



Quebrada Las Verdes, Camino Andakí (Huila-Caquetá). Foto: Astrid Acosta



Los peces del Camino Andakí en la transición andino-amazónica. Río Pescado (cuenca del río Caquetá).

Juan David Bogotá-Gregory*, Astrid Acosta-Santos¹ y Edwin Agudelo-Córdoba²

Resumen

Se presentan los resultados de la Expedición Colombia Bio-Camino Andakí realizada en enero de 2017 en el río Pescado, cuenca alta del río Caquetá en la Amazonia colombiana. Las colectas de peces se realizaron en 12 sitios entre 400 y 1500 msnm, mediante el empleo de un equipo de electropesca. Se registran 39 especies distribuidas en 26 géneros, 11 familias y 3 órdenes taxonómicos.

De las especies reportadas, *Ancistrus lineolatus*, *Chaetostoma vagum*, *Spatuloricaria eucanthgenys* y *Pimelodella conquetaensis* son endémicas de la cuenca alta del río Caquetá. Entre ellas se reporta un género no descrito perteneciente a la familia Heptapteridae y dos especies aún no descritas pertenecientes a los géneros *Creagrutus* y *Astroblepus*. Se revisó la estructura de la comunidad de peces a lo largo del gradiente longitudinal a partir de análisis multivariados, sugiriendo una agrupación de acuerdo con la elevación; 1) las comunidades abajo de 500 msnm; 2) las comunidades entre 500 y 1000 msnm; y 3) las comunidades por encima de 1000 msnm. Las diferencias corresponden a cambios en la estructura de las comunidades (incluyendo cambios en el porcentaje de especies dominantes) y a una correlación negativa entre la altitud y la riqueza de especies. Estos cambios muy probablemente están relacionados con cambios en el paisaje relacionados con el gradiente altitudinal. Esta información es útil y complementa la información de la línea base para

la elaboración de planes de manejo y conservación de los peces, los cuales constituyen un importante componente biológico y de servicios ecosistémicos de la región.

Palabras clave: Alta Amazonia, gradiente altitudinal, estructura de comunidades, peces amazónicos

Abstract

The article presents the results of the Colombia-Bio Expedition-Andakí Trail, carried out in January 2017, in the Pescado river, upper basin of the Caquetá river in the Colombian Amazon. Fish collections were made in 12 sites between 400 and 1,500 meters above sea level, using an electrofishing equipment. 39 species, distributed over 26 genera, 11 families and 3 taxonomic orders were recorded. Of the reported species, *Ancistrus lineolatus*, *Chaetostoma vagum*, *Spatuloricaria eucanthgenys* and *Pimelodella conquetaensis* are endemic to the upper Caquetá River basin. Among them there is an undescribed genus belonging to the Heptapteridae family and two species not yet described, belonging to the genera *Creagrutus* and *Astroblepus*.

The structure of the fish community was revised along the longitudinal gradient from multivariate analyses, suggesting a grouping according to the elevation; 1) communities below 500 meters above sea level; (2) communities between 500 and 1,000 meters above sea level; and 3) communities above

* Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Grupo de Ecosistemas Acuáticos, Avenida Vásquez Cobo entre calles 15 y 16, Leticia, Colombia, +5785925481 juandbogota@gmail.com

¹ Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Grupo de Ecosistemas Acuáticos, astridacostasantos@gmail.com

² Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Grupo de Ecosistemas Acuáticos, eagudelo@sinchi.org.co

1,000 meters above sea level. The differences correspond to changes in the structure of the communities (including changes in the percentage of dominant species,) and to a negative correlation between altitude and species richness. These variations are most likely associated with changes in the landscape related to altitude gradient. Fish are an important biological and ecosystem service

component of the region, and this information is useful and complements baseline information for the development of fish management and conservation plans.

Keywords. Upper Amazon, altitude gradient, community structure, Amazonian fish

INTRODUCCIÓN

Los estudios de peces en la zona de transición andino-amazónica en Colombia, se remontan hacia mediados del siglo pasado con los trabajos realizados por Fowler (1943, 1945). No obstante, es escasa la información disponible en cuanto a listados de especies de la región, específicamente en el departamento del Caquetá (correspondiente al sector alto de la cuenca del río Caquetá). Entre los estudios más recientes se destaca el trabajo de Galvis y colaboradores (2007), en donde se reportaron 19 especies de peces en el municipio de Belén de los Andaquíes, y el trabajo de Escobar y colaboradores (2018) en donde se reportan 23 especies en una quebrada en el municipio de Florencia. La Universidad de la Amazonia como parte de los programas de pregrado y el Instituto SINCHI, han realizado diferentes tipos de estudios ictiológicos en la región. En cuanto los trabajos realizados estudiantes de la Universidad de la Amazonia, se encuentra el estudio de Vargas y colaboradores, quienes documentaron la diversidad de la familia Loricariidae en el municipio de Florencia (2013). Celis-Granada (2011) realiza un análisis de la estructura de la comunidad de peces en un arroyo en el municipio de Florencia. En resumen, los trabajos de investigación en ictiología se han concentrado cerca de la zona del piedemonte amazónico, que corresponde a la zona de transición entre la cordillera y las planicies, con límite inferior alrededor entre 280 y 285 m y límite superior entre los 310 y 320 m (Herrera 1999, Rudas 2009). En Colombia, estos sistemas de transición entre los Andes y las planicies han sido mejor documentados a lo largo del gradiente fluvial, en otras cuencas como aquellas que drenan los ríos Magdalena (ej. Jaramillo-Villa *et al.* 2008, 2010, Montoya-Ospina *et al.* 2018) y Orinoco (ej. Urbano-Bonilla *et al.* 2009). No obstante, en la Amazonia colombiana solo se cuenta con el estudio, no publicado, de Tobes Sesma (1985) en donde se hace un análisis en un gradiente fluvial del río Hacha. En Ecuador destacan los trabajos de Rivadeneira *et al.* (2010) y en Perú los de Lujan *et al.* (2013), Araujo Flores (2016) y Valenzuela Mendoza (2018).

A la fecha es poco lo que se conoce de las especies que habitan estos sistemas acuáticos de la parte alta de la Amazonia y de sus patrones de distribución a lo largo de los gradientes longitudinales, demarcados por la transición que incluye las zonas

de cordillera, de piedemonte, serranías y planicies de acuerdo a la zonificación sugerida por Herrera (1999) y Rudas (2009).

El presente estudio tiene como objetivo documentar la diversidad íctica de los sistemas del río Pescado, ubicados en la cuenca alta del río Caquetá y evaluar los patrones de distribución a lo largo del gradiente longitudinal demarcado por la zona de transición andino-amazónica. En general, los patrones de diversidad biológica a lo largo de un gradiente altitudinal han sido bien documentados (Lomolino 2001). Estos patrones de diversidad son producto de fenómenos como la disminución de la riqueza de especies a medida que se asciende en un gradiente altitudinal y el recambio de especies a lo largo de mismo, que puede estar determinado por barreras ecológicas que impiden la dispersión de los individuos por condiciones topográficas o ambientales (Kohlmann and Wilkinson 2003, Torrente-Vilara *et al.* 2011, Fitzgerald *et al.* 2018, Pérez-Malvárez *et al.* 2018). Incluso, para algunos taxones existen congéneres con rangos altitudinales de distribución que son mutuamente excluyentes (Futuyma 2005). En general se sugiere que el gradiente climático actúa como un filtro ambiental (Mouchet *et al.* 2013). Sin embargo, la baja variación de la temperatura debido al alto calor específico y su relación con el oxígeno disuelto (OD), que implica aumento de la concentración del OD a menor temperatura, genera gradientes altitudinales menos marcados en el grupo de los peces comparados a los de otros grupos terrestres. El gradiente climático restringe la dispersión en las regiones montañosas tropicales y en general, este es el patrón que se ha registrado hasta el momento para el grupo de los peces del Neotrópico (Mouchet *et al.* 2013). No obstante, es poco lo que se conoce sobre la diversidad que originan los gradientes altitudinales en los peces de agua dulce del Neotrópico (e.g. Lujan *et al.* 2013, De La Barra *et al.* 2016).

En territorio colombiano los análisis de variación altitudinal de las comunidades de peces se han limitado a la cuenca del río Magdalena (Alvarez-León and Ortiz-Muñoz 2004, Jaramillo-Villa *et al.* 2010). Mientras que para los peces de la Amazonia colombiana ha sido poco trabajada. No obstante, en otros países se han documentado cambios en la estructura de la comunidad de peces a lo largo de un cauce fluvial con cambios altitudinales en la zona andino-amazónica (Rivadeneira *et al.* 2010, Lujan

et al. 2013, Araujo Flores 2016, Tobes Sesma 2016, Valenzuela Mendoza 2018).

La información de línea base del componente ictiológico y de sus patrones de distribución, no solo es importante para documentar esta gran biodiversidad, también es útil para la elaboración de planes de manejo y conservación de los recursos pesqueros. Esto es de gran valor a la luz de la presión bajo la cual se encuentran estos recursos por la sobre pesca en los sistemas de tierras bajas (Agudelo *et al.* 2012) y degradación de los ambientes acuáticos por diferentes causas, como la deforestación en la zona de piedemonte para ganadería (Clerici *et al.* 2020) y el cambio climático (Castello *et al.* 2013).

El presente estudio hace parte de los resultados generados en el marco del proyecto Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento de Caquetá. Un escenario de paz en el postconflicto, iniciativa liderada por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación-COLCIENCIAS, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación, en colaboración con el Instituto SINCHI. Este proyecto buscó ampliar el conocimiento sobre biodiversidad en regiones de Colombia de difícil acceso, a partir de exploraciones realizadas por la comunidad científica en conjunto con conocedores y sabedores locales, para incrementar el inventario taxonómico nacional y fortalecer las colecciones biológicas.

