

**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**

Eliane García Silva, Margenny Barrios Gómez, Douglas Rodríguez-Olarte y Crispulo Marrero

RESUMEN

Las cuencas que drenan la costa oriental del Lago de Maracaibo en Venezuela se encuentran bajo fuertes impactos con efecto pernicioso sobre los ecosistemas fluviales, pero se desconoce su estado de conservación, lo que limita el manejo adecuado de los recursos hidrobiológicos regionales. En los tributarios Machango y Misoa se caracterizaron 16 tramos de ríos según las dimensiones del cauce, la composición del sustrato y las variables físico-químicas del agua, y se recolectaron muestras de insectos. El estado de conservación de las localidades se estimó mediante índices ambientales (IHF: índice de hábitat fluvial; QBR-And: índice de calidad de bosques de ribera andina; HII: índice de integridad de hábitat). Se exploraron las relaciones entre el gradiente del hábitat e índices mediante análisis de clasificación y ordenación multi-

variada. El hábitat acuático mostró un gradiente de heterogeneidad asociado directa y significativamente con la altura y el estado de conservación de cauces y zonas de ribera. Todos los índices tuvieron puntajes elevados donde hubo mayor cobertura vegetal en zonas de ribera y sustratos más heterogéneos; además, los índices tuvieron correlaciones proporcionales y significativas con el gradiente del hábitat fluvial y el número de familias de insectos acuáticos. Se reconoció un gradiente en el estado de conservación, donde una clase de conservación baja se asoció con hábitats homogéneos e intervenidos y con menor riqueza de insectos acuáticos. Los índices empleados son adecuados para estimar las clases de conservación de los ríos y sus biotas, pudiendo ser útiles para el monitoreo de las cuencas hidrográficas.

Introducción

Un notable cuerpo de evidencias demuestra que los ecosistemas fluviales son funda-

mentales en el equilibrio energético de la cuenca hidrográfica y el mantenimiento de su diversidad biológica (Naiman *et al.*, 2005). Así, las fluctua-

ciones entre los períodos de sequía y lluvias se expresan en cambios temporales de los volúmenes de agua con destino al escurrimiento, la inundación

y (vía percolación) al mantenimiento de acuíferos. La inundación de zonas de ribera y planicies inundables se asocia con un aporte considerable de

PALABRAS CLAVE / Cuencas Hidrográficas / Hábitat Fluvial / Monitoreo de Ecosistemas / Recursos Hidrobiológicos / Riqueza de Especies /

Recibido: 12/06/2014. Modificado: 17/03/2016. Aceptado: 22/03/2016.

Eliane García Silva. Ingeniera Agrónoma, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado (UCLA), Venezuela. e-mail: garciaeliane417@gmail.com
Margenny Barrios Gómez. Ingeniera Agrónoma, UCLA, Venezuela. Docente-Investigadora, UCLA, Venezuela.

e-mail: margennybarrios@gmail.com
Douglas Rodríguez-Olarte. Ingeniero en Recursos Naturales Renovables y M.Sc. en Manejo de Fauna Silvestre y Acuática, Universidad Nacional Experimental de los Llanos Occidentales Ezequiel Zamora

(UNELLEZ), Venezuela. Doctor en Biología de la Conservación, Universidad Complutense de Madrid, España. Docente-Investigador, UCLA, Venezuela. Dirección: Museo de Ciencias Naturales. Departamento Ciencias Biológicas, Decanato de Agronomía. Núcleo Héctor Ochoa

Zuleta. UCLA. Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela. e-mail: douglasrodriguez@ucla.edu.ve
Crispulo Marrero. Licenciado en Biología y Doctor en Zoología. Universidad Central de Venezuela. Docente-Investigador, UNELLEZ, Venezuela. e-mail: krispulom@gmail.com

INTEGRATION OF SCALES, INDICES AND ENVIRONMENTAL GRADIENTS IN THE EVALUATION OF THE CONSERVATION OF RIVERS OF THE EASTERN COAST OF LAKE MARACAIBO, VENEZUELA

Eliane García Silva, Margenny Barrios Gómez, Douglas Rodríguez-Olarte and Crispulo Marrero

SUMMARY

The drainages of the eastern coast of Lake Maracaibo of Venezuela are subjected to strong disturbances, especially the loss of riparian forests and transformation of riverbeds, with detrimental effect on river ecosystems, but their conservation status is unknown, limiting appropriate management of regional hydrobiological resources. In the tributary rivers Machango and Misoa, 16 drainage sites were evaluated by characterizing the channel dimensions, the substrate composition and the water physicochemical variables. Aquatic insects were also collected using standardized sampling. The conservation status of the sites was estimated using environmental indices (IHF: fluvial habitat index; QBR-And: index of quality of Andean riparian forest; HII: habitat integrity index). Relationships between habitat gradient and the indices were explored by multivari-

ate classification and ordination analysis. The synthetic variables generated were related environmental indices and biotas. The aquatic habitat showed a heterogeneity gradient directly and significantly associated with the variables that determine the structure of the channel and riparian zones. All indices scored higher where there was more vegetation cover in riparian zones and heterogeneous substrates; also, the indices had significant correlations with the gradient of fluvial habitat and number of insect families. A gradient in the conservation status was detected, where a class of low conservation was associated with homogeneous and impacted habitats and the lowest richness of insect families. The indices used are suitable to estimate conservation classes of rivers and their biotas, and may be employed for monitoring drainages.

