóbulo. En 2005 el cauce avulsionó nuevamente, hacia el este, reorientando la acumulación de sedimentos, comparativamente más pequeña respecto a los lóbulos antecesores. Para 2010 se reconocieron dos lóbulos (Figura 2): uno al norte con 1.440 m de longitud (medido desde la línea costera del año 2005). El otro lóbulo al sur (1.150 m) es reciente y para 2010 presentó avulsiones.

El cauce activo del río Misoa tiene dirección este-oeste y se ubicó en la base de este lóbulo. Para 2015 el cauce tuvo unos 25 metros de anchura justo antes de la desembocadura al lago. La acreción en los periodos 2000-2005 y 2005-2010 acumuló cerca de 90 ha y para el último periodo (2010-2015) la acreción fue 28,8 ha. A la par, la mayor erosión en el lóbulo deltaico fue detectada en el primer periodo (2000-2005: 63,3 ha) y posteriormente no superó las 20 ha por periodo (Figuras 2 y 6).

La aparición de una nueva superficie en el lóbulo deltaico se puede considerar como respuesta a la relación del régimen de corrientes en el lago y los efectos de la disminución de la cobertura de bosque en la cuenca, lo cual se asocia con las diferentes intervenciones antrópicas ocurridas en los periodos estudiados.

4.2. Río Mitare:

En la cuenca del río Mitare predomina el suelo desnudo y los bosques tienen poca cobertura, salvo en las vertientes montañosas a mayor altura. Esta cobertura se expresa principalmente en los bosques secos y ralos de tierras bajas, donde la proporción de suelo desnudo fue elevada. El bosque ocupó un 8,9% del área de la cuenca (40.658 ha) para el año 2000 y se redujo a 4,9% (22.618 ha) en 2015 (Tabla 1), lo que representa cerca de la mitad de esta formación natural en la cuenca.

La desembocadura del río Mitare conforma el mayor delta al norte de Venezuela, con cerca de 20 km de amplitud (~18.640 ha). Es un delta fluvial y constructivo, elongado y lobulado, y con varios distributarios relictuales. Aun cuando muy pocos

distributarios son activos, concentrados en el límite sur del delta y con orientación hacia el este geográfico: La progradación ha sido activa en todo el periodo y se expresa también en las avulsiones que han conformado un abanico de distributarios, más un lóbulo muy elongado (~12 km) hacia el noroeste (Figura 3), lo cual parece estar asociado con el efecto de las corrientes del Golfete de Coro, pero también por el elevado acarreo de sedimentos fluviales.

Las imágenes históricas mostraron para 1840 la presencia de un lóbulo alargado (Punta Caimán) y en algunos mapas se ha indicado también la presencia de una isla asociada (Isla Chicagua). Un segundo lóbulo más pequeño (~ 8 km. Punta Maraguey) está alejado al oeste del delta del Mitare (Figura 3) y se estima que tiene origen similar. En 1970 se detectó que la base del lóbulo se multiplicó en longitud, con una forma similar al delta actual y en 2010 se manifestó una progradación importante en el extremo sureste. En los años siguientes el delta ha crecido periódicamente, pero en poca proporción. En el periodo 2000-2005 la acreción detectada en el delta del río Mitare fue de 90,6 ha, pero esta se incrementó de manera extraordinaria a 1.398,3 ha (periodo 2005-2010) y 1.319,1 ha (periodo 2010-2015). Por el contrario, la mayor erosión fue de 656,3 ha en el periodo 2000-2005, mientras que en los periodos siguientes fue de 192,4 y 469,4 ha, respectivamente (Figura 3). La comparación de imágenes históricas sugiere que las variaciones en la morfología del delta han ocurrido con mayor extensión en los lóbulos y barras activas en el este geográfico y a partir del año 2010. A partir de ese momento la avulsión del cauce principal a un cauce nuevo, con dirección este, propició la importante acreción del delta.

En la cuenca del río Mitare es previsible que el incremento del área del delta sea una respuesta a la disminución de la cobertura de bosque en la cuenca, principalmente en los últimos dos periodos, aun cuando no se conoce la intensidad del efecto de las corrientes marinas y los vientos.