MÉTODOS

Área de estudio

El río Caquetá es un sistema de origen andino que nace en el flanco oriental de los Andes colombianos en el departamento que lleva su mismo nombre. Los sistemas de origen andino se caracterizan por altos contenidos de material en suspensión, que le dan el color característico a los sistemas de aguas blancas (Sioli 1975). Sin embargo, algunas zonas de la cuenca alta del río Caquetá drenan afloramientos occidentales del escudo guayanés, de formación de origen precámbrico que conforma la base del continente suramericano junto al escudo de Brasil (Galvis *et al.* 2007). Específicamente, la zona de estudio corresponde al Macizo de Garzón de edad precámbrica (Murcia 2002).

Los suelos de esas formaciones son bastante evolucionados y contienen bajas concentraciones de nutrientes (Galvis *et al.* 2007, Hoorn & Wesselingh 2010) y por tanto, la cuenca alta del río Caquetá representa un sistema particular ya que nace en los Andes pero presenta conductividades relativamente bajas con respecto a otros sistemas de esta misma cordillera (Ricaurte & Nuñez-Avellaneda 2015). Por el tipo de mineralización las aguas adquieren un color transparente en el piedemonte, como lo mencionan Duque *et al.* (1997) y Nuñez-Avellaneda & Duque (2001).

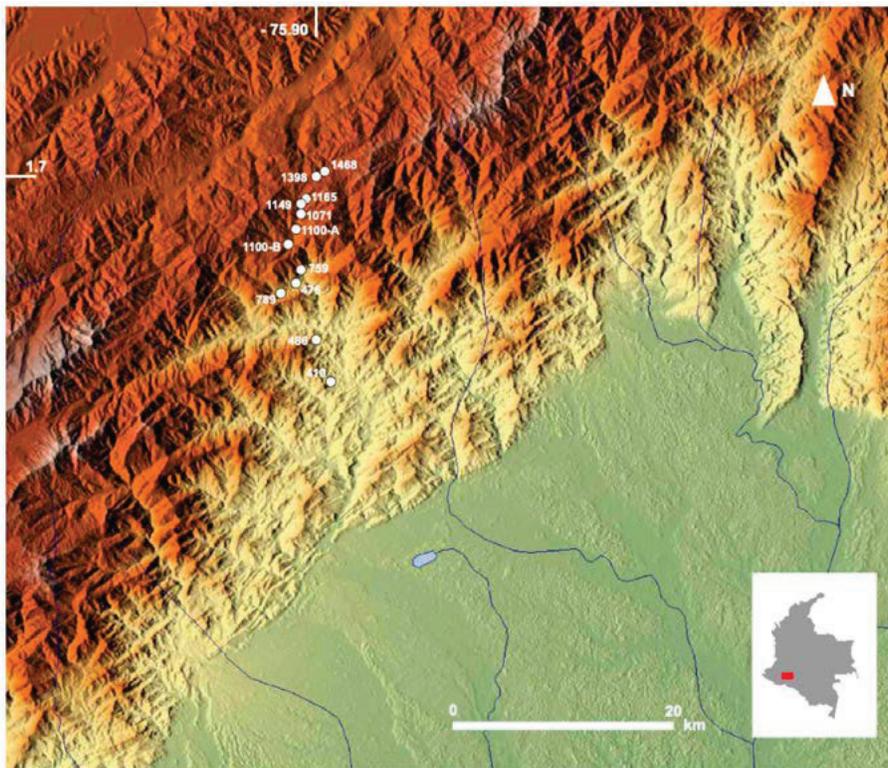


Figura 1. Área de estudio en el Camino Andakí, departamento de Caquetá, Colombia. En círculos = los sitios de muestreo en descenso de arriba abajo a lo largo del gradiente altitudinal. Mapa base y modelo de elevación digital basado en Shuttle Radar Topography Misison-NASA.

Los muestreos se realizaron a lo largo del en un sector Camino Andakí, que comunica a los municipios de Belén de los Andaquíes (Caquetá) y Acevedo (Huila), atravesando el Parque Natural Municipal Andakí, y tiene una extensión de 26.754 hectáreas. Los sitios de muestreo en la zona de estudio (Figura 1), se caracterizan por presentar aguas transparentes de corrientes fuertes marcadas por la pendiente, con sustrato conformado por cantos rodados y arena (Anexo 1). Los sistemas se pueden clasificar en dos categorías principales; 1) Quebradas andinas por encima de los 500 msnm y 2) Abanicos aluviales estructurados por material, producto de la erosión producida por el levantamiento montañoso de los Andes (Galvis *et al.* 2007).

Fase de campo

Las colectas de peces se realizaron en enero de 2017 abarcando 12 sitios a lo largo de la cuenca del río Pescado, ubicados en un gradiente entre los 400 y 1500 msnm (Figura 1, Tabla 1). Las técnicas de muestreo siguieron la metodología propuesta por Maldonado-Ocampo y colaboradores (2005), que sugiere la implementación de un equipo de electropesca para las colectas en los ambientes típicos andinos a lo largo de un transecto definido; en nuestro caso 100 m en cada sitio de muestreo. Los individuos capturados fueron fijados en una solución de formol al 10% de concentración, rotulados, embalados y transportados a las instalaciones del Instituto SINCHI en la ciudad de Leticia en donde se realizó la fase de laboratorio que se describe a continuación.

Fase de laboratorio

Las identificaciones se hicieron hasta el nivel taxonómico más preciso posible con el empleo de trabajos en taxonomía y sistemática actualizadas en literatura para peces amazónicos; ver van der Sleen and Albert (2018) como revisión reciente. Para la

confirmación de las identificaciones se contó con la ayuda de los especialistas Flavio T. Lima en el caso de los Characiformes y Perciformes, y Carlos DoNascimento para los Siluriformes. Una vez identificados, se procedió al depósito de los ejemplares en la Colección Ictiológica de la Amazonia Colombiana-CIACOL. Este proceso de depósito en la CIACOL incluye preservación en una solución de etanol al 75% de concentración y catalogación de acuerdo con los estándares determinados por la administración de las colecciones del Instituto.

Métricas y análisis del patrón de diversidad

Con el ánimo de determinar la representatividad del muestreo e identificar valores extrapolados de las especies esperadas, se calcularon curvas de rarefacción (basadas en tamaño de muestra) y estimadores de riqueza Chao por sitio de muestreo (Villareal *et al.* 2004). Para evaluar la diversidad en sus diferentes componentes y escalas, se emplearon los índices de Simpson, Shannon, Pielou, Jost, los cuales reúnen la información en un valor único que permite hacer comparaciones (Villareal *et al.* 2004).

Se realizaron regresiones lineales simples con el fin de identificar la función del número de especies con el número de individuos colectados y con el gradiente altitudinal. Para cada caso se evaluaron los parámetros de la regresión en donde se considera que los estimativos de las regresiones son significativos cuando p -value < 0.05. Para cada uno de los casos se realizó una transformación logarítmica en base diez de las variables con el fin de afinar la correlación lineal entre las mismas.

Para verificar la existencia de patrones de distribución de las comunidades de acuerdo con su ubicación en el gradiente altitudinal, la matriz de abundancias se sometió a un análisis de similaridad para estructurar una matriz de temperatura que

Tabla 1. Código, localidades, coordenadas y altitud de los sitios de colecta en el Camino Andakí. Los códigos fueron asignados de acuerdo con la altitud (msnm).

Código	Localidad	Coordenadas	Altitud
410	Río Pescado, vereda Los Ángeles	1.6309639N -75.9031194W	410
476	Río Pescado, aguas arriba de la desembocadura de la quebrada Las Verdes, vereda Las Verdes	1.5426N -75.8663194W	476
486	Quebrada Las Verdes, aguas arriba de la bocana en el río Pescado, vereda Las Verdes	1.6311722N -75.9036556W	486
759	Quebrada Las Verdes aguas abajo del campamento La Mina	1.7011389N -75.8987222W	759
789	Quebrada Las Verdes aguas arriba del campamento La Mina	1.6700556N -75.9014722W	789
1071	Quebrada NN, detrás del campamento La Profunda	1.6297222N -75.9066111W	1071
1100-A	Quebrada la Paramillo, aguas abajo de la quebrada la Mazamorra, campamento La Profunda	1.6738056N -75.9020278W	1100
1100-B	Quebrada Paso Medio, campamento La Profunda	1.6743889N -75.9021389W	1100
1165	Quebrada la Paramillo, aguas arriba de la quebrada la Mazamorra, campamento La Profunda	1.6946667N -75.9069167W	1165
1149	Quebrada La Mazamorra, campamento La Profunda	1.6738056N -75.9020278W	1149
1398	Quebrada Finagá, campamento b2	1.7011389N -75.8987222W	1398
1468	Cabecera de la quebrada Paramillo, campamento b2	1.6700556N -75.9014722W	1468

agrupa los sitios de acuerdo con los patrones de diversidad. Para confirmar los patrones de acuerdo con el gradiente, la matriz de abundancias se sometió a un análisis multidimensional no paramétrico (NMDS) y dendrograma (clúster) basados en la distancia Bray-Curtis.

