

BIODIVERSIDAD DE MASAS DE AGUA SOMETIDAS A DIFERENTE PRESIÓN ANTRÓPICA EN EL ENTORNO DE UN ÁREA URBANA DE LA AMAZONIA PERUANA (PUERTO MALDONADO, MADRE DE DIOS)

Julio M. Araújo Flores¹, Lastenia Cutipa Chavez², Vanessa Meza Vargas³, Jorge L. Peralta Argomeda³, Diana M. López Paria³, Ana Asunción Huamantincó⁴, Hernán Ortega³ y José Prenda¹

¹ Universidad de Huelva, Departamento de Biología Ambiental y Salud Pública. 21071, Huelva, España.

² Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios – Departamento de Ciencias Básicas, Av. Jorge Chávez s/n, Puerto Maldonado

³ Museo de Historia Natural de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Av. Arenales 1256, Lima 11, Perú.

⁴ Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Apartado 11-0058, Lima 11, Perú.

E-mail autor: julioaflo@gmail.com

Resumen

Los ecosistemas acuáticos tropicales son poco conocidos en relación a otros medios templados o fríos. Asimismo, el efecto de los impactos humanos sobre estos ecosistemas y su biodiversidad han sido poco abordados en la literatura científica. En este trabajo se analizan las características limnológicas básicas de ocho cuerpos de agua (quebradas, aguajales, un lago y ríos) sometidos a diferente presión humana (tres localidades expuestas a vertidos urbanos directos y cinco libres de este impacto, algunas incluso prístinas), en la cuenca del río Madre de Dios, en la Amazonia peruana. Se estudian siete parámetros físico-químicos del agua y la estructura de sus principales comunidades acuáticas: fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces, con el objetivo general de verificar en qué medida cada uno de estos factores es sensible a los impactos humanos. Los muestreos se realizaron en dos épocas del año (lluviosa: diciembre 2011 y transición a época seca: mayo 2012 y). Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que solo las coliformes totales, así como la riqueza específica y diversidad de Shannon (H') para la comunidad de peces fueron sensibles al impacto derivado del vertido de aguas residuales urbanas. En el primer caso se produjo un aumento de los coliformes en las localidades urbanas en periodo de lluvias, mientras que S y H' sufrieron una reducción significativa en estas localidades, con una menor importancia relativa del periodo del año.

Abstract

Tropical freshwater ecosystems are poorly known with respect to temperate or cold environments. In addition, the effects of human impacts on these ecosystems and their biodiversity have been rarely considered scientifically. In this paper we analyze some basic limnological characteristics of eight waterbodies, including ravines, swamps, lakes and rivers, under different human impacts (three sites receiving crude domestic sewage effluents and five completely free from them) in the Madre de Dios river basin (Peruvian Amazon). Specifically seven water physico-chemical parameters and the structure of the main aquatic communities (phytoplankton, zooplankton, macroinvertebrates and fish) were analyzed to determine the relative sensibility to the human impacts of each one of them. Samplings were carried out in two contrasted periods (rainy: December 2011 and dry: may 2012). Only total faecal coliforms, out of seven limnological parameters, besides the fish community specific richness (S) and Shannon's diversity (H') were different between human impacted sites and non-impacted sites with crude sewage effluents. In the first case, faecal coliforms increased significantly during the rainy period in the urban sites, while fish S and H' decreased in these sites, but, in this case, with a low influence of the time period.

Palabras clave: Limnología, fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados, peces, aguas residuales, ecosistemas tropicales

Introducción

Debido a la actividad humana, los ecosistemas acuáticos continentales se encuentran entre los más amenazados del planeta y están sufriendo

por ello una enorme pérdida de biodiversidad que afecta a todos sus componentes, especialmente a los peces (Dudgeon et al. 2006). En este sentido, alrededor del 30% de la

ictiofauna continental -el grupo más diverso de vertebrados, suponiendo un cuarto del total de especies descritas- está amenazada (Duncan y Lockwood 2001, IUCN 2009, Pino-del-Carpio et al. 2010) y es también la peor conocida.

Los medios acuáticos templados y fríos son relativamente bien conocidos y los impactos humanos sobre ellos están, en general, bien documentados (Prenda et al. 2006). Sin embargo, no se puede decir lo mismo de los ecosistemas acuáticos tropicales. Ni su ecología, ni la biodiversidad que albergan, son ni mucho menos tan bien conocidos como los primeros. Asimismo se posee solo un conocimiento parcial sobre cómo están afectando las transformaciones antrópicas a estos medios peculiares, depositarios de la mayor parte de la riqueza biológica acuática del planeta (Boyero et al. 2009).

Aunque la biodiversidad acuática tropical, especialmente de la amazonia, está sometida a un bajo riesgo en la actualidad, como ocurre con todas las áreas del planeta en las que coinciden baja densidad de población humana y ausencia de agricultura a gran escala (Vörösmarty et al. 2010), se están iniciando cambios que pueden poner en peligro los ecosistemas acuáticos de muchas regiones tropicales, como es el caso de la amazonia peruana (Scullion et al. 2014). Si bien es cierto que la densidad de población no resulta elevada en el departamento de Madre de Dios (107.000 habitantes en total, 78.000 en el área de influencia de Puerto Maldonado), las actividades antrópicas están modificando rápidamente la cuenca del río Madre de Dios, principal arteria fluvial de la región y abastecedor de agua a la capital del departamento. Algunas zonas se encuentran sometidas a fuertes transformaciones como consecuencia de la expansión de la frontera agrícola y urbana, el aprovechamiento forestal, la minería y la reciente construcción de la carretera interoceánica sur que acelera todos los procesos anteriores.

Todas las transformaciones ambientales que se están registrando en Madre de Dios deben estar repercutiendo sobre los cuerpos de agua directamente e indirectamente a través de las comunidades acuáticas (fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces)

(Cleto-Filho & Walker 2001, Alexandre et al. 2010, Moya et al. 2011), cuyos descriptores estructurales funcionan como indicadores sensibles a las perturbaciones externas y son detectables mediante técnicas relativamente sencillas.

El plancton que habita la columna de agua y supera las 50 μm de tamaño, incluye los productores primarios -algas unicelulares que conforman el fitoplancton- y a diferentes grupos faunísticos -rotíferos y crustáceos, componente básico del zooplancton-, que son la base de la cadena trófica. Los macroinvertebrados que habitan de manera fija o errante el lecho o la superficie de un cuerpo de agua o sustrato alcanzando un tamaño de entre 3-5 mm o mayor, serían el siguiente grupo en la jerarquía trófica del sistema. La ictiofauna posee una enorme importancia estructural y funcional en los ecosistemas acuáticos conferida por su biomasa y diversidad. Cada una de estas comunidades acuáticas considerada en conjunto puede proporcionar información precisa acerca del estado de conservación de los cuerpos de agua y posee, además, la potencialidad de detectar perturbaciones antrópicas, tales como episodios de contaminación, ocurridas en diferentes momentos en el pasado.

En el presente estudio se describe la situación de las principales comunidades acuáticas (fitoplancton, zooplancton, macroinvertebrados y peces) en diferentes cuerpos de agua sometidos a una presión antrópica variable del entorno de la ciudad de Puerto Maldonado, en la Amazonia peruana. El trabajo se ha llevado a cabo en dos periodos contrastados: época seca y época lluviosa. Se trata de determinar la importancia relativa de la presión humana genérica sobre las características limnológicas básicas de los cuerpos de agua, así como la potencialidad discriminadora de los parámetros estructurales de cada una de las comunidades biológicas consideradas, frente a esta presión antrópica.

El objetivo general de este estudio es, en fin, generar una línea hidrobiológica base para conocer la situación actual global del área de estudio y, así generar un marco de referencia para evaluar posibles cambios futuros. Asimismo, este trabajo dará lugar al primer

inventario de plancton y macroinvertebrados realizado en el entorno de Puerto Maldonado.