4.3. Río Tocuyo:

En el análisis de las coberturas reveló que el bosque ocupó un 14,4% del área para el año 2000, mientras que en 2015 perdió el 3,2% de superficie. El río Tocuyo presenta una desembocadura cuspíca con cauce único en una playa de poca acreción. Aun cuando es un río con caudal moderado, la acumulación de sedimentos ha sido restringida en la barra de desembocadura. Al norte y cerca de la desembocadura del Tocuyo (12,3 km) existe el pequeño delta bilobulado y estabilizado del río Tucurere, que no parece tener relación ancestral con el primero. Las

imágenes históricas demuestran muy poca variación en la forma y superficie de la desembocadura del río Tocuyo desde 1967. En 2010 se detectó un delta cuspido más una barra que se adentró unos 1.400 m en el mar y tuvo cerca de 3.700 m de longitud a lo largo de la línea costera. En 2010 la barra desapareció y en 2015 lo hizo la cúspide de sedimentos, mostrando el perfil costero similar al de años previos. Según los sensores remotos los cambios en la desembocadura del río Tocuyo fueron muy pocos, excepto en el periodo 2010-2015, donde se presentó la mayor acumulación de sedimentos, con 127,8 ha de acreción (Figuras 4 y 6).

No se reconoció que el incremento del área de la desembocadura del río tuviese una relación con la disminución de la cobertura de bosque. Esto puede ser debido a que en el curso este río existen diversas presas las cuales retienen la alta cantidad de sedimentos que se producen por la pérdida de la cobertura boscosa. De igual manera, el efecto de las mareas y el viento es importante, pues arrastran gran cantidad de sedimentos, evitando así una conformación de una cúspide o lóbulo de mayor tamaño.

5. DISCUSIÓN

Los mapas históricos tienen un papel fundamental en la valoración de los cambios en la morfología de las desembocaduras. La Punta Misoa en el Lago de Maracaibo y una delgada y extensa barra deltaica del río Mitare (Punta Caimán) ya habían sido referidas en los mapas del siglo XIX (Codazzi 1840); incluso, también en mapas de los siglos previos. La digitalización y disposición actual de hojas topográficas es de gran importancia para este tipo de evaluaciones, ya sea por su escala, nivel de detalle y cobertura nacional. En todos los casos, la comparación de los registros históricos con la información actual sugiere un incremento variable en la acumulación de sedimentos en las desembocaduras de los ríos, lo que podría estar relacionado con diferentes variables ambientales (ej. cambio climático), pero también por la expansión de la frontera urbana.

Todas las cuencas mostraron una reducción variable de su cobertura boscosa durante el periodo evaluado (Misoa: 2,24%, Mitare: 3,96% y Tocuyo: 3,17%). Estas pérdidas acumulan 76.372 ha de bosques, lo que representan una reducción muy alta y sugiere también la alteración de las condiciones naturales de los sistemas fluviales que drenan esas cuencas, pues la exposición de los suelos propicia su erosión, se generan sedimentos que son llevados a los cauces y, finalmente, acarreados a las desembocaduras. Varios estudios correlacionan las pérdidas de suelos y de coberturas boscosas con la variación en la