INTEGRAÇÃO DE ESCALAS, GRADIENTES AMBIENTAIS E ÍNDICES NA AVALIAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DOS RIOS NA COSTA ORIENTAL DO LAGO DE MARACAIBO, VENEZUELA

Eliane García Silva, Margenny Barrios Gómez, Douglas Rodríguez-Olarte e Crispulo Marrero

RESUMO

As bacias que drenam a costa oriental do Lago de Maracaibo na Venezuela se encontram sob fortes impactos com efeito pernicioso sobre os ecossistemas fluviais, mas se desconhece seu estado de conservação, o que limita a manipulação adequada dos recursos hidro biológicos regionais. Nos tributários Machango e Misoa foram caracterizados 16 segmentos de rio segundo as dimensões do leito, a composição do substrato e as variáveis físico-químicas da água, e se recolheram amostras de insetos. O estado de conservação das localidades foi estimado mediante índices ambientais (IHF: índice de hábitat fluvial; QBR-And: índice de qualidade de florestas de ribeira andina; HII: índice de integridade de hábitat). Exploraram-se as relações entre a gradiente do hábitat e índices mediante análises de classificação e ordenação multivariada. O hábitat

aquático mostrou uma gradiente de heterogeneidade associada direta e significativamente com a altura e o estado de conservação de leitos e áreas de ribeira. Todos os índices tiveram pontuações elevadas onde houve maior cobertura vegetal em áreas de ribeira e substratos mais heterogêneos; além disso, os índices tiveram correlações proporcionais e significativas com a gradiente do hábitat fluvial e o número de famílias de insetos aquáticos. Reconheceu-se uma gradiente no estado de conservação, onde uma classe de conservação baixa foi relacionada com habitats homogêneos e modificados, e com menor riqueza de insetos aquáticos. Os índices empregados são adequados para estimar as classes de conservação dos rios e suas biotas, podendo ser úteis para o monitoramento das bacias hidrográficas.

nutrientes al sustrato, permitiendo el sostén de variados ecosistemas adyacentes (bosques ribereños, pantanos, etc.) y permite la continuidad de los ciclos biológicos (migraciones, reproducción, etc.) de la flora y fauna asociadas. Además, en los ríos se reconoce el cambio continuo en las condiciones físicas y biológicas en un gradiente espacial que predice, permite y compromete el mantenimiento de la diversidad biológica y su productividad desde las cuencas altas hasta las planicies (Vannote *et al.*, 1980).

Sin embargo, a pesar del enorme valor ecológico, económico y cultural de los ríos, estos son los ecosistemas más

amenazados del planeta por efecto de la deforestación masiva de cuencas altas y bosques ribereños, la erosión del suelo y posterior colmatación de cauces, los incendios de vegetación, la contaminación por efluentes urbanos, agropecuarios e industriales y la transformación de cauces con la construcción de estructuras hidráulicas y la extracción de minerales, entre otras perturbaciones (Tockner y Stanford, 2002). Tales perturbaciones degradan los ecosistemas fluviales, comprometiendo la diversidad biológica y los servicios ambientales asociados; además, en las próximas décadas las previsiones respecto al

incremento en la demanda de recursos hidrobiológicos y los escenarios del cambio climático sugieren impactos generalizados y extremos sobre los ecosistemas fluviales (Dudgeon *et al.*, 2006).

Los ríos y sus biotas son indicadores del estado de conservación de la cuenca, reflejando la geología y los suelos, el tipo y cobertura de formaciones vegetales e incluso los usos de la tierra (Allan, 2004). El estado de conservación de los ríos se estima usualmente por evaluaciones cuantitativas y cualitativas del hábitat en modelos prácticos (de aquí en adelante denominados 'índices') aplicados en escalas

variadas. Estos índices se conforman con variables que caracterizan principalmente los atributos del cauce y su zona ribereña (Fernández *et al.*, 2011) y son más efectivos cuando se relacionan con los gradientes en la estructura del hábitat, así como con los atributos de sus comunidades biológicas. En Suramérica existe un creciente empleo y adaptación de estos índices (Nessimian *et al.*, 2008; Acosta *et al.*, 2009; Barrios y Rodríguez-Olarte, 2013) y se espera, además de su integración e incremento de efectividad, su aplicación en programas gubernamentales para el manejo de las cuencas hidrográficas, más aun si se

considera la situación de riesgo que presentan las principales cuencas continentales y sus biotas (Barletta *et al.*, 2010).

Las exploraciones de campo evidencian que al norte del río Orinoco los ecosistemas fluviales se encuentran en depauperación progresiva y los cauces principales de las cuencas costeras se encuentran degradados. Esto también ocurre en los ríos de la cuenca del Lago de Maracaibo, que son objeto de una severa degradación principalmente en la costa nororiental (cuencas Machango, Misoa, Pueblo Viejo), donde la mezcla de conurbaciones litorales, los sistemas de producción agropecuaria y la explotación petrolera tiene una asociación fuerte y nociva sobre los ecosistemas fluviales y lagunas litorales (Medina y Barboza, 2006), lo que ha propiciado la contaminación, canalización, represamiento e incluso desecamiento de varios afluentes.

Sin embargo, no se dispone de información sobre el estado de conservación de estos ríos. En este trabajo se adaptaron y probaron índices ambientales para estimar el estado de conservación de los ríos en diferentes escalas (cauce y zona ribereña), y su relación con la heterogeneidad del hábitat y los atributos de las comunidades de insectos acuáticos con el fin de describir y escoger indicadores adecuados para el manejo y conservación de los recursos hidrobiológicos.