Área de Estudio

La cuenca Madre de Dios, posiblemente el área menos intervenida y erosionada de la Amazonía peruana, se encuentra ubicada en la parte Sur Oriental del Perú, forma parte de las grandes cuencas del río Madeira que se une al Amazonas por la margen derecha abajo de Manaos. Tiene una extensión de 111,933 km² en territorio peruano. La Cuenca del río Madre de Dios comprende tres Gobiernos Regionales, para Madre de Dios el 96% se encuentra en el ámbito de la cuenca, para Puno el 32% y Cusco el 12%.

La población humana de la cuenca en el 2010 era de 267,000 (Cusco, Puno y Madre de Dios) habitantes y una densidad de 3.86 ha/km², lo que le convierte en una zona poco poblada, pero también en una de las más dinámicas en términos de incremento de población, con cerca del 3.5% de tasa de crecimiento anual (Ministerio de Agricultura 2010). Este incremento es consecuencia fundamentalmente de la actividad aurífera y las actividades de servicios en Puerto Maldonado. La primera actividad origina problemas de cambios en el paisaje, remoción y movimiento masivos de tierras y contaminación severa de los cauces. La segunda actividad, por el crecimiento exponencial de la urbe, genera igualmente diferentes problemas ambientales.

La variada geografía así como la gran extensión de la Cuenca de Madre de Dios es representada en veintiséis zonas de vida, siendo la más importante el bosque húmedo subtropical. El tipo de clima que predomina en la cuenca, según Thornthwaite, es Súper - Húmedo y Cálido.

Existen aproximadamente 136 ríos en toda la cuenca del río Madre de Dios, así como por lo menos 248 quebradas que alimentan a los ríos principales. En las partes más altas de la cuenca, las quebradas son de aguas claras y discurren sobre terrenos pedregosos. Mientras que, en el Llano Amazónico, las quebradas generalmente, son de agua negra y discurren por terrenos arenosos a arcillosos. La Cuenca de Madre de Dios, cuenta con una gran cantidad de lagunas de diverso origen y formación. En el llano amazónico existen grandes cochas. El uso actual del agua es liderado por el uso poblacional, con un 70%, seguido del industrial y minero con un

18% y 12% respectivamente. El uso agrario del agua es prácticamente nulo.

La reducción de la cobertura forestal en la cuenca y la turbidez de los ríos son una realidad incontestable, ambas mayoritariamente consecuencia directa de la minería informal (Swenson et al 2011). En la mayoría de los ríos se puede observar a simple vista el deterioro de las aguas, aparte por las razones aducidas, por los desagües de las ciudades y los residuos sólidos que se arrojan al río. En el período 2000-2005 se deforestó anualmente cerca de 10 km² y aumentó de forma alarmante la carga de materiales en suspensión en los medios fluviales. Si bien existe información local sobre la situación de la biodiversidad en la región, no se cuenta con estadísticas ni cartografía generales que ilustren sobre esta realidad a nivel de ecosistema (Ministerio de Agricultura 2010).

La temperatura media anual en Puerto Maldonado es de 26°C; las máximas llegan a 38°C entre agosto y septiembre y las mínimas descienden a 8°C. Las precipitaciones son escasas entre los meses de junio a agosto, con una época lluviosa entre diciembre y marzo.

Según el informe del Banco Central de Reserva del Perú (Huamán et al. 2014), en el año 2012, Madre de Dios aportó el 0.3% al Valor Agregado Bruto (VAB) nacional, ocupando el último lugar a nivel departamental. La tasa de crecimiento promedio anual del VAB entre 2003 y 2012 fue del 4.4%. La minería constituyó la principal actividad económica (28.1% del VAB departamental), seguida del comercio (11.6%), los servicios gubernamentales (11.3%), la agricultura, caza y silvicultura (9.3%) y con un porcentaje menor, el ecoturismo y la conservación.

Siguiendo a la misma fuente, los principales productos agrícolas del departamento son: pasto bracharia, plátano, maíz amarillo duro, yuca y arroz, destinados esencialmente al consumo local, debido a que el departamento es deficitario en producción agrícola, por lo que debe abastecerse de otras zonas del país.

La actividad pesquera, que en los últimos años ha mostrado un notable crecimiento debido a la productividad de los ecosistemas acuáticos amazónicos (lagos, "cochas", quebradas, ríos), se circunscribe principalmente al área de Puerto Maldonado, consecuencia probable del inicio de la acuicultura a partir del crecimiento del consumo per cápita de pescado.

La actividad minera, con más de 2.000 concesiones reconocidas para cerca de medio millón de hectareas, es una de las más dinámicas de la región y una parte importante de la población activa se dedica a la búsqueda y extracción de oro en los ríos, playas y antiguos cauces de ríos, principalmente en las vertientes del sureste del departamento, en las cuencas de los ríos Colorado, Inambari, Madre de Dios, Malinowski, Tambopata, Huepetuhe y Caychihue.

La ciudad de Puerto Maldonado, capital del departamento, concentra la mayoría de la población del mismo, así como gran parte de su actividad económica, centrada en el sector servicios, en actividades extractivas (minería del oro, principalmente informal, explotación forestal maderera y no maderera -castaña, *Bertholletia excelsa*) agropecuarias (agricultura y ganadería, localizados en torno a las carreteras y a las principales vías fluviales) y ecoturismo y conservación, alrededor del conjunto de áreas naturales protegidas. Las aguas residuales urbanas, así como el drenaje de toda la actividad económica referida, llegan a los cauces directamente sin depurar.

Metodología

Caracterización del medio acuático

Se hizo un reconocimiento previo de la zona para determinar cuáles podrían ser los lugares propicios para este estudio. Para ello se siguieron criterios cartográficos (ZEE 2007), de campo, basados en la representatividad del área y se tuvo en cuenta la proximidad al polígono urbano de la ciudad de Puerto Maldonado. Se fijaron así ocho estaciones de muestreo; dos en

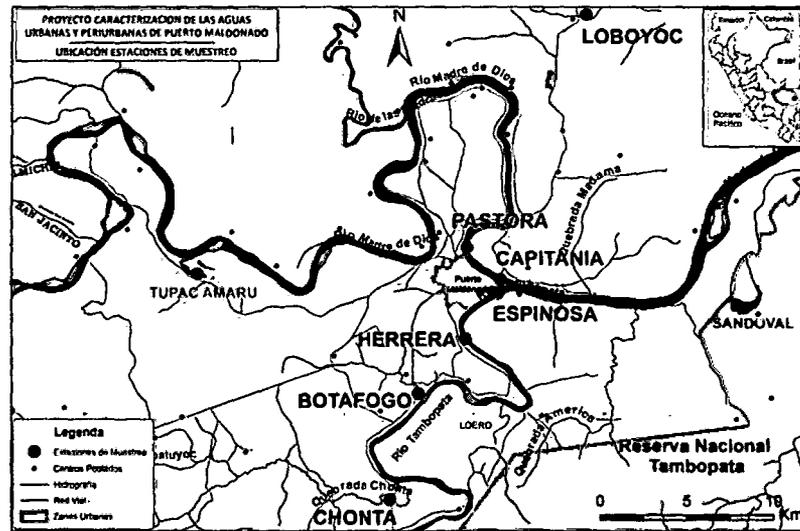
el río Tambopata (Botafogo y Espinosa), dos en el río Madre de Dios (Pastora y Capitania), una en cada una de las quebradas Chonta, Loboyoc y Herrera y una en el Lago Tupac Amaru (Figura 1).

Cada una de ellas fue muestreada en época lluviosa (diciembre 2011-enero 2012) y en la transición de época lluviosa a seca (abril-mayo 2012). Dichas estaciones fueron agrupadas según su fisonomía y proximidad a la ciudad en estaciones de muestreo ubicadas en áreas de alto impacto o urbanas (Herrera, Capitania y Espinosa) y en áreas de bajo impacto (Chonta, Lago Tupac Amaru, Botafogo, La Pastora y Loboyoc).

Las primeras mostraban signos evidentes de actividades antrópicas en sus inmediaciones, tales como vertidos, talas o extracciones, mientras que las segundas se encontraban en ambientes poco o nada modificados, algunos calificables de prístinos.