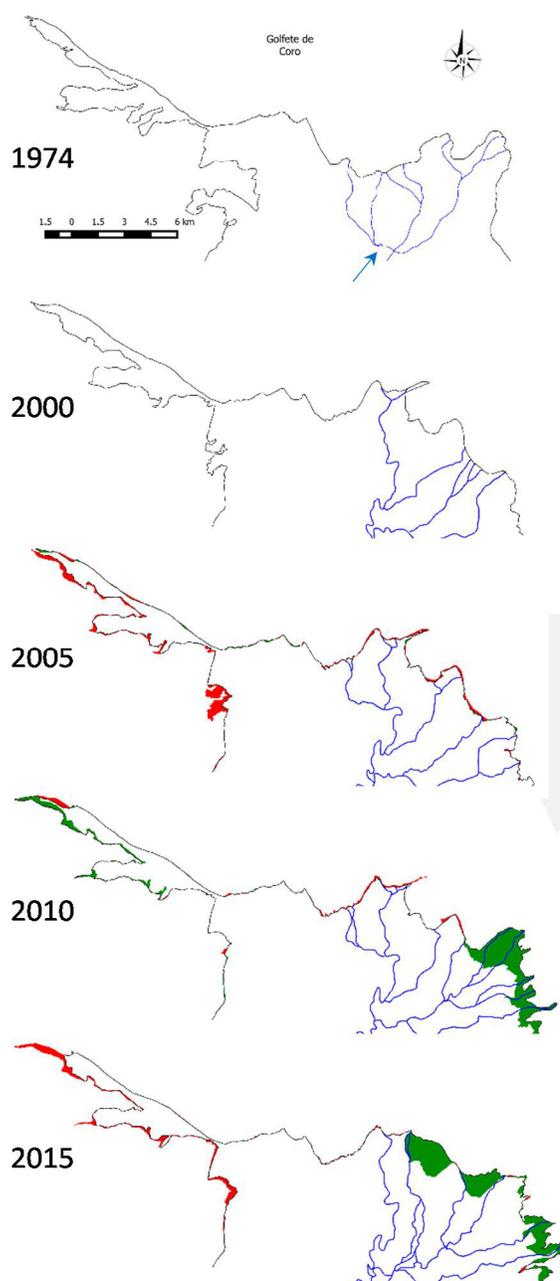


Figura 3. Secuencias de cambios históricos en la desembocadura del río Mitare en el Golfete de Coro. En verde se indica la acreción y en rojo la erosión. En el primer año el litoral es delineado con base en el mapa cartográfico de la Dirección de Cartografía Nacional. La flecha gris indica la dirección del tiempo.

morfología de los cauces y deltas (Suárez y Pacheco 2007, Blanco-Libreros et al 2013, Mazón y Gutiérrez 2016), siendo común en deltas de gran tamaño o en situaciones de deltas constructivos en mareas con poca amplitud. En las cuencas aquí estudiadas este fenómeno es habitual, pero varios factores inciden en la relación funcional y predictiva entre la variación de

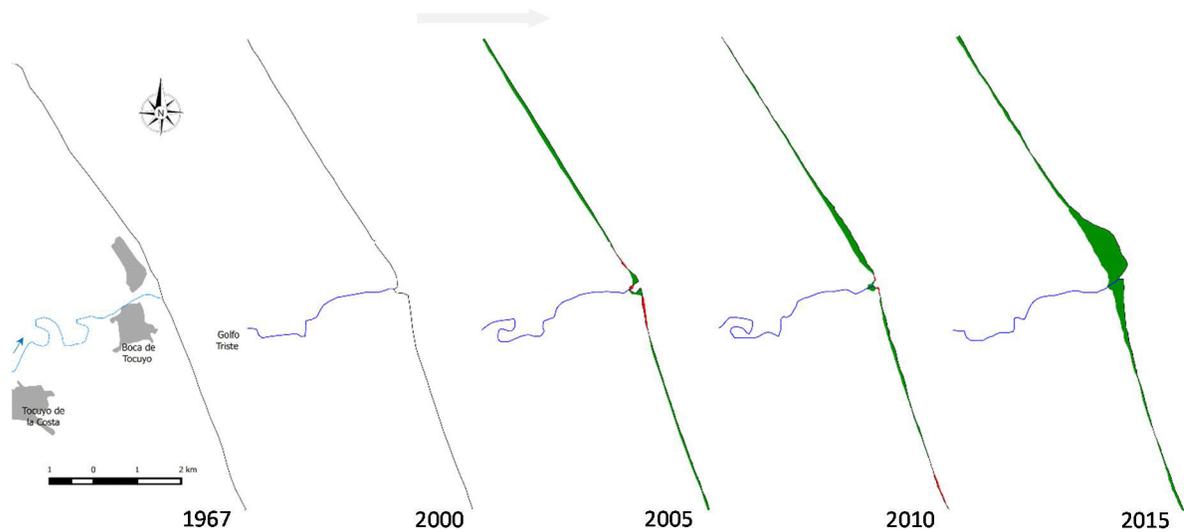


Figura 4. Secuencias de cambios históricos en la desembocadura del río Tocuyo en el Golfo Triste. En verde se indica la acreción y en rojo la erosión. En el primer año el litoral es delineado con base en el mapa cartográfico de la Dirección de Cartografía Nacional. La flecha gris indica la dirección del tiempo.

coberturas de bosque en una cuenca y la acreción y morfología de las desembocaduras. Lo anterior se relaciona con los efectos y combinaciones de las coberturas naturales (ej. bosques xéricos y suelos desnudos en Mitare), retención de sedimentos por medio de los embalses (ej. embalses Dos Cerritos y Atarigua en Tocuyo) o la erosión de las desembocaduras por la misma corriente fluvial o las corrientes del cuerpo receptor (ej. Misoa).