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Las cuencas dendríticas y contiguas de los ríos Misoa (998km², cauce: 94km) y Machango (1230km², cauce: 103km) desembocan en la costa nororiental de Lago de Maracaibo y drenan las serranías de Ziruma (máxima

elevación ~2000msnm), Jirajara y El Pajuí entre los estados Lara y Zulia (Figura 1). En estas cuencas los piedemontes son ondulados y las planicies costeras ocupan la mayor superficie; estas últimas presentan una pendiente mínima, suelos mal drenados y están sujetas a inundación temporal. En la transición geomorfológica entre las planicies y el piedemonte de la cuenca del río Misoa la precipitación y temperatura son de 1320mm y 27,4°C, respectivamente (Medina y Barboza, 2006), el período de sequía se extiende desde enero a marzo y el de lluvias se presenta con dos máximos, en mayo y octubre. Valores similares son reconocidos en la cuenca del río Machango. La zona de vida de bosque seco tropical se extiende en las planicies y cuenca media, mientras que el bosque húmedo premontano se detecta en las cuencas altas. En cuanto a formaciones vegetales,

predominan las selvas veraneas o tropófilas pero debido a la intervención tienen muy poca extensión, incluyendo los bosques ribereños, y se restringen a pequeños parches en las cuencas altas y algunas vertientes. Las planicies y tierras medias en estas cuencas están cubiertas por vegetación secundaria, principalmente matorrales y pastizales arbolados. Los bosques semideciduos y ribereños locales se encuentran en situación de riesgo; ambos con un mal pronóstico en el futuro cercano (Tachack-García *et al.*, 2010), más aun cuando se consideran los frecuentes e intensos incendios de vegetación en la región.

En las cuencas de Machango y Misoa no existen áreas estrictas para la conservación y en las zonas protectoras de cuencas altas la deforestación es extensa. La intervención humana es regida por los centros poblados en tierras medias (Palmarito, El Venado) y las planicies (Bachaquero, Pueblo Nuevo, San Timoteo). En la matriz del paisaje predomina la ganadería, pero también la explotación petrolera (pozos y refinerías). Los tramos finales de los ríos Machango y Misoa han sido canalizados en gran parte de su recorrido, lo cual también ha tenido lugar en algunos sectores de la cuenca media.

Muestras

Se ubicaron 16 localidades de muestreo (Figura 1): cuatro en la cuenca del río Machango (intervalo de altura: 137-162msnm) y 12 en la cuenca del río Misoa (1-633msnm). La selección de localidades de muestreo correspondió a su representatividad dentro de las unidades fisiográficas de cuenca alta, media y baja. Una localidad comprendió un tramo de cauce con corriente activa, con longitud de 50m y con una zona ribereña circundante de 100m en ambos márgenes. En cada localidad se midieron variables del paisaje local, la zona ribereña y el hábitat acuático sólo en el período de sequía (enero - marzo 2013) porque en el mismo el hábitat, las biotas y

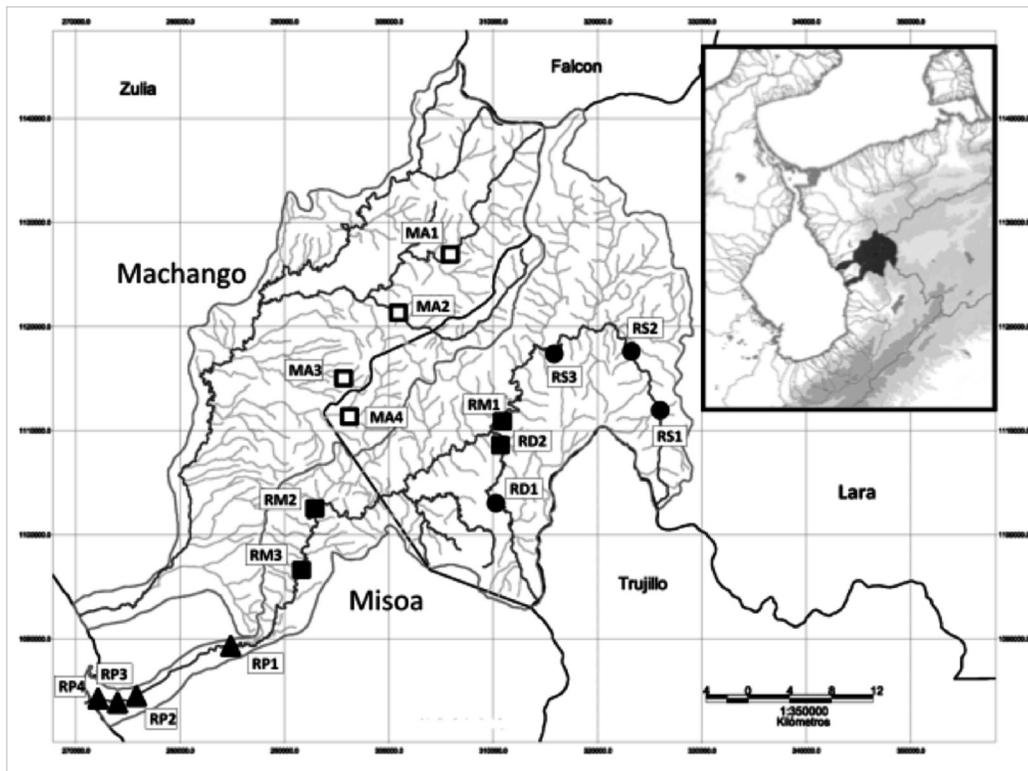


Figura 1. Cuencas de los ríos Machango y Misoa, costa oriental del Lago de Maracaibo, Venezuela. La fisiografía se expresa en cuenca alta (●), media (■) y baja (▲). Los símbolos blancos se asocian sólo con la cuenca del río Machango. Las localidades en la cuenca alta del río Misoa se ubican en río Sicare (SR1, SR2, SR3) y Río Dulce (RD1, RD2); en la cuenca media (RM1, RM2, RM3) y baja (RP1, RP2, RP3, RP4). En la cuenca Machango las localidades son en Sipayare (MA1), Río Chiquito (RM2), quebradas Las Vegas (RM3) y Las Rosas (RM4).