En cada localidad se realizó la medición superficial por triplicado a lo ancho del cauce de cinco parámetros fisicoquímicos básicos del agua conductividad, pH, temperatura transparencia y concentración de oxígeno disuelto. Para los tres primeros se empleó una sonda multicombo "Hanna", la transparencia se estimó con un disco de Secchi y el oxígeno se determinó con un kit colorimétrico LaMotte. En paralelo a estos registros se tomaron muestras de agua para el análisis de coliformes fecales, parámetro relacionado con el vertido directo de aguas residuales urbanas.

Figura I. Mapa del área de estudio, con indicación de las localidades muestreadas. Capitania, Herrera y Espinosa se han considerado perturbadas o muy perturbadas por la intensa actividad humana en sus inmediaciones consecuencia de la actividad de Puerto Maldonado. El resto son localidades de bajo impacto, incluso prístinas.



Muestreo de peces, macroinvertebrados y plancton

El muestreo de peces se realizó de acuerdo al protocolo descrito en el programa AquaRap (Chernoff et al. 1998), y las sugerencias de Barthem et al. (2003); es decir, al menos cinco arrastres por estación de muestreo. Para ello se empleó una red de arrastre a orilla de 10m x 1,5m de 10 mm de luz de malla, una red atarraya de 2 brazas, redes de espera de 20 m x 2m, redes de mano tipo calca y anzuelos. Se realizó la pesca de arrastre hacia las orillas y al centro del cuerpo de agua dependiendo de la corriente y el ancho del río, también por remoción manual del fondo. Los peces capturados fueron identificados, contados y fijados en formol al 10% (inyectados si su longitud superaba los 15 cm.) durante 48 horas y posteriormente se acondicionaron envueltos en gasa empapados con alcohol al 70 % y empacados en bolsas plásticas. Los resultados se expresan como capturas totales.

Para el muestreo de macroinvertebrados acuáticos se tomaron tres réplicas por estación con una red Surber de 300 μ m de luz de malla, colocada en el fondo de la quebrada o río mientras se removía el sustrato para que los organismos fuesen arrastrados dentro de la red. Cada muestra se fijó en alcohol al 70%. Los resultados se expresan como ejemplares promedio por réplica.

El plancton -compuesto por el zoo y fitoplancton- se colectó por filtrado de 50 L de agua a través de una red cónica de 40 μ m de luz de malla. Se fijó en formol al 4% para su posterior separación e identificación de los organismos tomando 1ml por muestra y estación. Los resultados se expresan como valores absolutos por ml.

La limpieza, separación, identificación, distribución y catalogación del material biológico obtenido se realizó en los Departamentos de Ictiología y Limnología, respectivamente, del Museo de Historia Natural (M. H. N.) de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) y su depósito sistematizado en las colecciones correspondientes del M. H. N. (MUSM).

Análisis de datos

Se estimaron o calcularon diferentes índices estructurales de las comunidades acuáticas: abundancia de individuos (N), riqueza de especies (S), diversidad de Shannon (H') y la equitatividad de Pielou (J'), que estima el grado de aproximación a una comunidad teórica con equitatividad máxima (Moreno 2001). El cálculo de estos índices permite condensar gran cantidad de información en un solo valor, facilitando la comparación entre localidades y entre épocas. Valores altos de diversidad indican usualmente comunidades bien estructuradas, mientras que valores bajos indican estrés o impacto. El índice de equidad de Pielou mide la proporción de la

diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Moreno 2001).

Para los análisis estadísticos se comprobó la normalidad de todas las variables con el test de Shapiro-Wilks. En aquellos casos en que no se alcanzó la normalidad se aplicó la transformación $\text{Log}(x+1)$.

Los macroinvertebrados son ampliamente usados como bioindicadores para estimar el estado de un ambiente acuático, pudiendo indicar anomalías o alteraciones sufridas por los cuerpos de agua que pasarían normalmente desapercibidas en controles rutinarios de los parámetros físico-químicos de calidad del agua. Un vertido ocurrido en el pasado puede ser determinado atendiendo a la comunidad acuática presente. En el caso de los macroinvertebrados se conocen relativamente bien los niveles de tolerancia de determinados taxa (Roldán 2003).

En este trabajo se han empleado dos índices de calidad de las aguas basados en macroinvertebrados: EPT y BMWP. El índice EPT estima la riqueza relativa de los órdenes de baja tolerancia a la contaminación Ephemeroptera, Plecoptera, y Trichoptera (Ortega et al 2007). El índice BMWP fue desarrollado para aguas británicas y en la actualidad es ampliamente empleado, no solo Europa, sino en numerosas partes del planeta (ej. Gutierrez-Fonseca & Lorion 2014). La propuesta de BMWP que se ha seguido aquí fue desarrollada para la Amazonía colombiana (Roldán 2003). Este índice ordena diferentes familias de macroinvertebrados según su tolerancia a la contaminación orgánica, de modo que asigna puntuaciones crecientes a los taxa más intolerantes. La suma de las puntuaciones que reciben las familias presentes en una localidad determina su grado de calidad y se clasifica en una de las cinco categorías: >150-101 (Buena), 61-100 (Aceptable), 36-60

(Dudosa), 16-35 (Crítica), <15 (muy crítica) (Alba-Tercedor & Sanchez-Órtega 1978).

Resultados

Características del medio acuático

Las condiciones del medio acuático se mantuvieron dentro de los límites permisibles según los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para cuerpos de agua de 4° Categoría o de Conservación del Ambiente Acuático (Tabla I). En general, aunque las características del hábitat fueron marcadamente diferentes entre las localidades estudiadas, los parámetros ambientales y limnológicos estudiados presentaron una homogeneidad muy elevada

(Tabla I). El coeficiente de variación (%) de la altitud, temperatura, pH y concentración de oxígeno disuelto se mantuvo por debajo del 10% en todos los casos. Solo conductividad y transparencia mostraron una aparente heterogeneidad (46,8% y 87,1%, respectivamente), aunque siempre dentro de márgenes estrechos, desde el punto de vista de su potencial repercusión biológica.

Esta homogeneidad ambiental se mantuvo a lo largo del espacio y del tiempo, sin que se detectasen diferencias significativas entre las localidades ubicadas en entornos humanizados y aquellas alejadas de los mismos, entre época lluviosa y época seca, salvo en el caso de las coliformes fecales (Tabla II).

Este indicador de presencia de contaminación por vertidos de aguas residuales urbanas sin depurar, fue significativamente mayor ($F=9,6$, $p<0,002$) en áreas de alto impacto o humanizadas, concretamente en el entorno de Puerto Maldonado, en época lluviosa que en zonas alejadas del medio urbano (Figura II).

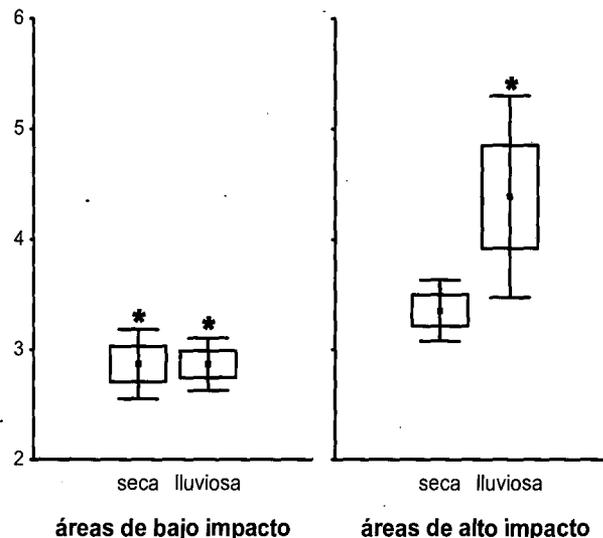
Tabla I. Características ambientales y limnológicas básicas de algunos cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú). Se incluye el coeficiente de variación (%) como una medida de la variabilidad de cada parámetro.