En la conformación y evolución de las desembocaduras tienen un efecto parcial la pérdida de coberturas naturales y la expansión de los usos de la tierra, pero también a las características del cuerpo receptor, donde las corrientes son decisivas, pero también las mareas, el oleaje y los vientos. Lo anterior se expresa en el delta del río Mitare, que se ha originado por la conformación del istmo de Paraganá a finales de Pleistoceno (Rengel-Avilés 2017). El considerable volumen de sedimentos fluviales en este delta crea un balance de masas a favor de la progradación, a lo que se suman las corrientes circulares en el Golfete de Coro, que propician una baja erosión del litoral costero y mantienen sedimentos suspendidos en las aguas (Quintero y Terejova 2008).

Las dimensiones de la cuenca del río Tocuyo y la extensión de su cobertura agrícola, su condición semiárida predominante y su caudal permanente ($\sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$) deben ser causales para aportar un elevado volumen de sedimentos al mar; sin embargo, la desembocadura del Tocuyo no mantiene acumulación extensa y permanente de sedimentos. La retención de estos sedimentos por los embalses instalados en el

cauce principal y varios tributarios, las mareas de tipo mixtas y su régimen (Cartaya et al. 2005) y las corrientes en el Golfo Triste que dirigen su pluma al norte (Monente 2018) explicarían la pequeña cúspide en la desembocadura. Una inspección reciente (2016) a la desembocadura del río Tocuyo demostró una erosión total de la cúspide ($\sim 105 \text{ ha}$) formada a partir de 2010. Aun cuando la pluma del río Tocuyo se orienta al norte, tiene un efecto histórico sobre los arrecifes de coral a unos cuantos kilómetros al sur (Parque Nacional Morrocoy) y se estima que el incremento en la carga sedimentaria del río en las últimas décadas se asocia con la pérdida registrada en los corales locales (Bastidas et al. 2009), este hecho es constatado en los vestigios de corales en los lóbulos del río Tucurere.

La dinámica morfológica de la desembocadura del río Misoa también es una combinación de ubicación, arrastres fluviales y corrientes del lago. En esta desembocadura el nivel estable de las aguas del lago favorece la progradación, pero las corrientes del lago propician la erosión. Ahí la variación en la morfología litoral obedece principalmente a los aportes fluviales por caudales extraordinarios. En el río Motatán, a 34 km al sur del río Misoa, la evolución de lóbulos deltaicos ha demostrado cambios excepcionales en el periodo 1967-1996, con un incremento importante en su longitud y morfología (Suárez y Pacheco 2007); esto sugiere un aporte elevado de sedimentos fluviales, pero se estima que disminuyó cuando en la cuenca baja de ese río (a unos 50 km de la desembocadura) se activó un embalse en 1994. En cualquier caso, la carga de sedimentos en los ríos de la costa oriental del lago

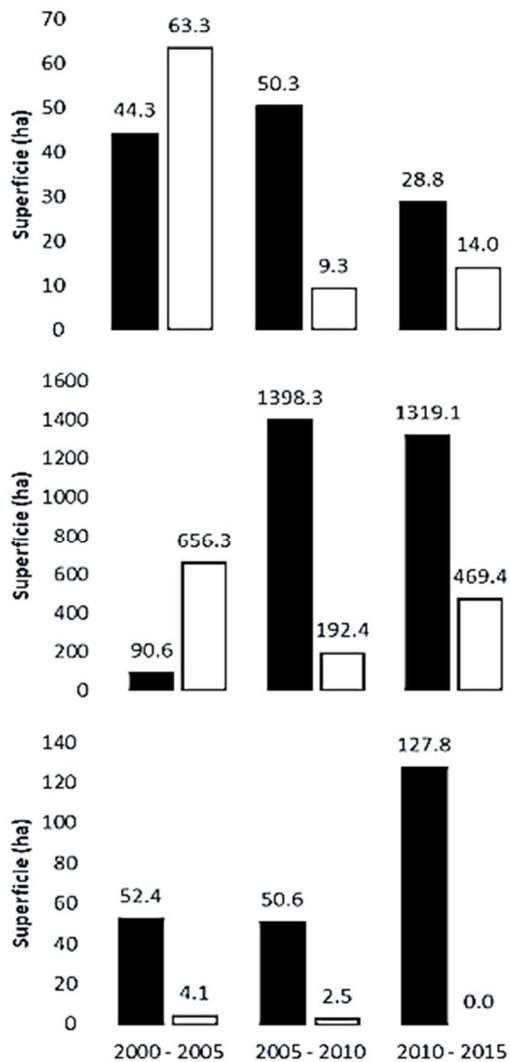


Figura 6. Cambios en acreción (barras negras) y erosión (barras blancas) en las superficies de las desembocaduras de los ríos Misoa (arriba), Mitare (medio) y Tocuyo (abajo) en los diferentes periodos evaluados.

es elevada y se asocia con una pérdida de suelos asociada con la expansión de la frontera agrícola, puesto que la remoción de la capa vegetal favorece la erosión.