la zona ribereña tienen mayor poder indicador; además, se registra la mayor riqueza de invertebrados (Jacobsen y Encalada, 1998). En el hábitat acuático se estimó, en un transecto perpendicular al cauce y en unidades de 1m², la cobertura de componentes del sustrato (Barbour *et al.*, 1999) y se midió la conductividad ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), los sólidos totales disueltos ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$), el pH y la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) con equipos electrónicos. Los registros de familias de insectos acuáticos provinieron de muestreos estandarizados efectuados en las localidades y durante el mismo período, según el método empleado por Barrios y Rodríguez-Olarte (2013). Los insectos capturados fueron incorporados al Museo de Ciencias Naturales de la UCLA (Colección Regional de Peces).

Para estimar y comparar la variación del estado hidrogeomorfológico de los ríos y sus riberas (en adelante 'estado de conservación') se emplearon índices con diferentes alcances y escalas espaciales. Estos índices se construyen con una serie de medidas (variables) relativas a elementos del ambiente (sustrato, cobertura de riberas, uso de la tierra, etc.), a las que se le asigna un puntaje de acuerdo a su mejor o peor estado. La suma de los puntajes de todas las medidas genera el puntaje final del índice. En la escala de cauce fluvial se aplicó el índice de hábitat fluvial (IHF; Pardo *et al.*, 2002), que valora la heterogeneidad del hábitat y se construye por las medidas de rápidos y sedimentación de pozos, frecuencia de rápidos, composición del sustrato, régimen de velocidad/profundidad, cobertura de sombra y elementos de heterogeneidad. En el IHF no se empleó la medida de cobertura de vegetación acuática. En las zonas de ribera se usó el índice de vegetación de ribera para comunidades arbóreas (QBR-And, Acosta *et al.*, 2009), aquí modificado para el área de estudio. Este índice valora el estado de la cobertura vegetal asociada a los cauces y se construye con las medidas de cobertura de

vegetación en la zona de ribera, estructura de la cubierta vegetal, calidad de la cobertura vegetal y grado de naturalidad del cauce fluvial. El índice de integridad de hábitat (HII, Nessimian *et al.*, 2008) engloba características del hábitat acuático y de la zona de ribera, y en el mismo participan las medidas de uso de la tierra, ancho del bosque ribereño, estado del bosque ribereño, vegetación en las riberas, estructuras de retención, sedimentos en el cauce, estructuras en los taludes, rotura o corte de taludes, elementos del fondo del cauce, rápidos, pozos y remansos, y detritos. En el HII sólo se consideraron para las localidades las distancias y superficies indicadas en los muestreos; además, no fueron consideradas las especies de plantas. Los índices fueron estandarizados en escala de 0 a 100 puntos que comprendió diferentes clases de conservación: estado natural o muy buena conservación (>90 puntos), buena (81-90), moderada (61-80), baja (40-60) y muy baja conservación o estado crítico (<40 puntos). Cuando por lo menos uno de los tres índices alcanzaron >80 puntos en una localidad, la misma fue considerada como referencia del mejor estado de conservación.

Análisis de datos

Las variables del hábitat acuático no demostraron distribución normal (Shapiro-Wilk, $P < 0,05$) y fueron transformadas. Las variables de profundidad, sólidos disueltos totales y la temperatura del agua fueron normalizadas ($\log(x)$), al igual que la cobertura del sustrato y el porcentaje de sombra (Arcsen). La redundancia estadística (i.e. cuando las variables comparten mucha información similar) entre los subíndices fue explorada mediante matrices de correlación (Spearman, rs) y entre correlaciones elevadas ($r > 0,80$) se eliminó la variable con menor valor. Las localidades de muestreo se agruparon de acuerdo a un análisis de clasificación jerárquica (distancia euclídea y

enlace Ward) sobre una matriz con los índices (IHF, QBR-And y HII). Una similaridad <75% fue el criterio de separación de grupos de localidades. Los grupos de localidades detectados previamente fueron contrastados en una ordenación de escalamiento multidimensional no métrico (NMS; McCune y Mefford, 2011) empleando una distancia euclídea y evaluando el estrés con una prueba de Monte Carlo (250 permutaciones, $P = 0,001$). Para probar las diferencias entre los grupos se aplicó un procedimiento no paramétrico de permutación de respuestas múltiples (MRPP, distancia Euclídea; McCune y Mefford, 2011). Para extraer variables sintéticas que resumieran la información ambiental y detectar los gradientes en la heterogeneidad del hábitat acuático se desarrolló un análisis de componentes principales (PCA). Para detectar relaciones y similitudes entre el gradiente natural en el hábitat, sus biotas y los estados de conservación se correlacionaron (Spearman, rs) las variables generadas en el PCA con las variables ambientales, con los valores obtenidos en los índices, y con el número de familias de insectos acuáticos. Los análisis multivariados

se elaboraron con PC-ORD 6 (McCune y Mefford, 2011).