Estación	Altitud (msnm)	Impacto antrópico	Época	Temperatura (C)	Oxígeno Disuelto (mg L ⁻¹)	Conductividad (µs cm ⁻¹)	pH	Transparencia (cm)
Lago Túpac Amaru	179	Bajo	Seca	33.4	5.4	122	7.61	42
			Lluviosa	30.6	5.8	138	7.07	14
Pastora (Madre de Dios)	173	Bajo	Seca	29.3	6.2	88	7.55	3
			Lluviosa	26.1	6.8	78	7.31	6
Capitanía (Madre de Dios)	169	Alto	Seca	28.9	6.4	115	7.39	6
			Lluviosa	27.9	6.6	97	7.21	8
Espinosa (Tambopata)	170	Alto	Seca	30.5	6.8	66	7.15	22
			Lluviosa	28.8	7	79	7.27	56
Playa Botafogo (Tambopata)	172	Bajo	Seca	29.8	7.2	63	6.92	48
			Lluviosa	28.7	7	58	6.89	3.5
Quebrada Herrera	178	Alto	Seca	26.6	6.6	69	6.94	-
			Lluviosa	27.4	6.8	74	7.13	5
Quebrada Chonta	183	Bajo	Seca	26.9	6.8	55	6.85	65
			Lluviosa	25.3	7	14	6.72	28
Quebrada Loboyoc	189	Bajo	Seca	25.6	6.2	23	6.35	58
			Lluviosa	27.3	6	32	6.47	28
CV (%)	3,8			7,5	7,6	46,8	5,0	87,1

Tabla II. Efectos del impacto antrópico y la época del año (lluviosa o seca) sobre los siete parámetros ambientales medidos en cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Perú) y comparación de los mismos mediante un ANOVA, indicado mediante el valor de F.

	Zonas de bajo impacto		Zonas de alto impacto		F
	Seca (n=5)	Lluviosa (n=5)	Seca (n=3)	Lluviosa (n=3)	
Altitud (msnm)	179,2±3,2		172,3±2,8		1,4
Oxígeno disuelto (mg L ⁻¹)	6,4±0,3	6,5±0,3	6,6±0,1	6,8±0,1	0,4
Temperatura (°C)	29,0±1,3	27,6±0,9	28,7±1,1	28,0±0,4	0,3
pH	7,1±0,2	6,9±0,1	7,2±0,1	7,2±0,0	0,6
Conductividad (µS cm ⁻¹)	70,2±16,6	64,0±21,5	83,3±15,9	83,3±7,0	0,3
transparencia (cm)	43±11	16±5	13±5	23±17	0,9
Coliformes totales (UPC)	1020±475	856±229	2500±681	54067±35340	9,6*

Figura II. Índice de coliformes fecales totales (transformado logarítmicamente) medio en cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú) en épocas seca y lluviosa. Se marcan con un asterisco las categorías que presentan diferencias significativas en un test post-hoc (test de Tukey HSD para muestras con N desigual). El índice de coliformes es significativamente mayor en áreas urbanas durante época lluviosa, que en áreas rurales, en ambas épocas ($p < 0,0051$, en los dos casos).



Los valores de coliformes fecales superaron los límites legales vigentes en tres estaciones de muestreo (Figura III), la quebrada Herrera superó los límites en ambas épocas y el río Tambopata en Pueblo Viejo (Espinosa) y Madre de Dios (Capitanía) superan ampliamente los límites de 3000 UFC en época lluviosa (37.000 y 122.000 respectivamente), volviendo a la normalidad en época seca.

Características de las comunidades biológicas

Fitoplancton y zooplancton

En total se registraron 47 especies de fitoplancton en época seca (Bacillariophyta: 24 spp, Chlorophyta: 4 spp, Chrysophyta: 2 spp, Cyanophyta: 12 spp y Euglenophycota: 5 spp) y 41 en época lluviosa (Bacillariophyta: 18 spp, Chlorophyta: 13 spp y Cyanophyta: 10 spp). Para el zooplancton se registraron 19 especies en época seca, distribuidas en los siguientes Phylla: Arthropoda (1 sp), Ciliophora (1 sp), Nemata (1 sp), Protozoa (6 spp) y Rotifera (10 spp). Para la época seca se identificaron 22 especies: Arthropoda (3 spp), Nemata (1 sp), Protozoa (6 spp), Rotifera (11 spp) y Tardigrada (1 sp).

Para el zooplancton el lago Túpac Amaru presentó los mayores índices de abundancia y riqueza, considerando ambos tipos de estaciones

y épocas, seguido por la quebrada Herrera. Los protozoarios Aconchulinida y Arcellinida fueron dominantes en el estudio presente en todas las estaciones, exceptuando Capitanía y Herrera en época lluviosa.

Macroinvertebrados

El estudio de los macroinvertebrados contabilizó un total de 1928 especímenes distribuidos en tres phyla (Arthropoda, Annelida y Mollusca), 7 Clases, 13 Órdenes, 41 Familias y 57 especies, en época lluviosa y ocho Clases, 15 Órdenes, 34 Familias y 47 especies en época seca. En época lluviosa se contabilizaron 1322 individuos y 19 especies frente a los 606 ejemplares y 22 especies en la época seca.

De acuerdo a los índices de calidad del agua para las taxa de macroinvertebrados (EPT y BMWP) la quebrada Chonta, Loboyoc y Herrera (por este orden) representan los cuerpos de agua con mejor calidad, siendo el río Madre de Dios (Capitanía) y el Tambopata (Espinosa) los de menor calidad. Así, la Quebrada Chonta presentó los mayores valores de riqueza de especies para ambas épocas y las estaciones bajo la ciudad para los dos grandes ríos, fueron los menos diversos (Tabla V).

Figura III. Índice de coliformes fecales totales (en escala logarítmica) en cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú) en épocas seca y lluviosa. Con una línea de puntos se marca el valor de los 3000 UPC, límite legal vigente en Perú para este parámetro.

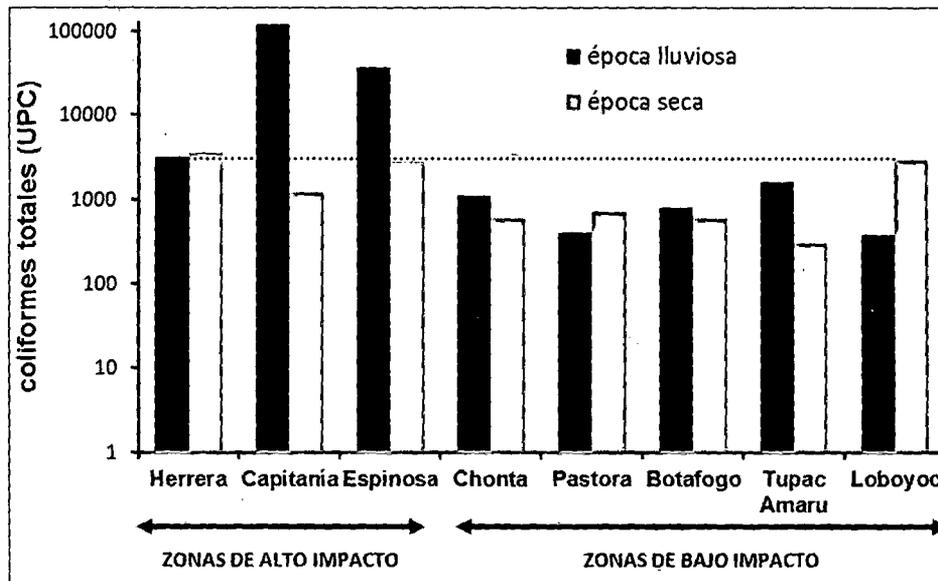


Tabla III. Valores medios de los parámetros descriptores de las diferentes comunidades biológicas en áreas perturbadas y sin perturbar, durante el periodo seco y el periodo lluvioso del entorno del Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú). Se muestra el valor del estadístico F, tras la comparación de los mismos, mediante respectivos ANOVAs. Solo los peces fueron estadísticamente sensibles al efecto de los factores impacto y estación.