Las coberturas forestales propician directa e indirectamente la conservación de los ríos y sus biotas, esto por su relación de protección del suelo y la amortiguación de impactos sobre los ecosistemas acuáticos (Blanco-Libreros et al. 2013). Es comprobado que una mayor cobertura natural o la presencia de áreas protegidas implica una menor pérdida de suelos en una cuenca (Brea y Balocchi 2010), así como una menor sedimentación de ríos y una mayor diversidad de insectos y peces (Rodríguez-Olarte et al. 2006, Barrios et al. 2015). Puesto que la pérdida

natural de suelos y las cargas sedimentarias de los ríos son elementos intrínsecos de las cuencas hidrográficas, se entiende que su existencia y evolución es de orden natural, pero la dinámica de los ecosistemas fluviales es compleja y ha evolucionado para que sus hábitats y biotas demuestren resiliencia frente a los cambios cíclicos y naturales (ej. crecidas en periodos de lluvia). Lo que no es de orden natural es la magnificación, intensidad de prácticas agronómicas inadecuadas, la deforestación innecesaria de bosques ribereños y la transformación de cauces, por ejemplo. En varios casos es difícil establecer el alcance verdadero de estas perturbaciones sobre los tramos finales y desembocaduras de los ríos.

La medida de la pérdida de suelos y coberturas forestales mediante la valoración del acarreo de sedimentos en un cauce, sus aguas o la desembocadura puede ser subestimada por el efecto de las estructuras de retención (embalses, diques), con lo cual se puede ocultar la gravedad de los impactos antropogénicos sobre las cuencas hidrográficas. Igualmente, estimar tales pérdidas como causales de la variación total en la magnitud y morfología de las desembocaduras de usual podría ser una subestimación considerando los procesos erosivos litorales. En cualquier caso, existe una disminución importante en las coberturas de bosque en las cuencas hidrográficas, lo cual debe tener relación funcional con la progradación y morfología de las desembocaduras; sin embargo, es conveniente aplicar diferentes aproximaciones para estimar y cuantificar los cambios en el uso de la tierra y su expresión en las cuencas bajas y desembocaduras de los ríos.

Agradecimientos

Este trabajo es el resultado parcial de la información generada en los proyectos financiados por el Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (CDCHT-UCLA: 041-AG-2012, IAG-2017-6, 1081 AG-2017). Agradecemos a los árbitros anónimos.