Resultados

Las variables sintéticas que resumieron el gradiente del hábitat se expresaron principalmente en los dos primeros ejes de la ordenación multivariada PCA, que acumularon una varianza de 59,1% (PCA1= 38,3%; PCA2= 21,1%). El gradiente del hábitat dado por el eje PCA1 fue regido en sus valores negativos por las variables de profundidad, arena y temperatura del agua (valor extremo en las planicies: 39,4 $^{\circ}\text{C}$), mientras que la cobertura de cantos rodados, piedras, sombra y la velocidad marcaron los valores positivos (Tabla I, Figura 2). Este gradiente se complementó con el generado por el eje PCA2, donde destacaron con valores negativos el pH, la concentración de sólidos disueltos totales y la temperatura del agua. Los cauces en las localidades de las planicies tuvieron mayor profundidad, mayor cobertura de arena y mayor temperatura de las aguas que los cauces en la cuenca alta y media, donde además fue mayor la cobertura de sombra. El eje PCA1 pre-

TABLA I
VARIABLES SINTÉTICAS GENERADAS EN UN ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES (PCA) SOBRE LA MATRIZ DE LAS VARIABLES AMBIENTALES*

Hábitat	Componentes		
	1	2	3
Autovalores	5,356	2,947	1,703
Varianza explicada (%)	38,25	21,05	12,17
Varianza acumulada (%)	38,25	59,31	71,47
Variables			
Profundidad máxima	-0,307	0,104	0,385
Velocidad	0,301	-0,173	-0,101
Fango	-0,268	-0,084	0,438
Arena	-0,306	0,113	-0,316
Grava fina	0,279	-0,192	0,020
Grava gruesa	0,273	-0,378	-0,141
Cantos rodados	0,349	-0,202	0,137
Piedras	0,360	-0,083	0,297
Rocas	0,274	0,110	0,351
Troncos, ramas, hojas	0,123	0,274	-0,39
Sombra	0,214	0,263	-0,111
pH	-0,165	-0,451	-0,098
Sólidos disueltos totales	-0,138	-0,423	-0,312
Temperatura (agua)	-0,244	-0,413	0,140

La varianza explicada acumulada para los dos primeros componentes alcanza cerca del 60%.

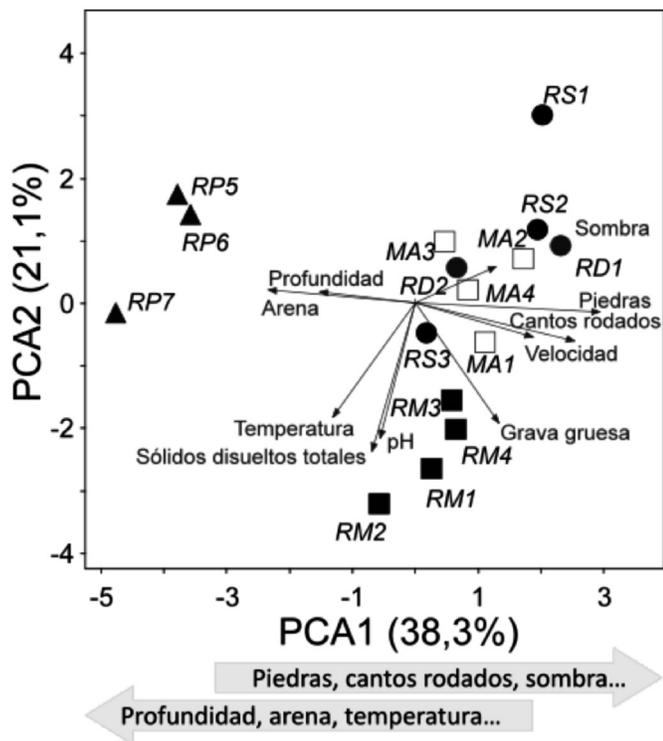


Figura 2. Análisis de componentes principales (PCA) sobre las variables del hábitat. La longitud de los vectores indica la intensidad de las variables. La fisiografía se expresa en cuenca alta (●), media (■) y baja (▲). La heterogeneidad del hábitat aumenta con la altura. Las siglas denotan localidades (ver Figura 1).

sentó correlaciones más elevadas y significativas con las variables representativas de granulometrías gruesas (rocas, piedras), el número de familias de insectos acuáticos y la cobertura de sombra, mientras que el eje PCA2 la tuvo sólo con la cobertura de grava gruesa (Tabla II). Por el contrario, las variables del agua (pH, sólidos disueltos totales, temperatura) mostraron correlaciones elevadas con ambos ejes de la ordenación.

En la clasificación multivariada (correlación cofenética de 0,81) se detectaron grupos de localidades según su estado de conservación (Figura 3a). Dentro del grupo I las localidades RS1, RD1 y RD2 obtuvieron el mayor estado de conservación promedio ($\bar{x} = 87$; mín= 80, máx= 91). Estas localidades se ubicaron a mayor altura (338-663 snm), en diferentes afluentes (Sicare y Río Dulce) y fueron consideradas como referenciales. El grupo II contuvo localidades de la

cuenca Machango (MA1, MA2; 137-162msnm) y Misoa (RM2 y RM3; 92-148msnm), y su estado de conservación fue moderado ($\bar{x} = 64$; mín= 59, máx= 73). Un estado de

conservación muy bajo se detectó en el grupo III ($\bar{x} = 33$; mín= 27, máx= 38), destacando las localidades con cauces canalizados y/o en las planicies (MA2, RP5 a RP7). La