		Zonas de bajo impacto		Zonas de alto impacto		F
		Seca (n=5)	Lluviosa (n=5)	Seca (n=3)	Lluviosa (n=3)	
Fitoplancton	N	274.0±194.6	63.0±23.5	170.0±105.0	183.3±51.7	1.2
	S	6.8±1.8	5.2±1.0	10.7±6.2	9.3±2.3	0.7
	H'	2.3±0.2	2.0±0.3	2.8±0.7	2.7±0.4	0.9
	J	0.9±0.1	0.9±0.0	1.0±0.0	0.9±0.0	0.6
Zooplancton	N	88.0±37.9	96.0±83.6	60.0±45.1	46.7±13.3	0.5
	S	5.2±1.9	3.6±1.6	4.3±2.8	4.3±1.2	0.2
	H'	1.8±0.6	1.1±0.3	1.3±0.9	1.9±0.5 [†]	0.5
	J	0.8±0.2	0.7±0.2	0.6±0.3	1.0±0.0	0.4
Macroinvertebrados	N	116.0±69.2	100.8±41.8	8.7±5.7	272.7±218.4	1.2
	S	12.8±5.4	15.0±5.2	3.7±0.9	11.0±7.0	0.6
	H'	2.1±0.7	2.4±0.5	1.7±0.3	1.6±0.4	0.4
	J	0.6±0.2	0.7±0.1	0.9±0.1	0.6±0.0	1.3
	EPT%	11.1±8.7	11.9±5.1	25.0±25.0	7.3±3.7	0.1
Peces	N	101.8±39.9	55.0±7.9	157.0±143.2	3.0±2.5	4.2*
	S	16.8±3.7	20.6±2.9	5.7±2.9	2.3±1.9	6.9**
	H'	2.0±0.3	3.8±0.3	0.8±0.7	0.6±0.6	12.2***
	J	0.7±0.1	0.9±0.0	0.4±0.3	0.2±0.2	4.3*

*p<0.05; **p<0.01; ***p<0.0001

Tabla IV. Calidad de las Aguas de diferentes cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú) según los índices BMWP y %EPT, basados en macroinvertebrados acuáticos.

	IMPACTO	BMWP		%EPT			
		lluviosa	seca	lluviosa	seca		
Capitanía	Bajo	Crítica	Crítica	Mala	0,00	Muy buena	75,00
Espinoza	Bajo	Muy crítica	Muy crítica	Mala	11,11	Mala	0,00
Herrera	Bajo	Buena	Muy crítica	Mala	10,91	Mala	0,00
Botafogo	Alto	Muy crítica	Muy crítica	Mala	0,00	Mala	0,00
Chonta	Alto	Buena	Buena	Regular	27,47	Regular	45,45
Lago Túpac	Alto	Aceptable	Aceptable	Mala	5,05	Mala	5,87
Loboyoc	Alto	Dudosa	Dudosa	Mala	19,70	Mala	4,23
Pastora	Alto	Muy crítica	Muy crítica	Mala	7,14	-	-

Ictiofauna

En total se capturaron 1255 ejemplares de peces distribuidos en seis órdenes, 27 familias y 126 especies. Predominaron los órdenes Characiformes (peces de escamas pequeñas sin espinas en las aletas) con 61 especies y 536 individuos, Siluriformes (bagres, peces de cuero) con 43 especies y 565 individuos, Perciformes (corvinas y bujurquis) con 8 especies y 20 ejemplares, Gymnotiformes (macanas y peces eléctricos), con 5 especies y 60 especímenes.

Para peces, la playa Botafogo, en el río Tambopata, mostró el mayor número de especies registradas en época seca (28), mientras la quebrada Loboyoc fue la estación de muestreo más rica en época de lluvias (31). Se observó un aumento en el número de capturas en la época seca con respecto a la época lluviosa (972 frente a 283 en época lluviosa). Sin embargo, el valor de riqueza de especies fue mayor en época lluviosa (89 frente a 60 en época seca). La quebrada Loboyoc mostró el mayor índice de diversidad Shannon ($H'=4.64$) y la comunidad más equilibrada, para un total de 7 especies registradas en época seca y 31 en época lluviosa.

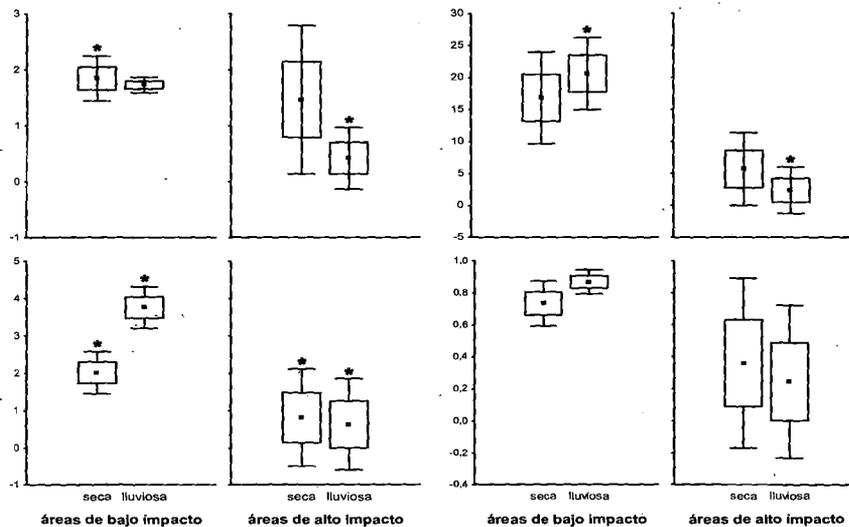
Las especies frecuentes con más capturas fueron *Pimelodella cristata*, (446 capturas), *Steindachnerina guentheri* (77 capturas) y *Serrapinus heterodon* (66 capturas). Tan solo *P. cristata* supuso 36% del total de capturas para todo el estudio. Otras especies importantes en cuanto número de capturas fueron *Thoracocharax stellatus*, *Parodon pongoensis*, *Eigenmannia virescens*, *Knodus savannensis* y *Odontostilbe fugitiva*.

En este estudio se han registrado tres nuevas citas para la cuenca peruana del río Madre de Dios: el bagre *Duopalatinus peruanus*, la carachama *Spatuloricaria aff. puganensis* y el canero *Denticetopsis seducta*.

Descriptorios de la comunidad: N, S, H' y J

Ninguno de los parámetros estructurales analizados de las comunidades de fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados mostró diferencias significativas entre localidades sometidas a diferente impacto, en condiciones ambientales secas o lluviosas (Tabla III). El comportamiento de las mismas fue globalmente homogéneo y no discriminador. Los peces fueron la excepción, respondiendo fuertemente, de manera estadísticamente significativa, al efecto de ambos factores. La riqueza de especies (S) y la diversidad de Shannon (H') fueron los parámetros sensibles (Figura IV). En el primer caso, se registraron más especies en áreas no perturbadas, que en áreas perturbadas, durante la época lluviosa (test post-hoc de Tukey HSD para muestras desiguales, $p<0,03$), pero no en ningún otro caso ($p>0,07$). La H' de Shannon fue más sensible aún. El valor de este parámetro en áreas no perturbadas durante la época lluviosa fue significativamente mayor que en los tres casos restantes (bajo impacto seco: $p<0,03$; alto impacto seco: $p<0,005$ y alto impacto lluvioso: $p<0,004$) (Figura IV). En el caso de la abundancia de peces (N) y el índice de equitatividad, aunque en apariencia mostraban diferencias significativas (Tabla III), la aplicación del test post-hoc de Tukey, no detectó contrastes significativos en ningún caso.

Figura IV. Efecto de la perturbación humana, alta o baja, y la época del año, seca o lluviosa, sobre cuatro parámetros descriptores de la comunidad de peces de diferentes cuerpos de agua del entorno de Puerto Maldonado (Madre de Dios, Perú). Se marcan con un asterisco las categorías que presentan diferencias significativas en un test post-hoc (test de Tukey HSD para muestras con N desigual). Solo la riqueza de especies (S) y el índice de Shannon (H') se muestran sensibles al efecto de los dos factores analizados. El índice de abundancia (N) es logarítmico.