Los cálculos de las curvas de rarefacción, estimadores de riqueza y funciones lineales, así como la obtención de la riqueza de especies (número de especies), abundancias por especie (número de ejemplares) para cada sitio y ocurrencia de especies, se realizaron empleando funciones básicas del programa para análisis estadísticos R (R Core Team 2019). Los análisis multivariados (i.e. matriz de temperatura, NMDS y cluster) se realizaron con el empleo de funciones específicas incluidas en el paquete Vegan disponible para R.

RESULTADOS

Se colectaron en total 1631 individuos pertenecientes a 39 especies distribuidos en 26 géneros, 11 familias y tres órdenes taxonómicos (Tabla 2, Anexo 2). Los órdenes más abundantes fueron los Siluriformes y los Characiformes con el 74.2% y el 25.8% del total de los individuos, respectivamente. Los datos de abundancia indican que tan solo cinco especies agruparon el 80% de los individuos, siendo la más abundantes *Chaetostoma platyrhynchus* (41%), seguida por *Astroblepus* sp1 (22%), *A. caquetae* (6.6%), *Scopaeocharax atopodus* (6.3%) y *Othonocheirodus* sp. (4.4%). Mientras que se observó un alto porcentaje de especies representadas por un solo individuo (Figura 2).

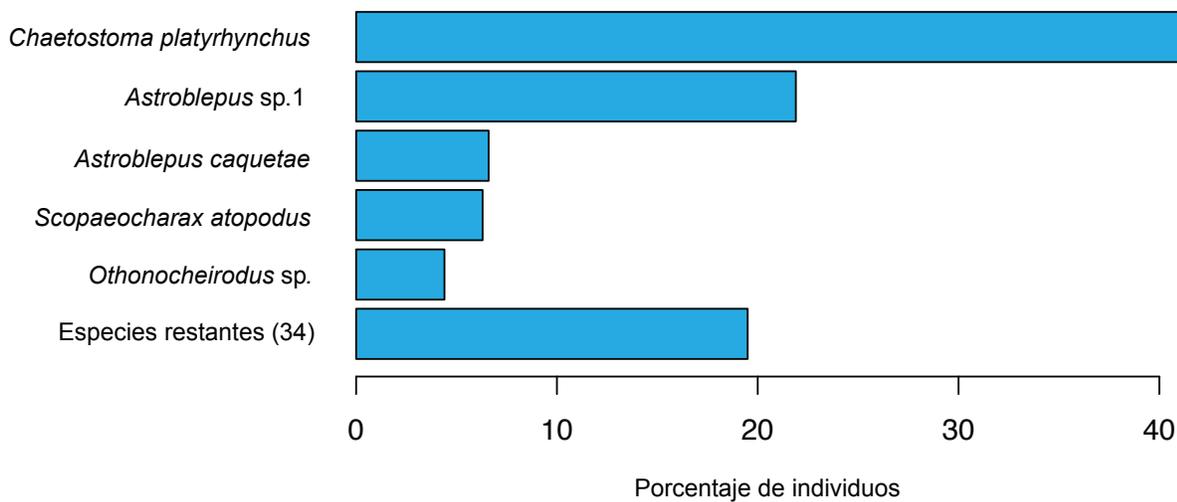


Figura 2. Porcentaje de individuos por especie.

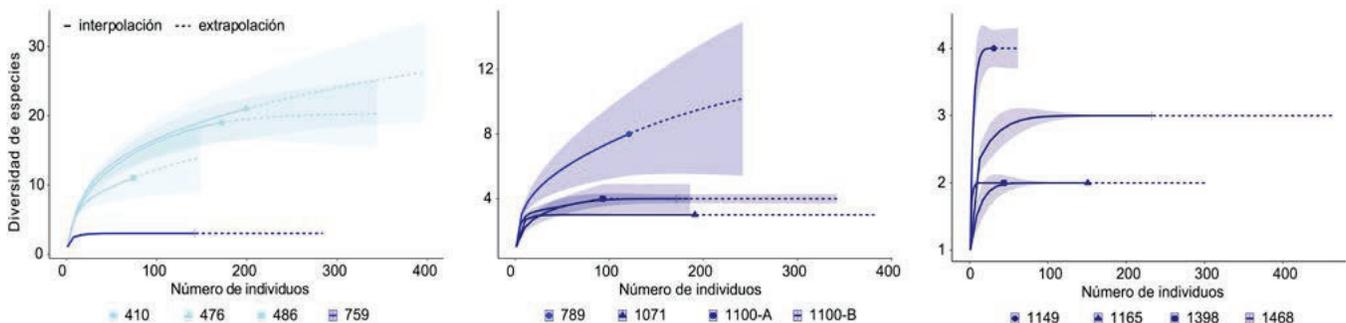


Figura 3. Curvas de rarefacción basadas en tamaño de la muestra para cada sitio de colecta de peces en el Camino Andakí.

Tabla 2. Listado taxonómico de las especies identificadas en el Camino Andakí, departamento de Caquetá, Colombia.

TAXÓN	Endémica	Número de catálogo	Altitud (m.s.n.m)										Total general				
			396	410	476	486	759	789	1071	1100a	1100b	1149		1165	1398	1468	
Characiformes																	
Crenuchidae																	
<i>Characidium steindachneri</i> Cope 1878		2685	1														1
<i>Characidium zebra</i> Eigenmann 1909		2683			3												3
<i>Characidium</i> sp.1.		2686, 2687, 2688, 2689, 2771, 2772	2	11	22												35
<i>Characidium</i> sp.2		2681, 2682, 2684				11	14			1							26
Parodontidae																	
<i>Parodon buckleyi</i> Boulenger 1887		2680, 2721	1	2													3
Anostomidae																	
<i>Leporellus</i> sp.		2722		1													1
Lebiasinidae																	
<i>Lebiasina elongata</i> (Boulenger 1887)		2720		1													1
Characidae																	
<i>Astyanax maximus</i> (Steindachner 1876)		2690, 2691, 2692, 2693, 2703	1	2	5	1	1										10
<i>Bryconacidus hypopterus</i> (Fowler 1943)		2707, 2711, 2775		8	1		1										10
<i>Bryconamericus beta</i> Eigenmann 1914		2708		3													3
<i>Bryconamericus deuteronooides</i> Eigenmann 1914		2717		2													2
<i>Creagrutus amoenus</i> Fowler 1943		2696, 2697, 2699, 2700, 3502	22	1	5	5											33
<i>Creagrutus flavescens</i> Vari & Harold 2001		2689				10											10
<i>Creagrutus</i> sp.*		2773			8												8
<i>Hemibrycon jelskii</i> (Steindachner 1876)		2705	5														5
<i>Hemibrycon</i> sp.		2704, 2706, 2770, 2836, 2838	9	13	11												33
<i>Jupiaba</i> sp.		2694					2										2
<i>Knodus</i> sp.		2713			19												19
<i>Knodus beta</i> (Eigenmann 1914)		2710, 2714	15	3													18
<i>Knodus cismontanus</i> Eigenmann 1914		2709, 2712, 2818		1	8	14											23
<i>Moenkhausia oligolepis</i> (Günther 1864)		2695		1													1
<i>Othonocheirodus</i> sp.		2701, 2702, 2716	3	68													71
<i>Scopaeocharax atopodus</i> (Böhlke 1958)		2715, 2718, 2719, 2774	70	26	6												102

El orden y la familia con el mayor número de especies y morfoespecies fueron Characiformes y Characidae, respectivamente (Tabla 3). Las tres familias, con mayor representatividad específica, Loricariidae, Astroblepidae y Characidae, aportaron el 62% de las especies identificadas (Tabla 3).

De las especies registradas, dos corresponden a especies endémicas de la Amazonia (*Astroblepus caquetae* y *Ancistrus lineolatus*) y tres corresponden a especies endémicas de la cuenca alta del río Caquetá (*Pimelodella conquetaensis*, *Chaetostoma vagum* y *Spatuloricaria euacanthagenys*). No se registraron

Tabla 3. Representatividad específica para los órdenes taxonómicos identificados en Camino Andakí, departamento del Caquetá, Colombia.

Taxón	Especies	Porcentaje de especies	Individuos	Porcentaje de individuos
Orden Characiformes	23	59,1	420	25,8
Familia Crenuchidae	4	10,3	65	4,0
Familia Parodontidae	1	2,6	3	0,2
Familia Anostomidae	1	2,6	1	0,1
Familia Lebisinidae	1	2,6	1	0,1
Familia Characidae	16	41,0	350	21,4
Orden Siluriformes	15	38,5	1210	74,2
Familia Trichomycteridae	2	5,1	12	0,7
Familia Astroblepidae	3	7,7	484	29,7
Familia Loricariidae	1	2,6	706	43,3
Familia Aspredinidae	6	15,4	1	0,1
Familia Heptapteridae	3	7,7	7	0,4
Orden Perciformes	1	2,6	1	0,1
Familia Cichlidae	1	2,6	1	0,1
Total	39	100,2	1631	100,1

especies amenazadas o introducidas. Adicionalmente, se identificaron dos especies aún no descritas pertenecientes a los géneros *Creagrutus* (Characiformes: Characidae) y *Astroblepus* (Siluriformes: Astroblepidae), así como un género no descrito perteneciente a la familia Heptapteridae.

Los resultados de los estimativos de Chao indicaron una mejor representatividad en los sitios menos diversos (Tabla 4). Por el contrario, los estimativos mostraron menor representatividad para las comunidades con mayor diversidad. No obstante, estos estimativos sugieren que los análisis realizados representan un alto porcentaje de las especies esperadas para cada uno de los sitios de muestreo. Por otra parte, los cálculos hechos para estimar la representatividad de las colectas con base en el tamaño

de la muestra indicaron que para todos los sitios se alcanzó una asíntota, demostrando una buena representatividad de muestreo (Figura 3).