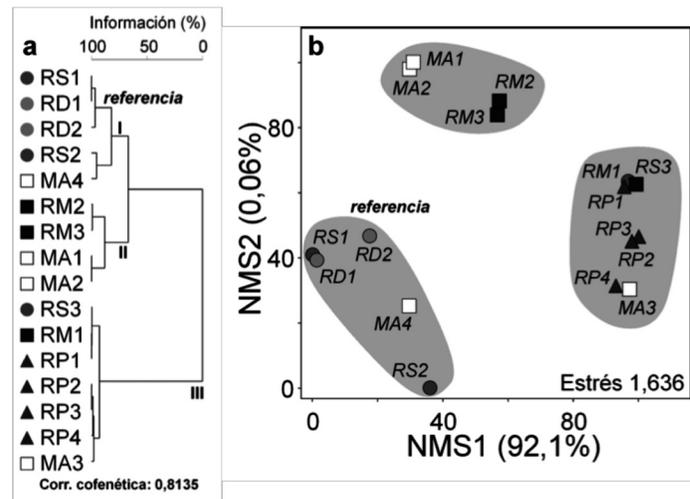


Figura 3. Clasificación jerárquica (a) y ordenación multidimensional (b) de las localidades en las cuencas del río Machango y Misoa según los puntajes de los índices IHF, QBR-And y HII. Se detectaron tres grupos de localidades. Dentro del grupo I destacan las localidades de referencia (> 80 puntos). Las siglas denotan localidades (ver Figura 1).

TABLA II
CARACTERÍSTICAS DE LAS LOCALIDADES DE MUESTREO (VARIABLES AMBIENTALES, NÚMERO DE FAMILIAS DE INSECTOS ACUÁTICOS E ÍNDICES) EN LOS GRUPOS DETECTADOS SEGÚN SU ESTADO DE CONSERVACIÓN EN LA CLASIFICACIÓN Y ORDENACIÓN MULTIVARIADAS

Variables	Grupos de localidades y clases de conservación			Correlación (rs)	
	Grupo I Natural-Buena n=5	Grupo II Moderada n=4	Grupo III Baja-Muy baja n=7	PCA1	PCA2
Cauce					
Profundidad (cm)	22,3 (14,9-30,0)	19,9 (10,2-27,5)	30,6 (10,9-98,4)	-	-
Sustrato (%)					
Fango	0,6 (0-2,6)	0	11,8 (0-80,0)	-0,51*	-
Arena	1,7 (0-3,8)	7,3 (0-15,2)	3,4 (1,0-5,0)	-	-
Grava fina	11,0 (5,5-19,6)	6,9 (0-17,1)	12,4 (0-32,7)	-	-
Grava gruesa	13,9 (4,6-24,4)	24,5 (12,4-49,6)	12,2 (0-34,7)	-	-0,70**
Cantos rodados	14,9 (8,1-25,6)	13,7 (8,3-15,9)	9,1 (0-28,5)	0,55*	-
Piedras	18,1 (10,4-27,9)	10,7 (5,8-19,1)	5,8 (0-40,5)	0,63**	-
Rocas	18,1 (0-30,3)	14,6 (0-42,8)	4,3 (0-16,8)	0,84**	-
Troncos, ramas	7,1 (2,1-11,4)	10,6 (0-21,2)	8,2 (0-28,0)	0,57*	-
Sombra	14,4 (6,1-72,1)	11,7 (0-29,8)	3,1 (0-21,8)	0,57*	-
Aguas					
Temperatura (°C)	25,5 (22,7-31,0)	31,6 (21,1-36,4)	30,6 (25,8-39,4)	-0,75**	-0,70**
SDT (mg·l ⁻¹)	114 (42,0-206,0)	451,5 (146,0-819)	433,3 (169,0-865,0)	-0,59*	-0,73**
Velocidad (m·s ⁻¹)	0,30 (0,18-0,40)	0,44 (0,38-0,50)	0,29 (0,06-0,45)	-	-
pH	7,12 (6,5-7,9)	8,2 (6,9-8,9)	8,2 (7,1-8,9)	-0,65**	-0,75*
Índices					
IHF	83 (69-89)	63 (39-74)	42 (28-66)	0,72**	-
QBR-And	76 (55-95)	38,8 (20-50)	27,2 (20-55)	0,68**	-
HII	80 (69-92)	62 (39-80)	43 (33-65)	0,61*	-
Familias de insectos	18 (12-23)	12,6 (9-16)	11,8 (2-16)	0,54*	-

Sólo se muestran las correlaciones con $rs > 0,50$ (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$) con la variable sintética PCA1. Los valores son promedios (entre paréntesis los mínimos y máximos).

ordenación NMS se resolvió bidimensionalmente (estrés= 1,63) y con una elevada variancia explicada (NMS1= 91,2%; NMS2= 0,06%; Figura 3b), detectándose los mismos grupos que en la clasificación multivariada. Estos grupos de localidades fueron significativamente diferentes en todas sus combinaciones: grupos I-III (MRPP; T= -6,44; A= 0,405; P= 0,0005), grupos I-II (T= -2,43; A= 0,213; P= 0,0302) y grupos II-III (T= -5,87; A= 0,423; P= 0,0007), sugiriendo que los ríos en las cuencas de Machango y Misoa tiene diferencias significativas en su estado de conservación.