Discusión

Los estudios básicos que integran datos físico-químicos con índices biológicos de las comunidades acuáticas son un importante aporte para el conocimiento y manejo de los recursos hídricos. Este estudio ha generado una importante base de datos que en muchos casos no es fácil interpretar en términos ecológicos, porque casi no existen precedentes que permitan comparaciones o aporten explicaciones a los patrones observados. Muchos de esos datos podrán ser mejor interpretados si se contrastan con otros estudios que se realicen en el futuro. Así se podrá discernir, por ejemplo, entre fluctuaciones naturales y antrópicas.

Características físico-químicas del medio acuático

Globalmente el medio acuático analizado presentó una homogeneidad estadística muy notable. Aunque el hábitat de los distintos cuerpos de agua fuese marcadamente diferente (ríos, quebradas, lagos y cochas), los parámetros

físico-químicos empleados para la caracterización de cada uno de ellos presentaron una baja capacidad de discriminación. Salvo un indicador directo de actividad humana, el índice de coliformes totales, los demás no mostraron diferencias, ni a lo largo del espacio, ni a lo largo del tiempo. De aquí se deduce que será necesario ampliar estos estudios, incorporando si es posible, otros parámetros más sensibles, tanto a la actividad humana, como a las variaciones no antrópicas, para caracterizar con precisión este tipo de medios.

Considerando los diferentes parámetros físicoquímicos uno a uno se pueden realizar diferentes apreciaciones sobre las razones que pueden justificar las pautas observadas en cada uno de ellos. En cuanto al pH, se registró una tendencia a su aumento en el canal de los ríos con respecto a los pequeños tributarios. El factor determinante en este proceso debe ser la materia orgánica en suspensión proveniente

de la descomposición vegetal. Pero en este caso, la geología de la cuenca quizás juegue un papel importante dentro de este proceso (Sioli 1984). La quebrada Loboyoc presentó un característico pH ácido -el menor de todas las estaciones- propio de su condición de agua negra, cargada de materia orgánica procedente de la vegetación riparia. Existe una correlación entre la profundidad de los cauces y los niveles de oxígeno disuelto, lo que justificaría que los ríos Tambopata y Madre de Dios, los más profundos, sean también los más oxigenados de los cursos de agua estudiados. El rango de conductividad observado aquí está dentro de los valores habituales de la cuenca del río Madre de Dios, inferior al registrado, por ejemplo, en los ríos Tahuamanu y Las Piedras, que pueden alcanzar los 200 $\mu\text{s cm}^{-1}$ (Maco-García 2007).

Atendiendo a los parámetros abióticos, se puede afirmar que el conjunto de cuerpos de agua considerado en este estudio, así como el periodo de muestreo, resultan insuficientes para alcanzar alguna conclusión definitiva sobre su funcionamiento ecológico. Además conviene recordar las grandes variaciones que estos

sistemas sufren como consecuencia de fuertes lluvias esporádicas, que tienden a disminuir los valores de conductividad, neutralizar el pH o elevar la turbidez entre otras repercusiones.

El agua de lluvia transporta por escorrentía superficial las aguas residuales urbanas, normalmente estancadas, hasta los cuerpos de agua del entorno de la ciudad, aumentando los índices de contaminación con respecto a la época seca. En esta última el agua suele venir más limpia de origen, sin vertidos urbanos. Son las coliformes totales, el índice que detecta claramente estos episodios contaminantes. Se observaron carencias en materia de aguas residuales urbanas en zonas que deberían ser corregidas para evitar riesgos de salud pública. El uso recreativo de un cuerpo de agua contaminado puede generar enfermedades graves en los bañistas debido a la ingesta accidental de agua. Estos índices se encuentran reglados en el Perú (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM).

Estructura de las comunidades biológicas

A diferencia de los parámetros físico-químicos (incluyendo entre ellos a los coliformes fecales, que aunque sean seres vivos, su empleo e interpretación tiene que ver directamente con el estado del sistema y no con las características intrínsecas de un grupo de organismos), los parámetros estructurales de las comunidades investigadas si respondieron estadísticamente a la heterogeneidad espacio-temporal analizada, inducida por la actividad antrópica. Concretamente la comunidad de peces, su riqueza y su diversidad estimada con el índice H' de Shannon, se vieron afectados en áreas perturbadas por impactos antrópicos. Las otras tres comunidades (fitoplancton, zooplancton y macroinvertebrados acuáticos) no mostraron esta sensibilidad.

La estructura de la comunidad de fitoplancton depende del tiempo de residencia del agua, de tal forma que su biomasa está directamente relacionada con este factor. La estación lago Tupac Amaru es de carácter léntico, por tanto presenta una menor tasa de renovación y un mayor tiempo de residencia -es el agua más antigua-, también, por lo tanto, la más cercana a eutrofizarse (Townsend 2006). El río Tambopata en Botafogo, por contra, presenta una elevada tasa de renovación del agua y una escasa población de fitoplancton. Las diatomeas (Bacillariophyta) estuvieron presentes en todas las estaciones y fueron el grupo algal dominante,

suponiendo aproximadamente la mitad de todos los individuos analizados. Si se compara la abundancia de esta división en otras subcuencas de selva baja dentro de Madre de Dios, como los ríos Tambopata (32%) o Tahuamanu (27%), se aprecia la existencia de una correlación directa entre la condición naciente y la abundancia relativa de diatomeas (Araújo-Flores 2010, Araújo-Flores 2011). Así el tramo de la carretera Interoceánica que cubre el trayecto Inambari-Puerto Maldonado que combina cuencas propias de cabecera (río Inambari y quebrada Jayave) junto con cursos propios de llanura (ríos Madre de Dios y Tambopata) presenta un valor intermedio en la abundancia relativa de diatomeas (64%) mientras el área de Pilcopata (cabecera de Madre de Dios) muestra un 99% (EISA IrsaSur tramo III 2010, Araujo-Flores 2012). En este estudio las diatomeas supusieron el 43% en periodo seco frente al 65% en época lluviosa. Las cianofitas se registraron en menor medida en los grandes cauces de los ríos (Tambopata y Madre de Dios). En época seca la familia Desmidiaceae solo se registró en la Quebrada Herrera, estando sin embargo presente en todas las estaciones en época lluviosa, exceptuando las dos correspondientes al río Madre de Dios (Capitania y Pastora).

Esta familia perteneciente a la división Charophyta, está constituida por microalgas características de aguas ácidas. Las especies de Gomphonema -reportada tan solo en la quebrada Herrera en época seca- también son tolerantes a polución orgánica y es precisamente esta estación la única que superó los límites establecidos para coliformes fecales en ambas estaciones del año. Las cabeceras presentan aguas más ácidas y de coloración negra que generalmente se asocia con la descomposición de materia orgánica aportada de forma natural por el bosque (Sioli, 1984) o también por vertidos antrópicos. Surirella -reportada en Loboyoc, Herrera y lago Túpac Amaru- es un género que prefiere aguas neutras a ligeramente alcalinas y puede tolerar una mediana polución orgánica y presenta especies típicas para la Amazonía y los Andes. La presencia del Phylum Nemata se relaciona con la disponibilidad de materia orgánica en el medio.