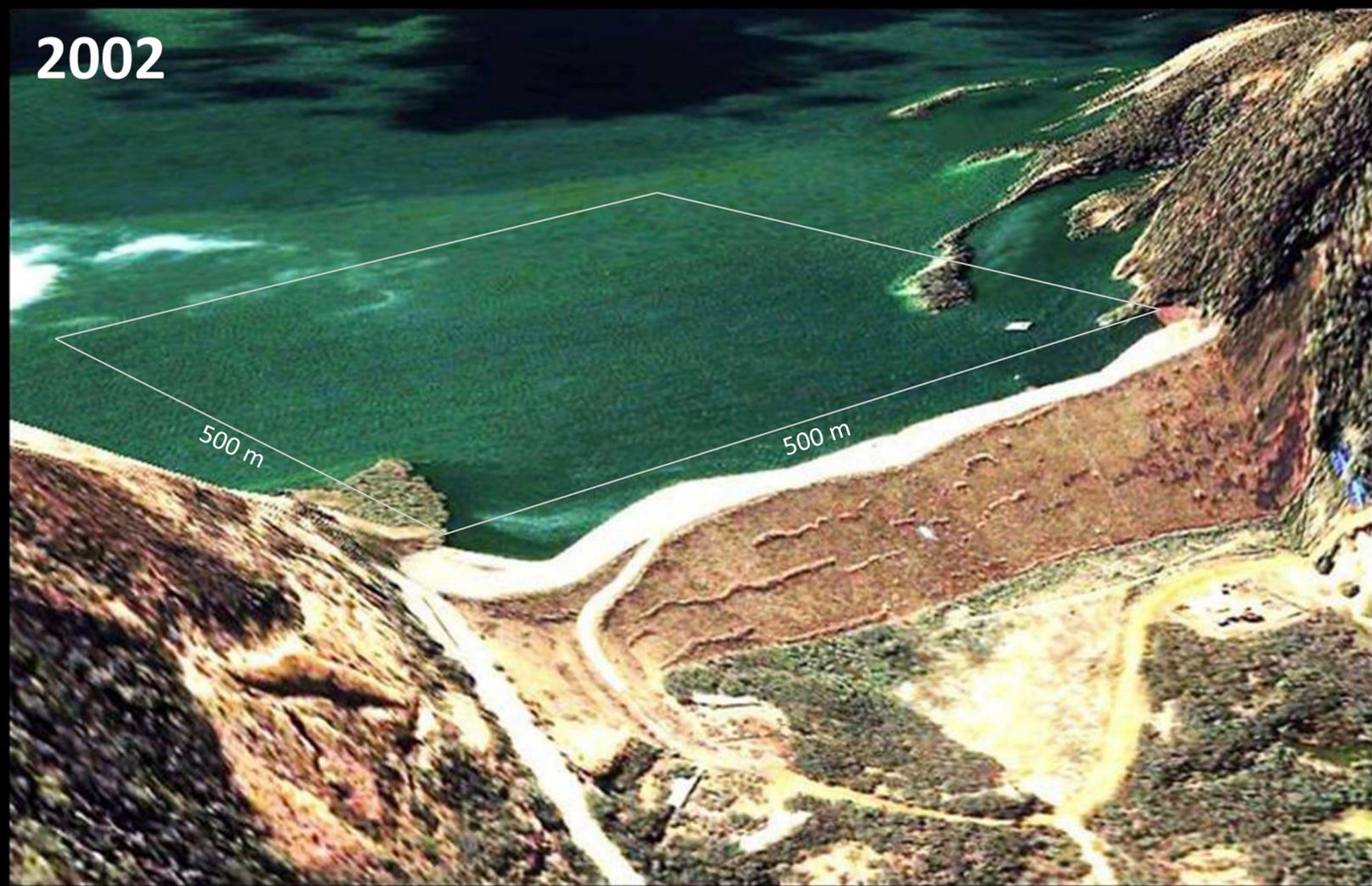
BIBLIOGRAFÍA

- Aldana A. y Bosque J. 2008. Cambios Ocurridos en la Cobertura / Uso de la Tierra del Parque Nacional Sierra de la Culata. Mérida-Venezuela. Período 1988-2003. *GeoFocus*. 8: 139-168.
- Alvarado H. 2010. Caracterización estructural y florística de un bosque ribereño de la cuenca del río Tocuyo (Tocuyo Occidental), estado Lara, Venezuela. *Ernstia*. 20(1): 1-20.
- Álvarez O. 2011. *Modelación morfodinámica de desembocaduras a escala intra-anual*. Trabajo de grado de Maestría. Facultad de Minas, Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia.
- Barrios, M. y Rodríguez-Olarte, D. 2013. Hábitat fluvial e