Hubo mayores valores del IHF en ríos de la cuenca alta (RS1, RS2, RD1, RD2), salvo una localidad con severas perturbaciones (RS3), y estos se ubicaron en un estado de conservación bueno (Tabla II). Por el contrario, una prevalencia de hábitats homogéneos se asoció en ríos intervenidos, cauces canalizados (RP2, RP3, RP4) y/o ubicados en la cuenca baja. Los otros índices tuvieron una clase de conservación baja para ambas cuencas y elevada correlación inversa con la cobertura de arena, mientras que fue directa con la cobertura de piedras y rocas, así como con la temperatura (Tabla III). El IHF presentó los mayores valores y tuvo correlaciones elevadas con el QBR-And (rs= 0,91; P=0,0001) y el HII (rs= 0,94;

P=0,0001); esto es, el estado de conservación del hábitat acuático se relacionó ampliamente con el estado de conservación de las riberas y áreas adyacentes (Tabla III), considerándose complementarios en diferentes escalas. Un promedio de los tres índices mostró un predominio de la clase de conservación baja en todos los afluentes (\bar{x} = 54,8; DE= 23,3; mín= 20, máx= 91), siendo similar para ambas cuencas y disminuyendo en función directa de la altura.

Discusión

Los índices IHF, QBR-And y HII se asociaron elevada y positivamente con un gradiente del estado de conservación de los ríos, pero también pudieron predecir la variación en los principales elementos del hábitat acuático, como son la composición de granulometrías (coberturas del sustrato y sombra), las variables del agua (sólidos disueltos totales, temperatura) o las biotas. Estos resultados son corroborados en ríos de piedemonte y montaña donde un mayor estado de conservación se expresa usualmente por un hábitat heterogéneo con granulometrías gruesas, una mayor cobertura de sombra por la vegetación ribereña, así como una menor temperatura y pocos sólidos disueltos en las aguas, lo cual se expresa en la presencia de biotas diver-

sificadas y complejas, esto es, con una integridad elevada (Rodríguez-Olarte *et al.*, 2007; Barrios y Rodríguez-Olarte, 2013).

El uso conjunto de estos índices, principalmente IHF y QBR-And, se considera efectivo pues su capacidad de predicción es usualmente elevada, principalmente en condiciones de cuencas medias, como los piedemontes. En las planicies y/o en condiciones de montaña las características de los ríos cambian notablemente (e.i. sustratos homogéneos, gradiente en la riqueza de especies), por lo que estos índices deben ser adaptados a la hidrogeomorfología local y la biogeografía regional. Por otro lado, los índices ambientales que reúnen medidas en diferentes escalas espaciales (e.i. hábitat, zona de ribera, área de drenaje) reúnen información variada que puede ser empleada con diversos objetivos de manejo (Fernández *et al.*, 2011); además, la condición predictiva de los índices ambientales los han convertido en herramientas legales para el manejo de los recursos hidrobiológicos, ya sea a nivel de cuencas específicas, países o en la escala continental (Barbour *et al.*, 1999; DOCE, 2000). Sin embargo, los métodos para detectar o estimar el estado de conservación en los ecosistemas fluviales no son los mismos para explorar sus propiedades y variaciones en los atributos del hábitat o comunidades biológicas. Puesto que el objetivo de la valoración del estado de conservación del ecosistema fluvial es medir determinadas variables indicadoras y aplicar los resultados en programas de monitoreo de los recursos hidrobiológicos es recomendable emplear índices que cumplan con por lo menos (1) la sencillez y flexibilidad en su construcción y adaptación, (2) la rapidez en su manejo y puntuación y (3) la economía en su aplicación y divulgación.

En la costa oriental del Lago de Maracaibo se reconocen de norte a sur los ríos Aurare, Mene, Tamare, Pueblo Viejo,

Machango y Misoa, además de otros pequeños tributarios. Antes de desembocar al lago estos ríos atraviesan una planicie donde existe una extensa explotación petrolera y se desarrolla una conurbación cercana al millón de habitantes. Las observaciones de campo indican que 1) todos estos ríos han sido canalizados y/o desviados en algún sector de la planicie, 2) varios ríos son de carácter intermitente y las lagunas costeras asociadas han sido depauperadas, 3) dos ríos son represados (Pueblo Viejo, Machango) y 4) existe una notable deforestación acompañada de incendios de vegetación que se asocian con la poca cobertura vegetal y pérdida de bosques ribereños. Los ríos en las cuencas medias también se encuentran bajo una extensa intervención humana, salvo aguas arriba del embalse de Pueblo Viejo –donde aún persisten densas masas boscosas gracias a su condición de zona protectora– y las cabeceras de Machango y Misoa.

A 100 años del inicio de la explotación petrolera en la costa oriental del Lago de Maracaibo la conservación de los ecosistemas fluviales demuestra malos pronósticos. Es previsible que el estado de conservación promedio registrado en los ríos Machango y Misoa sea superior al de cuencas adyacentes; sin embargo el río Machango está represado y el río Misoa (con planes de represamiento pospuestos) se ha fragmentado en algunos tramos durante los períodos de sequía en los últimos dos años. No existe ninguna figura de protección especial (parque nacional, monumento natural, etc.) que garantice la conservación estricta de las cuencas hidrográficas, sus aguas o sus biotas y no se evidencia la ejecución de programas de manejo de los recursos hidrobiológicos locales.