Los índices basados en macroinvertebrados acuáticos permiten estimar de manera indirecta el estado de salud de los cuerpos de agua (Prenda & Gallardo 1996). No todos estos índices vienen explicados por la acción antrópica. Por ejemplo, los odonatos se

caracterizan por desarrollarse en aguas lénticas y poco profundas, siendo indicadores de aguas limpias a ligeramente contaminadas; la riqueza de odonatos en las Quebradas Herrera, Chonta, Loboyoc y el lago Tupac Amaru puede ser explicada por la gran adaptabilidad de estos organismos a diferentes hábitats y condiciones ambientales, incluyendo sitios con ligera eutrofización (Arango y Roldán 1983). El Orden Ephemeroptera se caracteriza por poseer especies con baja tolerancia a la contaminación, tales como la mayoría de las pertenecientes a las familias Baetidae y Leptohyphidae, muy abundantes en Herrera y Chonta. En general viven en sitios con buena oxigenación, en sustratos de piedras y arena, característicos de los sitios donde se colectaron dichas familias (Roldán 2003). Los miembros de la familia Baetidae también pueden vivir adheridos a la vegetación sumergida y tolerar cierto grado de contaminación (Roldán 1988, Torres et al. 2006). Es una de las familias más abundantes en ecosistemas acuáticos amazónicos. El orden Ephemeroptera estuvo bien representado en todos los cuerpos de agua exceptuando los grandes ríos Tambopata y Madre de Dios. El Orden Coleóptera es típico de zonas ribereñas donde nadan libremente o sobre la vegetación (Anzola & Pinilla, 1994). Ejemplares adultos y larvas del mismo orden fueron colectados en aguas quietas, especialmente en Chonta, y esporádicamente en las demás estaciones. Algunas de sus familias son indicadoras de aguas limpias como Elmidae. Los miembros de la familia Dytiscidae se caracterizan por ser depredadoras. Es posible que su baja abundancia en este estudio se deba a la poca cantidad de presas.

La comunidad de peces fue la más interesante por ser la única sensible a las perturbaciones antrópicas. Las localidades de Botafogo y Pastora (Tambopata y Madre de Dios, respectivamente) fueron las que contuvieron más riqueza y abundancia (28 y 20 especies respectivamente), a excepción de la elevada riqueza observada en Loboyoc, en época lluviosa, lo que apunta a la necesidad de aumentar el esfuerzo de muestreo para caracterizar esta interesante corriente de agua negra. Ambos ríos -Tambopata y Madre de Dios- son los de mayores dimensiones y los de mayor contenido energético potencial, lo que explica su mayor riqueza íctica (Vannotte et al. 1980, Guégan et al. 1998).

Las plantas ribereñas en la orilla de Espinosa (Tambopata) impidieron el arrastre en ambas estaciones, así como en Capitanía en época lluviosa. Lago Túpac Amaru y quebrada Chonta son los siguientes cuerpos de agua más diversos. Factores ambientales, como la físico-química del agua y la disponibilidad de alimento, condicionan la composición de las comunidades de peces (Gerson-Araujo 2009). Esto puede ayudar a conocer mejor el estado de conservación de los cuerpos de agua, caracterizando así las fluctuaciones anuales que ocurren de forma natural y detectando posibles anomalías en el sistema. Se observó un claro aumento en la abundancia de registros de ictiofauna en todas las estaciones para la época seca. En el caso de Capitanía, además, se observó una exagerada abundancia, siendo responsable una única especie (*Pimelodella cristata*), que supuso el 92 % de las capturas para esa estación. Esto denota un desbalance en la comunidad que se traduce en los valores más bajos de diversidad (H') y equidad (J) para todo el estudio. Estos mismos valores muestran a la quebrada Herrera y a Loboyoc muy cambiantes. La presencia de unas pocas especies de peces generalistas con una elevada abundancia se correlaciona habitualmente con ecosistemas deteriorados (Soto-Galera et al. 1998). En el caso de Herrera, el río Tambopata ejerce una gran influencia, represa las aguas y se interna en tierra firme aportando un aumento en la diversidad específica que recoge este estudio. El perfil que describen los grandes cuerpos de agua Botafogo, Pastora y Lago Tupac para el índice de equidad J no parece sufrir alteraciones durante el cambio de época lluviosa a época seca, sin embargo los cuerpos de agua menores como Herrera, Chonta y Loboyoc si sufren una marcada estacionalidad.

Es muy probable que las previsiones de especies para esta cuenca sean mucho mayores y estudios continuados podrían reportar nuevos registros e incluso especies aun no descritas para la ciencia (Carvalho et al. 2012).

Conclusiones y Recomendaciones

A la vista de los resultados obtenidos se puede concluir que los ríos Tambopata y Madre de Dios a su paso por la ciudad de Puerto Maldonado están sufriendo un deterioro ambiental que afecta a las comunidades acuáticas y que lo posicionan como los cuerpos de agua peor conservados de todos. Por otro lado las quebradas Chonta y Loboyoc, presentan los

índices de calidad mayor de todo el estudio, seguidos por el lago Túpac Amaru.

El deterioro ambiental de los ríos Madre de Dios y Tambopata a su paso por Puerto Maldonado es consecuencia de la presión antrópica. Se recomienda un seguimiento continuado de estos cursos de agua para normalizar su uso, a través de una reducción en los niveles de coliformes fecales procedente de aguas residuales de explotaciones ganaderas o de vertidos domésticos directos.

Existen playas de elevada afluencia de bañistas -Espinosa en Tambopata o Capitania - con índices de coliformes fecales hasta 40 veces superiores a lo permitido, que deben ser una prioridad en políticas correctoras. Sin embargo, el riesgo en Capitania no es tan alto puesto que no registra uso recreativo. La población no dispone de una planta de tratamiento de aguas residuales y la apertura de una mejoraría considerablemente los niveles de contaminación en el entorno de la ciudad.

Estos resultados indican un mayor grado de conservación de las comunidades de peces en las estaciones consideradas como no perturbadas o de bajo impacto, en términos de diversidad específica Shannon (H') y riqueza (S), así como un apreciable deterioro de las mismas, junto con elevados niveles de coliformes fecales en las zonas urbanas.

Agradecimientos

En primer lugar al Instituto de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente (INRENMA) dentro de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD) por la financiación para la realización de este estudio; a Jesús Alferez Flores por su apoyo en los trabajos de campo, a Junior A. Chuctaya y Dario Faustino (UNMSM) miembros también del grupo de investigación por sus consejos y ayuda en la identificación de la ictiofauna, al docente Mishari García Roca (UNAMAD), por su apoyo institucional, a Robin van Loon por el asesoramiento con la traducción al inglés, al Lic. Jaime Cuse Quispe por la revisión del manuscrito, a los asistentes Jesús Alexander Alferez Flores, Richard Lipa Mercado, Juan Carlos Medina Hullpa, Ruth Daza Mayo y Janet Cáceres Puma y finalmente a los pescadores Emilio Perdomo, Sergio y su familia en el lago Túpac Amaru.

Literatura Citada

- Alba-Tercedor, J. & Sánchez-Ortega, A. 1988. Un método rápido y simple para evaluar la calidad biológica de las aguas corrientes basada en el de Hellawell (1978). *Limnetica*, 4: 51–56.
- Alexandre, V. A., Esteves, K. E., & Moura & Mello, M. A. M. 2010. Analysis of fish communities along a rural-urban gradient in a neotropical stream (Piracicaba River Basin, São Paulo, Brazil). *Hydrobiologia*, 641, 97–114.
- Anzola R. & Pinilla G. 1994. El subsistema litoral de pequeños lagos artificiales en la microcuenca de la quebrada La Playa (Caldas, Boyacá) En: Pinilla, G. ed. *Memorias del Taller Seminario Taller de Limnología “Investigaciones Limnológicas recientes en Ecosistemas Acuáticos Tropicales”*. Diciembre 1 y 2 de 1994. Ed. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano (Colombia). 1994. p. 102-123.
- Arango MC, Roldán G. 1983. Odonatos inmaduros del departamento de Antioquia a diferentes pisos latitudinales. *Actualidades Biológicas*, 12: 91–105
- Araújo-Flores, J. 2010. Informe Hidrobiológico Reserva Nacional Tambopata y Parque Nacional Bahuaja-Sonene (Época Seca 2010) AIDER-SERNANP
- Araújo-Flores, J. 2011. Proyecto Hidrobiológico Río Tahuamanu – Madre de Dios – PERÚ. USAID, Universidad de Florida, Proyecto especial Madre de Dios.
- Araujo-Flores, J.M. (2012) Estudio hidrobiológico en la concesión de conservación Villa Carmen –Pilcopata (ACCA) Cusco y Madre de Dios, Perú. Technical report, Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) 64 p.
- Barthem, R.M. Goulding, B. Fosberg, C. Cañas & H, Ortega. 2003. Aquatic Ecology of the Rio Madre de Dios, Scientific bases for Andes Amazon Headwaters. Asociación para la Conservación de la Cuenca Amazónica (ACCA) / Amazon Conservation Association (ACA). Gráfica Biblos S.A., Lima, Perú. 117 pp.