El número de especies rarificado fue consistente con la riqueza total obtenida, en donde los sitios con el mayor número de especies corresponden a los ubicados por debajo de los 500 msnm (Tabla 2, 4). Por el contrario, las que presentaron menor número de especies estuvieron ubicadas por encima de los 1000 msnm. A diferencia de los valores de riqueza, no se evidenció un patrón en cuanto a la abundancia total de individuos para cada sitio (Figura 4a), no existiendo correlación entre el número de individuos y el número de especies (Figura 4b, $R^2 = -0.03$; p -value: 0.44). Los diagramas de distribución de abundancia

Tabla 4. Componentes diversidad (i.e. riqueza y abundancia) y resultados estimativos Chao1 para cada sitio de colecta de peces en el Camino Andakí.

	410	476	759	486	789	1071	1100-A	1100-B	1149	1165	1398	1468
Riqueza	19	21	3	11	8	3	4	4	4	2	2	3
Abundancia	172	199	142	74	121	191	93	171	31	151	44	233
Especies estimadas (Chao)	19,85	28	3	17	9,5	3	4	4	4	2	2	3
Porcentaje estimativo (Chao)	95,7	75,0	100,0	64,7	84,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

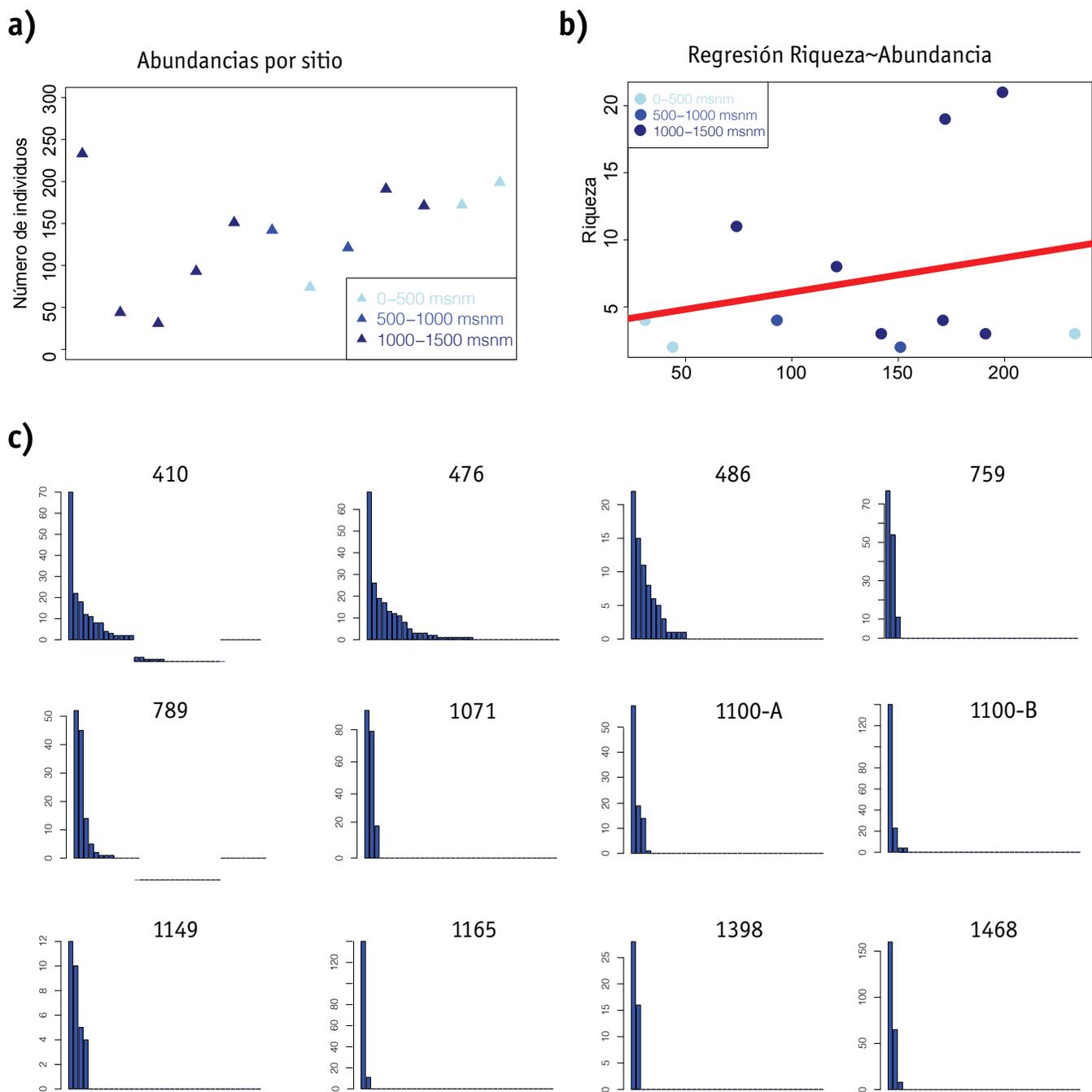


Figura 4. a) Abundancias, b) diagrama regresión de riqueza y abundancia ($R^2 = -0.03$; p -value: 0.44) y c) Rangos de abundancia para cada sitio de colecta de peces en el Camino Andakí.

de las especies revelaron un patrón a lo largo del gradiente altitudinal (Figura 4c), con menos especies dominantes y más especies raras a medida que se desciende en el gradiente.

Los resultados de los cálculos de los índices de diversidad (Figura 5), mostraron que existe una mayor diversidad en los sitios ubicados por debajo de los 500 msnm. No obstante, no

existe una diferenciación clara en los índices calculados entre las comunidades por encima de dicha altitud.

Los diagramas de los análisis de similaridad (i.e. matriz de temperatura, dendograma y NMDS), presentan una clara agrupación de las comunidades de acuerdo con el gradiente altitudinal (Figura 6). Simultáneamente, se puede observar en estos

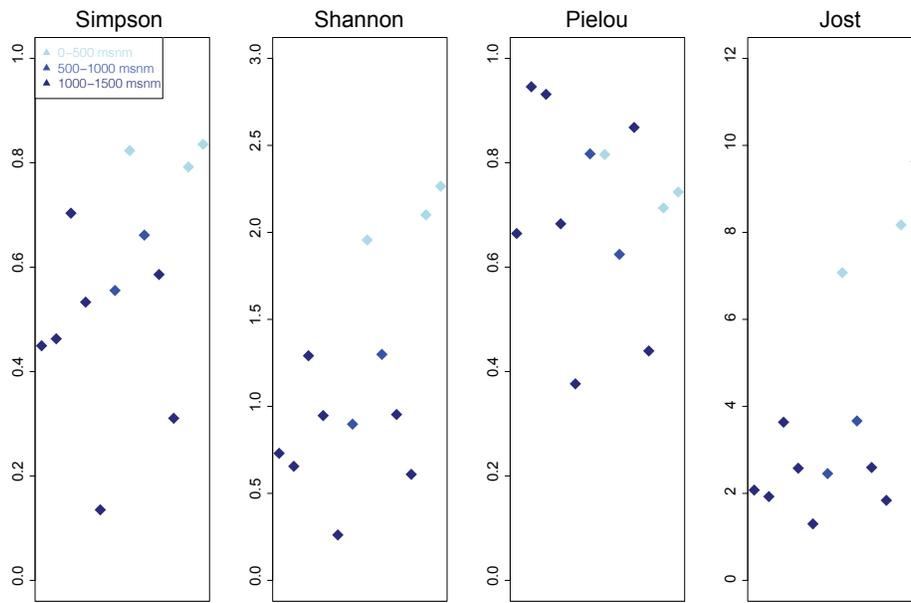


Figura 5. Diagrama de los resultados de los cálculos de los índices de diversidad para cada sitio de colecta de peces en el Camino Andakí.