Dado el estado de conservación promedio en los ríos Machango y Misoa se requieren de programas urgentes de manejo en la cuenca media y alta que contemplen inicialmente el manejo de la vegetación (con-

TABLA III
CORRELACIÓN (SPEARMAN, rs) ENTRE
LAS VARIABLES DEL HÁBITAT ACUÁTICO
Y LOS ÍNDICES IHF, QBR-And Y HII

Variables	Correlaciones (rs)		
	IHF	QBR-And	HII
Coberturas (%)			
Arena	-0,88**	-0,75**	-0,79**
Cantos rodados	-	-	0,50*
Piedras	0,76**	0,57**	0,66**
Rocas	0,65**	0,55*	0,57*
Sombra	0,50*	0,50*	-
Aguas			
Temperatura (°C)	-0,60*	-0,60*	-0,50*
SDT (mg/l)	-	-0,50*	-
IHF	-	-	-
QBR-And	0,91**	-	-
HII	0,94**	0,87 **	-

Se muestran las correlaciones con rs > 0,50 (* P < 0,05; ** P < 0,01).

servación, siembra, restauración) en zonas de ribera para garantizar una elevada cobertura vegetal y con ello amortiguar el ingreso de sedimentos a los cauces, además de propiciar la diversificación de hábitat acuático por la incorporación de material alóctono y la conservación de la estructura tridimensional y heterogénea del sustrato. También se estima necesario crear tramos y áreas específicas para la conservación, donde exista una mínima intervención humana, así como programas de educación ambiental dirigidos a los usuarios locales para propiciar la autogestión de los ríos.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es el resultado parcial de los proyectos 041-AG-2009 y 574-FAG-2012 (CDCHT-UCLA) y 201100582 (PEI-FONACIT) auspiciados por el Museo de Ciencias Naturales UCLA (Colección Regional de Peces).

REFERENCIAS

Acosta R, Ríos B, Rieradevall M, 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. *Limnetica* 28: 35-64.

Allan JD (2004) Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 35: 257-284.

Barbour MT, Gerritsen J, Snyder BD, Stribling JB (1999) *Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish*. 2ª ed. EPA/841-B-99-002. Office of Water, U.S.EPA. Washington DC, EEUU. 197 pp.

Barletta M, Jaureguizar AJ, Baigun C, Fontoura NF, Agostinho AA, Almeida-Val, VMF, Val, AL, Torres RA, Jimenes-Segura LF, Giarrizzo T, Fabrè NN, Batista VS, Lasso C, Taphorn DC, Costa MF, Chaves PT, Vieira JP, Corrêa MFM (2010) Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *J. Fish Biol.* 76: 2118-2176.

Barrios M, 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* 35: 151-160.

DOCE (2000) *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de Octubre de 2000 por la que se Establece un Marco Comunitario de*

Actuación en el Ámbito de la Política de Aguas. DOCE. L 327 de 22.12.00. 69 pp.

Dudgeon D, Arthington AH, Gessner MO, Kawabata Z, Knowler D, Lévêque C, Naiman RJ, Prieur-Richard AH, Soto D, Stiassny MLJ, Sullivan CA (2006) Freshwater biodiversity: importance, status, and conservation challenges. *Biol. Rev.* 81: 163-182.

Fernández D, Barquín J, Raven PJ (2011) A review of river habitat characterisation methods: indices vs. characterisation protocols. *Limnetica* 30: 217-234.

Jacobsen D, Encalada A (1998) The macroinvertebrate fauna of Ecuadorian highland streams in the wet and dry season. *Arch. Hydrobiol.* 142: 53-70.

Mccune B, Mefford, MJ (2011) *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data*. Version 6. MjM Software. Glenden Beach, OR, EEUU. 28 pp.

Medina E, Barboza F (2006) Lagunas costeras del Lago de Maracaibo: Distribución, estatus y perspectivas de conservación. *Ecotrópicos* 19: 128-139.

Naiman RJ, Décamps, H, Mcclain ME (2005) *Riparia: Ecology, Conservation and Management of Streamside Communities*. Academic Press, San Diego, CA, EEUU. 448 pp.

Nessimian JL, Venticinque EM, Zuanon J, De Marco PJr, Gordo M, Fidelis L, Batista JD, Juen L

(2008) Land use, habitat integrity, and aquatic insect assemblages in Central Amazonian streams. *Hydrobiologia* 614: 117-131.

Pardo I, Álvarez, M, Casas J, Moreno JL, Vivas S, Bonada N, Alba-Tercedor J, Jaimez-Cuellas P, Moya G, Prat N, Robles S, Suarez ML, Toro M, Vidal-Abarca MR (2002). El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat. *Limnetica* 21: 115-132.

Rodríguez-Olarte D, Coronel JL, Amaro A, Taphorn DC (2007) Línea base para la estimación de la integridad en comunidades de peces en la cuenca del río Tocuyo, vertiente del Caribe, Venezuela. *Mem. Fund La Salle Cien. Nat.* 165: 63-81.

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. En Rodríguez JP, Rojas-Suarez F, Giraldo D (Eds.) *Libro Rojo de los Ecosistemas de Venezuela*. Provita. Caracas, Venezuela. pp. 250-256.

Tockner K, Stanford JA (2002) Riverine flood plains: present state and future trends. *Environ. Conserv.* 29: 308-330.

Vannote RL, Minshall GW, Cummins KW, Sedell JR, Cushing CE (1980) The river continuum concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 130-137.

INTERCIENCIA

REVISTA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE AMÉRICA

SUSCRIPCIONES EN VENEZUELA 2016

INDIVIDUAL Bs. 1.800
INSTITUCIONAL Bs. 2.000

e-mail: interciencia@gmail.com subs@revistainterciencia.org
www.interciencia.org