- insectos indicadores del estado de conservación en la cuenca alta del Río Turbio en el estado Lara, Venezuela. *Bioagro*. 25(3): 151-160.
- Barrios M., Rodríguez-OlarTE D. y García E. 2015. Índice de integridad de los ecosistemas fluviales con base a las comunidades de insectos acuáticos en el río Misoa de la cuenca del lago de Maracaibo, Venezuela. *Entomotropica*. 30(8): 69-83.
- Barrios, M., Rodríguez-OlarTE, D. y Rodríguez B. 2018. Los ríos en riesgo en la costa oriental del Lago de Maracaibo. Capítulo 2. (pp. 36-46). En: Rodríguez-OlarTE, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Bastidas C., Bone D. y García E. M. 1999. Sedimentation rates and metal content of sediments in a Venezuelan Coral Reefs. *Marine Pollution Bulletin*. 1:16-24.
- Blanco-Libreros J. 2015. ¿Qué es una Cuenca Pericontinental? Capítulo 1. pp. 35-65. En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte (Editores). 2015. XII. *Cuencas pericontinentales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros*. Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Blanco-Libreros J., Taborda-Marín A., Amortegui-Torres V., Arroyave-Rincón A., Sandoval A., Estrada E., Leal Flórez J., Vásquez J. y Vivas A. 2013. Deforestación y sedimentación en los manglares del Golfo de Urabá. Síntesis de los impactos sobre la fauna macrobentónica e íctica en el delta del río Turbo. *Gestión y Ambiente*. 16(2): 19-36.
- Brea J. y Balocchi F. (Editores). 2010. *Procesos de erosión – sedimentación en cauces y cuencas*. Documento Técnico N° 22. Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
- Camacho R., Salazar S., González L., Pacheco H. y Suárez C. 2011. Caracterización geomorfológica de las dunas longitudinales del Istmo de Médanos, estado Falcón, Venezuela. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*. 76: 7-19.
- Cartaya S., Méndez W. y González, L. 2005. Geomorfología y sedimentología de los ambientes deposicionales recientes del complejo estuarino de los ríos Hueque y Curarí, Estado Falcón, Venezuela. *Investigaciones Geográficas*. 8: 7-33.
- Codazzi, A. 1840. *Atlas físico y político de la República de Venezuela*. Paris. Imprenta H. Fournier.
- Colonnello G. y Lasso-Alcalá O. 2011. Diagnóstico Ambiental de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Venezuela. En: Vanina, A., Fernández, L., Buitrago, J. (ed.). *Experiencias en la aplicación del enfoque GEO en la evaluación de ecosistemas degradados de Iberoamérica*. 63-79. Red 411RT0430 y Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Argentina.
- COPLANARH. 1974. *Inventario Nacional de Tierras*. Región del Lago de Maracaibo. Región 1. Sub-Regiones 1A, 1B, 1C. República de Venezuela. Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Ministerio de Agricultura y Cría. Centro Nacional de Investigaciones.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2015). Atlas de Cobertura del Suelo del Uruguay. Cobertura del Suelo y Detección de Cambios 2000-2011. Documento en Línea]. Disponible en: www.fao.org/3/a-i4372s.pdf.
- García E., Barrios M., Rodríguez-OlarTE D. y Marrero C. 2016. Integración de escalas, gradientes ambientales e índices en la evaluación del estado de conservación de los ríos en la costa oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. *Intervención*. 41(5): 305-311.
- Grupo MECINCA. 2003. Transforven: Versión 1.0. Mecinca (Mediciones Científicas e Industriales C.A.), Venezuela. <http://www.mecinca.net/software.html>
- Mazón M. y Gutiérrez N. 2016. Pasado y Presente de la Restauración Ecológica en el Contexto Venezolano. *Intervención*. 41(7): 454-460.
- Molina G. y Albarrán A. 2013. Análisis multitemporal y de la estructura horizontal de la cobertura de la tierra: Parque Nacional Yacambú, estado Lara, Venezuela. *Revista Colombiana de Geografía*. 22(1): 25-40.
- Monente, J. 2018. Las plumas fluviales al Mar Caribe de Venezuela. Capítulo 7 (pp: 143-159). En: Rodríguez-OlarTE, D. (Editor). *Ríos en riesgo de Venezuela. Volumen 2*. Colección Recursos hidrobiológicos de Venezuela. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA). Barquisimeto, Lara. Venezuela.
- Quintero, A. y Terejova, G. 2008. Influencia de las corrientes marinas sobre el transporte de sedimentos en la boca del Golfete de Coro, Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*. 47(1): 77-87.
- Rebolledo D. 2011. Manual para la valoración social de impactos y daños ambientales de actividades agrícolas. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)*, Oficina Caracas, Venezuela.
- Restrepo, J. D., López, S. A. y Restrepo, J. C. 2009. The effects of geomorphic controls on sediment yield in the Andean rivers of Colombia. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*. 16(2): 79-92.
- Rodríguez-Bueno P. 2015. *Evaluación espacio-temporal de las coberturas de la tierra y su relación con el estado de conservación de los ecosistemas fluviales en la costa nororiental de Lago de Maracaibo*. Trabajo especial de grado. Departamento de Ciencias Biológicas. Decanato de Agronomía. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela.
- Rodríguez-OlarTE D. y Barrios M. 2014. Gradientes, estabilidad y estado de conservación de peces en la cuenca alta del río Turbio, vertiente andina del Orinoco, Venezuela. *Revista Biología Tropical*. 62 (3): 987-996.
- Rodríguez-OlarTE D., Barrios M., Coronel J. y Marrero C. 2015. Ríos costeros y sus ictiofaunas en el occidente de Venezuela: biogeografía y conservación. Capítulo 8.12. pp. 415-431. En: Lasso, C. A., J. F. Blanco-Libreros y P. Sánchez-Duarte (Editores). 2015. XII. *Cuencas pericon-*