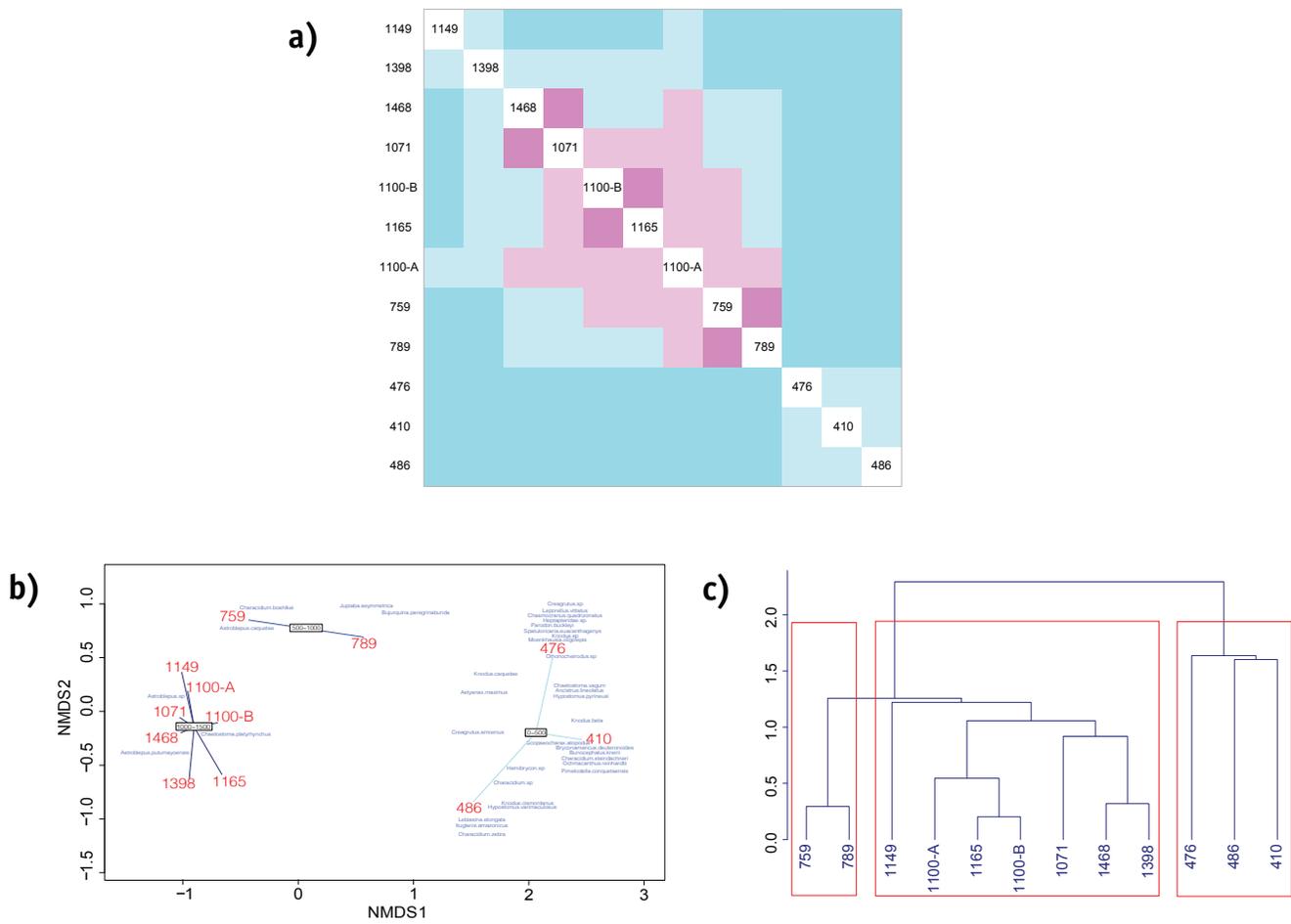


Figura 6. a) Matriz de temperatura basada en una matriz de disimilaridad, b) NMDS y c) dendrograma basados en similitud (Bray-Curtis) entre pares de datos.

diagramas que las comunidades más cercanas o con similaridad en la altitud, presentan estructuras similares. Por el contrario, las comunidades distantes son más disimiles.

Los cambios en la estructura de las comunidades en la zona de estudio se deben a cambios en la composición de especies y aumento en la riqueza a medida que se desciende en el gradiente altitudinal, como lo corroboran los resultados del modelo de

regresión implementado en donde los estimativos de las regresiones son significativos ($R^2 = 0.7$; p -value: 0.0007; Figura 7). Como se mencionó anteriormente, estos cambios en diversidad no son resultado de la abundancia total de individuos para cada una de las comunidades muestreadas, ya que no se observaron ni se comprobaron diferencias en las abundancias asociadas al gradiente altitudinal.

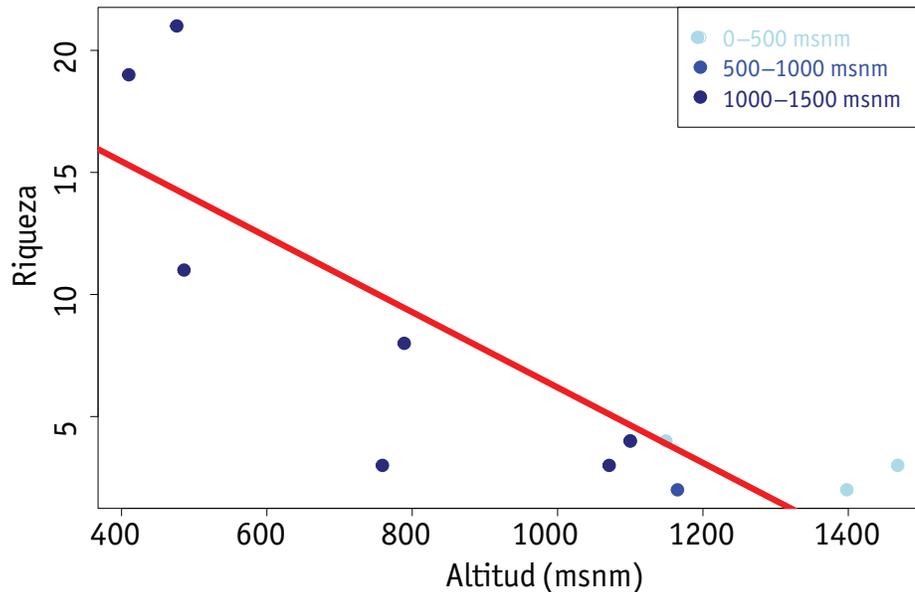


Figura 7. Diagrama del modelo lineal del número de especies y altitud de los sitios de muestreo en el Camino Andakí ($R^2 = 0.7$; p -value: 0.0007).

DISCUSIÓN

En lo que a taxonomía se refiere, las identificaciones siguen el patrón generalizado para las comunidades de peces en la región neotropical (Reis *et al.* 2003), siendo los órdenes más diversos Characiformes y Siluriformes. Se resalta la presencia de cinco especies endémicas, lo que representa el 13% de ejemplares identificados, confirmando resultados de estudios previos (e.g. Mojica 1999, Bogotá-Gregory & Maldonado-Ocampo 2006, Abell *et al.* 2008), en donde se mencionan que muchos de los endemismos presentes en la cuenca amazónica, corresponden a la cuenca alta del río Caquetá.

Se ha determinado que el tipo de suelo es un factor determinante en la estructura de las comunidades de peces, como fue evidenciado en la baja Amazonia por Arbeláez *et al.* (2008). El piedemonte es una región altamente sedimentada como consecuencia de la evolución paleográfica de la zona, que junto con otros factores le permitieron convertirse en una zona de refugio, denominada refugio de Florencia, lo cual en términos biológicos se ve reflejado en la alta biodiversidad presente en la cuenca (Corpoamazonia 2006). Es así como las características

geológicas de la cuenca alta del río Caquetá pueden ser un posible factor determinante en el alto grado de endemismos que caracteriza la región (Fowler 1943, 1945b, Reis *et al.* 2003, Bogotá-Gregory and Maldonado-Ocampo 2006) y que constituyen ensamblajes de alta complejidad tanto por su diversidad taxonómica como funcional, como lo determina Celis-Granada (2011) en un pequeño arroyo en la parte baja del piedemonte caqueteño.

Dentro de los resultados es evidente un patrón de riqueza en cuanto a la composición de las especies y los géneros, en donde las zonas más altas están dominadas por individuos pertenecientes a las familias Astroblepidae y Loricariidae. Estos sistemas de montaña con condiciones particulares de alto flujo por las pendientes marcadas y sustratos rocosos, se caracterizan por presentar una ictiofauna con las adaptaciones morfológicas apropiadas que les permite adherirse al sustrato (Maldonado-Ocampo *et al.* 2005). A medida que disminuye el gradiente altitudinal se observa un aumento en la diversidad. Resultados similares se han reportado en estudios realizados en la cuenca alta de la Amazonia en Ecuador y Perú (Rivadeneira *et al.* 2010, Lujan *et al.* 2013, Araujo Flores 2016, Valenzuela Mendoza 2018)

y en sistemas que drenan al río Magdalena (Jaramillo-Villa *et al.* 2010). En general en los sistemas típicos andinos la riqueza de especies no es mayor a cuatro especies y en los sistemas con menor altitud se registran hasta 19 especies. Por lo tanto, no solamente existe un recambio, sino que además hay un aumento considerable en los componentes de la diversidad (i.e. riqueza de especies y abundancia).

Los diagramas de distribución de los rangos de abundancias proporcionaron información para un análisis más completo, mostrando que existe un aumento en el número de especies a medida que se desciende en el gradiente, y en cierta medida, brindaron información acerca de la proporción de especies dominantes y especies raras. Siendo estas últimas las que contribuyen al incremento en la diversidad de las comunidades presentes en las tierras bajas, patrón generalizado para comunidades que presentan gran diversidad (Magurran *et al.* 2011).

CONCLUSIONES

Los ensamblajes de peces de la zona de transición andino-amazónica de la cuenca del río Pescado demostraron una clara variación en su estructura de acuerdo con el gradiente altitudinal, como ha sido corroborado previamente con otros estudios realizados en el Neotrópico. Los ensamblajes de alta montaña están representados por pocas especies que poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas apropiadas para soportar bajas temperaturas y alto flujo de corriente. A medida que se desciende en el gradiente, estas especies son remplazadas y, además, se incrementa la riqueza por la incorporación de otras especies que hacen parte de familias ampliamente representadas en las tierras bajas de la Amazonia.

La comparación cuantitativa de las comunidades de peces en el gradiente altitudinal de la zona proporcionó diferentes perspectivas de la relación entre las comunidades de peces y la altitud. De acuerdo con los índices de diversidad, las comunidades de peces presentaron una variación con el gradiente altitudinal analizado. No obstante, los índices de diversidad utilizados se limitan a informar la diversidad de las comunidades en relación a cifras de riqueza y abundancia relativa y no tienen en cuenta la composición de especies. Por lo tanto, tienen limitaciones en los casos que se quiera interpretar la diversidad de acuerdo con las afiliaciones taxonómicas (ej. familias y ordenes), por lo que los estudios futuros deberán incorporar índices que consideren afiliación taxonómica, una vez se resuelvan la taxonomía de grupos conflicto como Characidae y Loricariidae.

De acuerdo con los propósitos de las expediciones Colombia Bio, el presente trabajo constituye uno de los primeros estudios sistemáticos con el fin de mejorar la percepción de la ictiofauna dulceacuícola de la zona de transición Andino-Amazónica del Caquetá, dando a conocer las especies que fueron colectadas en 12 localidades de la cuenca del río Pescado, incluyendo también el número de catálogo de la colección biológica CIACOL

responsable de resguardar esa información. Esta información puede ser de gran ayuda a la hora de la elaboración e implementación de planes de manejo y conservación para regiones en buen estado de conservación, como el parque Andakí, que en un futuro próximo puede enfrentar un alto grado de amenaza por el desarrollo de actividades antropogénicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al programa Colombia-BIO de COLCIENCIAS por financiar el proyecto; a Gilma Virgüez, directora de la Fundación Tierra Viva; a los investigadores locales: Ferney Perilla Ríos, Luis E. Perilla Ríos, Diego Caicedo, Fabián Ramos, Liver Ramos Gómez, Jhon W. Calderón Tapiero, Efraín Mora Plazas y Ernesto Rojas; y a nuestro auxiliar de laboratorio John Jairo Potosí. A Carlos DoNascimento y Flavio Lima por su colaboración en las identificaciones taxonómicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abell, R., M. L. Thieme, C. Revenga, M. Bryer, M. Kottelat, N. Bogutskaya, B. Coad, N. Mandrak, S. C. Balderas, W. Bussing, M. L. J. Stiassny, P. Skelton, G. R. Allen, P. Unmack, A. Naseka, R. Ng, N. Sindorf, J. Robertson, E. Armijo, J. V. Higgins, T. J. Heibel, E. Wikramanayake, D. Olson, H. L. Lopez, R. E. Reis, J. G. Lundberg, M. H. S. Perez, and P. Petry. 2008. Freshwater ecoregions of the world: A new map of biogeographic units for freshwater biodiversity conservation. *Bioscience* 58:403–414.
- Agudelo, E., Bonilla-Castillo, C.A., Gómez, G.A., Salvino, H. & D.L. Trujillo. (2012). Evolución de las longitudes corporales para la pesquería comercial de bagres en la Amazonia colombiana (período 2001–2012). *Revista Colombia Amazónica* No. 5: 177–194
- Alvarez-León, R., and V. Ortiz-Muñoz. (2004). Distribución altitudinal de las familias de peces en tributarios de los ríos Magdalena y Upiá. *Dhalia Revista de la Asociación Colombiana de Ictiología* 7:87–94.
- Araujo Flores, J. M. (2016). Caracterización de la biodiversidad acuática en la cuenca andino-amazónica de Madre de Dios–Perú. Universidad de Huelva.
- Arbeláez, F., J. F. Duivenvoorden, J. A. Maldonado-Ocampo, F. Arbeláez, J. F. Duivenvoorden, and J. A. Maldonado-Ocampo. (2008). Geological differentiation explains diversity and composition of fish communities in upland streams in the southern Amazon of Colombia. *Journal of Tropical Ecology* 24:505–515.
- Bogotá-Gregory, D. J., and J. A. Maldonado-Ocampo. (2006). Peces de la zona hidrogeográfica de la Amazonia, Colombia. *Biota Colombiana* 14:1:55–94.
- Castello, L., D. G. Mcgrath, L. L. Hess, M. T. Coe, P. A. Lefebvre, P. Petry, M. N. Macedo, V. F. Renó, and C. C. Arantes. (2013). The vulnerability of Amazon freshwater ecosystems. *Conservation Letters* 6:217–229.
- Celis-Granada, M. S. (2011). Estructura de la comunidad íctica en un arroyo del piedemonte amazónico (Flores-Caquetá). Universidad Nacional de Colombia Sede Amazonia.

- Clerici, N., D. Armenteras, P. Kareiva, R. Botero, J. P. Ramírez-Delgado, G. Forero-Medina, J. Ochoa, C. Pedraza, L. Schneider, C. Lora, C. Gómez, M. Linares, C. Hirashiki, and D. Biggs. (2020). Deforestation in Colombian protected areas increased during post-conflict periods. *Scientific Reports* 10:1–10.
- Corpoamazonia. (2006). Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Hacha. Corporación para el Desarrollo del Sur de la Amazonia.
- Duque, S. R., J. E. Ruiz, J. Gómez, and E. Roessler. (1997). Limnología. Pages 69–134 in IGAC, editor. *Zonificación ambiental para el plan modelo Colombo-Brasilero* (Aporis-Tabatinga: PAT). Editorial Linotipia Bolívar, Bogotá.
- Escobar, M. F., A. R. García, G. A. Pimentel-Parra, L. C. Chaves-Moreno, and B. Murcia-Ordoñez. (2018). Diversidad de la ictiofauna de la quebrada La Batalla, municipio de Florencia, Caquetá, Colombia. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 2018:4–8.
- Fitzgerald, D. B., M. H. Sabaj Perez, L. M. Sousa, A. P. Gonçalves, L. Rapp Py-Daniel, N. K. Lujan, J. Zuanon, K. O. Winemiller, and J. G. Lundberg. (2018). Diversity and community structure of rapids-dwelling fishes of the Xingu River: Implications for conservation amid large-scale hydroelectric development. *Biological Conservation* 222:104–112.
- Fowler, H. W. (1943). A collection of fresh-water fishes from Colombia, obtained chiefly by Brother Nicéforo María. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 95:223–266.
- Fowler, H. W. (1945^a). Colombian zoological survey. Part I—The freshwater fishes obtained in 1945. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 97:93–135.
- Fowler, H. W. (1945^b). Colombian zoological survey. Part I—The freshwater fishes obtained in 1945. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 97:93–135.
- Futuyma, D. J. (2005). Evolution. Sinauer Associates, Inc., Sunderland, MA, U.S.A.
- Galvis, G., P. Sánchez-Duarte, L. M. Mesa-Salazar, Y. López-Pinto, M. A. Gutiérrez, Á. Gutiérrez-Cortés, M. Leiva, and C. Castellanos. (2007). Peces de la Amazonía Colombiana con énfasis en especies de interés ornamental. Incofer. Universidad Nacional. SINCHI, Bogotá.
- Herrera, J. (1999). Geología y características geomorfológicas. Pages 105–134 *Paisajes fisiográficos de la Orinoquia-Amazonia* (ORAM) Colombia. Bogotá: Análisis Geográficos 27–28. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá.
- Horn, C., and F. Wesselingh. (2010). Amazonia, landscape and species evolution: A look into the past. Page Wiley-Blackwell. Wiley-Blackwell, Oxford, UK.
- Jaramillo-Villa, U., J. A. Maldonado-Ocampo, and J. D. Bogotá-Gregory. (2008). Peces del Oriente de Antioquia, Colombia. *Biota Colombiana* 9:279–293.
- Jaramillo-Villa, U., J. A. Maldonado-Ocampo, and F. Escobar. (2010). Altitudinal variation in fish assemblage diversity in streams of the central Andes of Colombia. *Journal of Fish Biology* 76:2401–2417.
- Kohlmann, B., and J. Wilkinson. (2003). Fronteras biogeográficas: coincidencia entre factores climáticos, topográficos, geológicos e históricos. Una perspectiva latinoamericana de la biogeografía 45:221–226.
- De La Barra, E., J. Zubieta, G. Aguilera, M. Maldonado, M. Pouilly, and T. Oberdorff. (2016). ¿Qué factores determinan la distribución altitudinal de los peces de ríos tropicales andinos? *Biología Tropical* 64:173–192.
- Lomolino, M. V. (2001). Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography* 10:3–13.
- Lujan, N. K., K. A. Roach, D. Jacobsen, K. O. Winemiller, V. M. Vargas, V. R. Ching, and J. A. Maestre. (2013). Aquatic community structure across an Andes-to-Amazon fluvial gradient. *Journal of Biogeography* 40:1715–1728.
- Magurran, A. E., S. Khachonpisitsak, and A. B. Ahmad. (2011). Biological diversity of fish communities: Pattern and process. *Journal of Fish Biology* 79:1393–1412.
- Maldonado-Ocampo, J. A., A. Ortega-Lara, J. S. Usma, G. Galvis, F. A. Villa Navarro, L. Vásquez, S. Prada-Pederos, and C. Ardila. (2005). Peces de los Andes de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, D.C.
- Mojica, J. I. (1999). Lista preliminar de las especies de peces dulceacuícolas de Colombia. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23:547–565.
- Montoya-Ospina, D. C., F. A. Villa-Navarro, and E. O. López-Delgado. (2018). Composición y estructura de peces de la microcuenca del río anchique, tolima, Colombia. *Revista de Biología Tropical* 66:336–351.
- Mouchet, M. A., M. D. M. Burns, A. M. Garcia, J. P. Vieira, and D. Mouillot. (2013). Invariant scaling relationship between functional dissimilarity and co-occurrence in fish assemblages of the Patos Lagoon estuary (Brazil): *Environmental filtering consistently overshadows competitive exclusion*. *Oikos* 122:247–257.
- Murcia, L. A. (2002). Reconocimiento Geológico del Macizo de Garzón. Publicaciones Geológicas Especiales del INGEOMINAS No. 24:58.
- Núñez-Avellaneda, M., and S. R. Duque. (2001). Fitoplancton de algunos ríos y lagos de la Amazonia colombiana. Pages 305–335 in C. Franky and C. Zárate, editors. *Imani mundo: Estudios en la Amazonia colombiana*. Unibiblibos, Bogotá (Colombia).
- Pérez-Malvárez, C., G. Bribiesca Escutia, and A. A. Bueno Hernández. (2018). El Amazonas y la biogeografía: Creacionismo contra transmutacionismo. *Acta Biológica Colombiana* 23:225–234.
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing.
- Reis, R. E., S. O. Kullander, and C. J. Ferraris. (2003). Checklist of the Freshwater Fishes of South and Central America. Edipucrs, Porto Alegre, Brazil.
- Ricaurte, L. F., M. Núñez-Avellaneda, M. C. Pinilla, C. A. Marín, A. Velásquez Valencia, J. C. Alonso, J. I. Mojica, B. Betancourt, C. Salazar, D. Caicedo, A. Acosta-Santos, W. Castro, and J. H. Argüelles. (2015). Inventario y tipificación de humedales en la cuenca del río Ortegua, departamento del Caquetá, Amazonia colombiana. Page (L. F. Ricaurte and M. Avellaneda, Eds.). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Convención de Ramsar, Bogotá, Colombia.