- tinenciales de Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela: tipología, biodiversidad, servicios ecosistémicos y sostenibilidad de los ríos, quebradas y arroyos costeros.* Serie Editorial Recursos Hidrobiológicos y Pesqueros Continentales de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH). Bogotá, D. C., Colombia.
- Rodríguez-Olarte, D., Amaro, A., Coronel, J. y Taphorn, D. C. 2006. Integrity of fluvial fish communities is subject to environmental gradients in mountain streams, Sierra de Aroa, north Caribbean coast, Venezuela. *Neotropical Ichthyology*. 4(3): 319-328.
- Slingerland R. y Smith N. 2004. River avulsions and deposits. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*. 32: 257-285.
- Suárez C. y Pacheco H. 2007. Cambios en el delta del río Motatán relacionados con intervención antrópica. Noroeste de Venezuela-estado Trujillo. *Revista Geográfica Venezolana*. 49(1): 85-92.
- Syvitski, J. P. M. y Kettner, A. 2011. Sediment flux and the Anthropocene. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*. 369: 957-975.
- Tachack-García M., Carrasquel F. y Zambrano-Martínez S. 2010. *Estado de Amenaza de los Ecosistemas al Norte y Sur del Lago de Maracaibo, Estado Zulia*. En: J. Rodríguez; F. Rojas Suárez y D. Giraldo (ed.) Libro Rojo de los Ecosistemas Terrestres de Venezuela. 250-256. PROVITA. Venezuela.
- USGS. 2015. *Satellite Landsat*. USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), Estados Unidos. Disponible en: <http://landsat.usgs.gov/> [Consultado el 11/02/2015].
- Velásquez, M. 2011. *Estudio geoquímico exploratorio de los sedimentos superficiales del delta del río Mitare, estado Falcón*. Trabajo especial de grado. Departamento de Geoquímica. Escuela de Química. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Walling D. y Fang D. 2003. Recent Trends in the Suspended Sediment Loads of the World's Rivers. *Global and Planetary Change*. 39:111-126. DOI: 10.1016/S09218181(03)00020-1
- Wang S., Fu B., Piao S., Lü Y., Ciais P., Feng X. y Wang Y. 2005. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes. *Nature Geoscience*. 9:1-4.

2002



2016



Las tragedias de los ríos muchas veces son previsibles y acaso prevenibles. Aquí, el embalse del río Matícora en dos tiempos. Hoy, los pueblos en la costa oriental del estado Falcón y en la Península de Paraguaná padecen las consecuencias. Imágenes modificadas de DigitalGlobe 2018 (<http://www.earth.google.com>).

Colección Recursos Hidrobiológicos de Venezuela

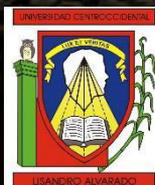
Serie

Ríos en Riesgo de Venezuela 2

Edición a cargo de
Douglas Rodríguez Olarte

Ante la enorme, diversa y gratuita oferta de servicios ecosistémicos que los ríos ofrecen, nuestra respuesta histórica ha sido la depauperación generalizada de los mismos. Si ahora usted alza la vista y observa con cuidado su entorno natural, urbano o rural, es muy probable que detecte la presencia de un río -una quebrada, un arroyo- en las cercanías y, casi con terrible seguridad, ese río estará contaminado, transfigurado o seco. Los ríos son fundamentales para la vida, pero son ecosistemas frágiles, están en riesgo y se extinguen, situando en peligro los componentes de la diversidad biológica y la seguridad alimentaria, en suma: el patrimonio nacional.

Los Ríos en Riesgo de Venezuela es una serie editorial que practica la comunión entre especialistas de diferentes disciplinas de la historia natural y de las ciencias sociales para generar información actualizada, acertada y diversificada sobre los ríos de Venezuela. Cada volumen consta de secciones donde se tratan desde la geografía y las caracterizaciones de las regiones hidrográficas, sus cuencas y ríos -incluyendo casos especiales- hasta los aspectos y eventos transversales que pueden ser reconocidos en la mayoría de los ríos, como son la minería, el cambio climático o la legislación ambiental.



Universidad Centroccidental
Lisandro Alvarado