- Rivadeneira, J. F., E. P. Anderson, and S. Dávila. (2010). Peces de la cuenca del Pastaza, Ecuador. *Page Jeu: revue de théâtre*. Fundación Natura, Quito, Ecuador.
- Rudas, A. (2009). Unidades ecogeográficas y su relación con la diversidad vegetal de la Amazonia colombiana. Universidad Nacional de Colombia.
- Sioli, H. (1975). Tropical rivers as expressions of their terrestrial environments.
- van der Sleen, P., and J. Albert. (2018). *Field Guide to the Fishes of the Amazon, Orinoco & Guianas*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Tobes Sesma, I. (2016). Gradientes ecológicos y distribución de comunidades de peces en ríos de montaña: de la ecología a la conservación; de los Pirineos a los Andes. Universidad de Navarra.
- Torrente-Vilara, G., J. Zuanon, F. Leprieur, T. Oberdorff, and P. A. Tedesco. (2011). Effects of natural rapids and waterfalls on fish assemblage structure in the Madeira River (Amazon Basin). *Ecology of Freshwater Fish* 20:588–597.
- Urbano-Bonilla, A., J. Zamudio, J. A. Maldonado-Ocampo, J. D. Bogotá-Gregory, G. A. Cortes-Millán, and Y. López. (2009). Peces del piedemonte del departamento de Casanare, Colombia. *Biota Colombiana* 10:179–207.
- Valenzuela Mendoza, L. M. (2018). Diversidad, distribución de la ictiofauna en el gradiente altitudinal y estado de conservación del Río Huallaga (Pasco–Huánuco – San Martín).
- Vargas, C. A., J. A. Díaz, L. C. Chaves-Moreno, and B. Murcia-Ordoñez. (2013). Diversidad de la familia loricariidae en la quebrada el Mochilero, municipio de Florencia departamento de Caquetá–Colombia. *AquaTIC* 38:21–27.
- Villareal, H., M. Álvarez, S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, F. Gast, H. Mendoza, M. Ospina, and A. M. Umaña. (2004). Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia.



Quebrada Las Verdes, Camino Andakí (Huila-Caquetá). Foto: Astrid Acosta

Anexo 1.

Ambiente típico de las estaciones muestreadas según altitud



los 500 msnm.



b. Ambientes típicos de las estaciones de muestreo localizadas entre 500 y 1000 msnm.

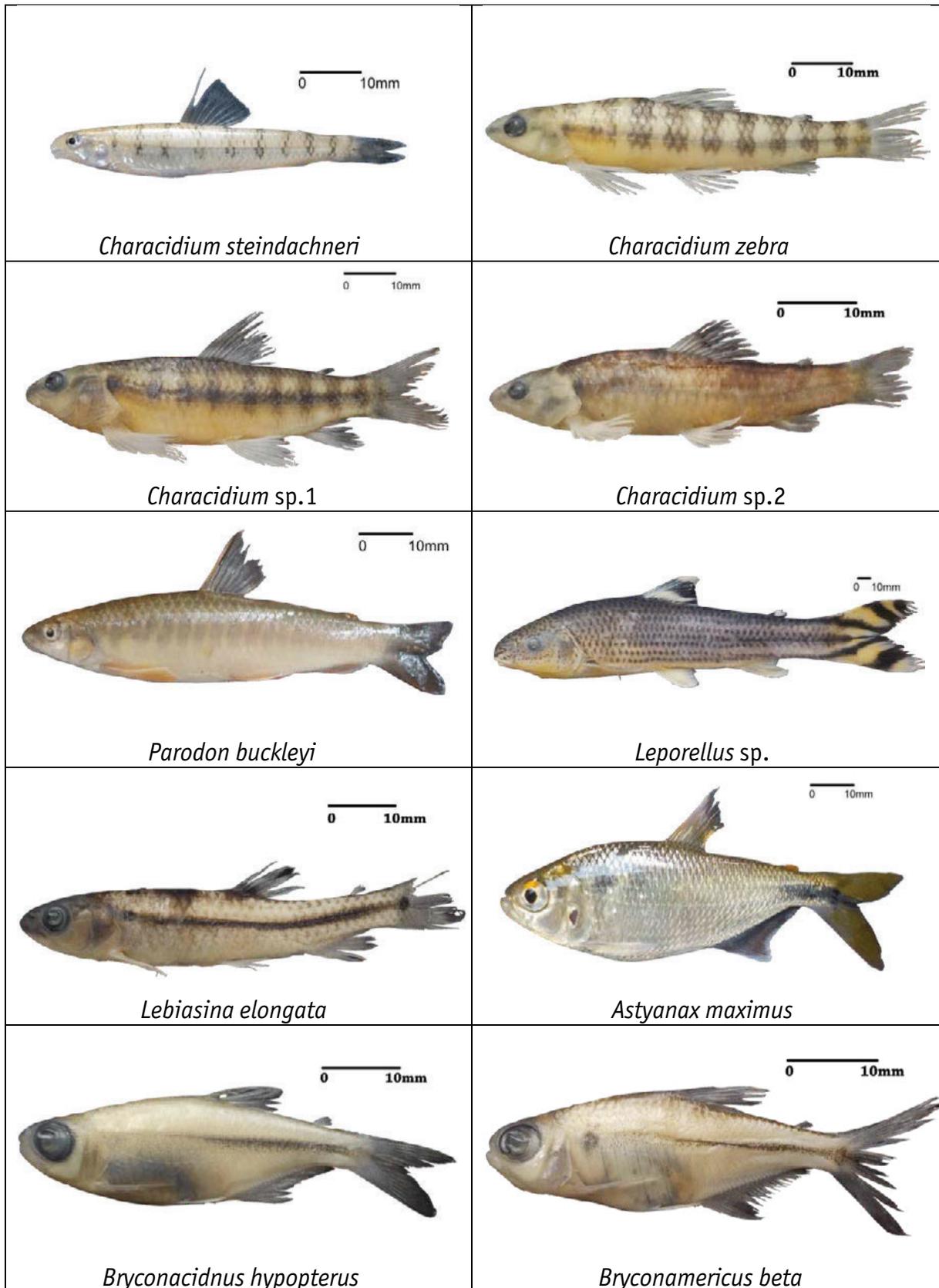


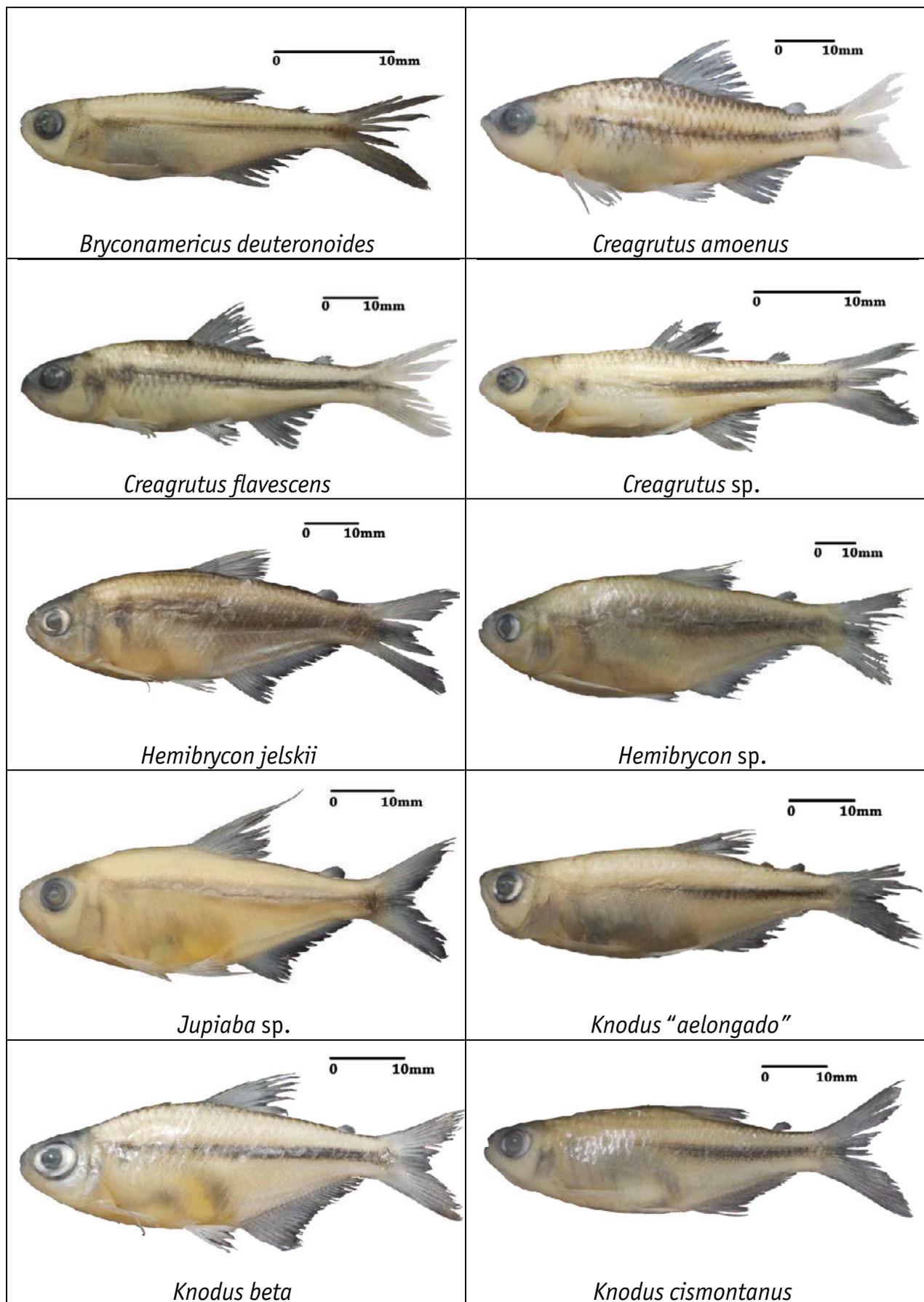
c. Ambientes típicos de las estaciones de muestreo localizadas sobre los 1000 msnm.

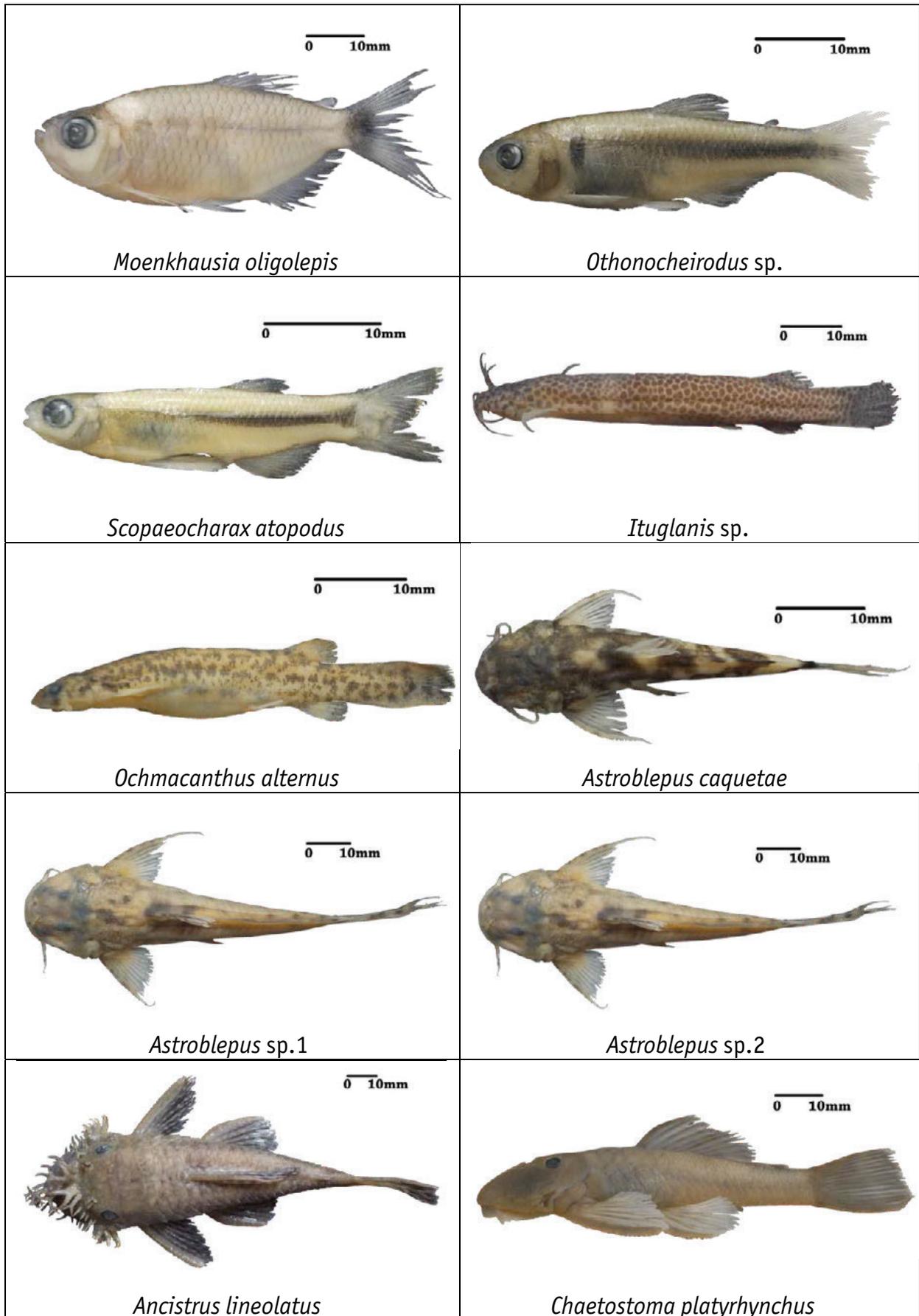
Los peces del Camino Andakí en la transición andino-amazónica. Río Pescado (cuena del río Caquetá)

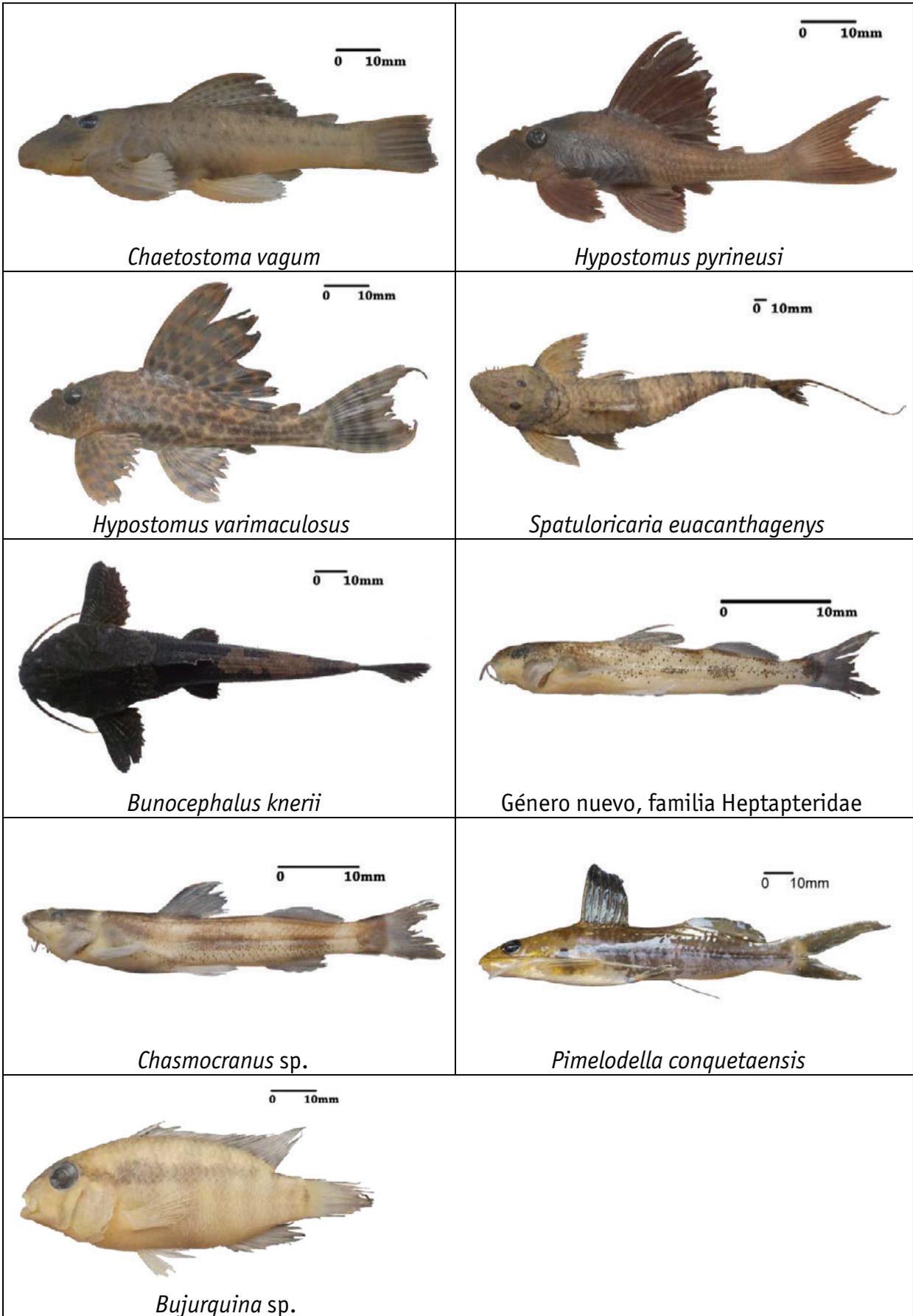
Anexo 2.

Catálogo de las especies de peces identificadas









Los peces del Camino Andakí en la transición andino-amazónica. Río Pescado (cuenca del río Caquetá)