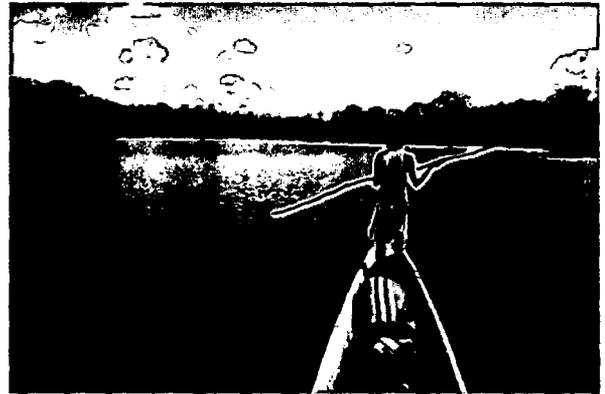
- Boyero, L., Ramírez, A., Dudgeon, E. & Pearson, R.G. 2009. Are tropical streams really different? *J. N. Am. Benthol. Soc.*, 28, 397–403.
- Carvalho, T. Araújo-Flores J., Espino J., Trevejo, G., Ortega, H., Jerep, F. C., Reis R. E. and Albert J. S. 2012. Fishes from the Las Piedras River, Madre de Dios basin, Peruvian Amazon. *Check List* 8(5): 973–1019.
- Chernoff, B & W, Willink. 1998. A Biological Assesment of the Aquatic Ecosystems of the Upper Rio Orthon Basin, Pando, Bolivia. *Bulletin of Biological Assesment* 15. Rapid Assesment Program. Conservation International, Field Museum, Museo Nacional de Historia Natural-Bolivia.
- Cleto-Filho, S. E. N. & Walker, I. 2001. Efeitos da ocupação urbana sobre a macrofauna de invertebrados aquáticos de um igarapé da cidade de Manaus/AM – Amazônia Central. – *Acta Amazon.* 31: 69 – 89.
- Dudgeon D., Arthington A.H., Gessner M.O. et al. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Review*, 81, 163–182.
- Duncan, J. R. & Lockwood. J. L. 2001. Extinction in a field of bullets: a search for causes in the decline of the world's freshwater fishes. *Biol. Conserv.* 102: 97–105.
- EISA. 2010. Corredor Vial Interoceanico Sur, Peru – Brasil. Tramo 3, CONIRSA 2010.
- Gerson-Araujo, F., Carvalho-Teixeira, B., Pires-Teixeira, T. 2009. Longitudinal patterns of fish assemblages in a large tropical river in southeastern Brazil: evaluating environmental influences and some concepts in river ecology. *Hydrobiologia* 618: 89–107
- Guégan, J.-F., Lek, S. & Oberdorff, T. 1998. Energy availability and habitat heterogeneity predict global riverine fish diversity. *Nature* 391: 382–384.
- Gutiérrez-Fonseca, P. E. & C. M. Lorion. 2014. Application of the BMWP-Costa Rica biotic index in aquatic biomonitoring: sensitivity to collection method and sampling intensity. *Rev. Biol. Trop.*, 62: 275-289.
- Huamán J., V. Chique & D. Madrid. 2014. Caracterización del Departamento de Madre de Dios. Banco Central de Reserva del Perú Sucursal Cusco. URL <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Cusco/madre-de-dios-caracterizacion.pdf>
- IUCN. 2008. IUCN Red List of Threatened Species. Available from: <http://www.iucnredlist.org> .23 June 2009.
- Maco-García J. Informe Hidrografía. Zonificación ecológica y económica del departamento de Madre de Dios. 2008. Gobierno Regional de Madre de Dios e Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonía Peruana
- Ministerio de Agricultura, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos Área de Aguas Superficiales. 2010. Estudio Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca Madre de Dios. URL: <http://www.ana.gob.pe/media/390258/diagnostico%20hidrolologico%20madre%20de%20dios.pdf>
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M & T Manuales y Tesis SEA. Volumen I. Zaragoza, España.
- Moya, N., E. Domínguez, E. Goitia & T. Oberdorff. 2011. Desarrollo de un Índice multimétrico basado en macroinvertebrados acuáticos para evaluar la integridad biológica en ríos de los valles interandinos de Bolivia. *Ecología Austral* 21: 135-147.
- Ortega H., Rengifo B., Samañez I. y Palma C. 2007. Diversidad y el estado de conservación de cuerpos de agua Amazónicos en el nororiente del Perú. *Rev. Peru. Biol.* 13: 189 - 193.
- Prenda J, Clavero M, Blanco-Garrido F, Menor A, Hermoso V. 2006. Threats to the conservation of biotic integrity in Iberian fluvial ecosystems. *Limnetica* 25: 377–388
- Prenda, J. and Gallardo-Mayenco, A. 1996. Self-purification, temporal variability and the macroinvertebrate community in small lowland Mediterranean streams receiving crude domestic sewage effluents. *Arch. Hydrobiol.* 136: 159–170.

- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia. Uso del método BMWP/Col. Primera Edición. Editorial Universidad de Antioquia. Colombia.
- Scullion, J. J., Vogt, K. A., Sienkiewicz, A., Gmur, S. J., & Trujillo, C. 2014. Assessing the influence of land-cover change and conflicting land-use authorizations on ecosystem conversion on the forest frontier of Madre de Dios, Peru. *Biol. Conserv.* 171: 247-258.
- Sioli, H. 1984. The Amazon, Limnology and landscape ecology of a mighty river and its basin. DR. W. Junk Publishers. Dordrecht.
- Soto-Galera, E., E. Daz-Pardo, E. Lopez-Lopez & J. Lyons. 1998. Fish as indicators of environmental quality in the Rio Lerma Basin, Mexico. *Aquatic Ecosystem Health & Management* 1: 267-276.
- Swenson, J.J., Carter, C.E., Domec, J.-C. & Delgado, C.I. (2011) Gold mining in the Peruvian Amazon: global prices, deforestation, and mercury imports. *PLoS ONE*, 6, e18875.
- Torres, Y., Roldan, G.; Asprilla, S. y Rivas, T.S. 2006.- Estudio preliminar de algunos aspectos ambientales y ecológicos de las comunidades de peces y macroinvertebrados acuáticos en el río Tuntunendo, Chocó, Colombia. *Rev. Acad. Colomb. Cienc.*, 30 (114): 67-76.
- Townsend, S. A. 2006. Hydraulic phases, persistent stratification, and phytoplankton in a tropical floodplain lake (Mary River, Northern Australia). *Hydrobiologia* 556: 163-179.
- Vannote, R. L., G. W. Minshall, J. R. Sedell & C. E. Cushing, 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 37: 130-137.
- Vörösmarty CJ, McIntyre PB, Gessner MO, et al. 2010. Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467: 555-61.

ANEXO FOTOGRAFICO



Río Madre de Dios a su paso por la ciudad de Puerto Maldonado



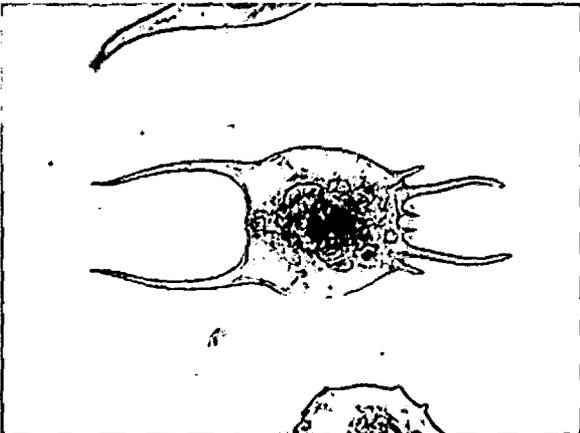
Vista del Lago Tupac Amaru



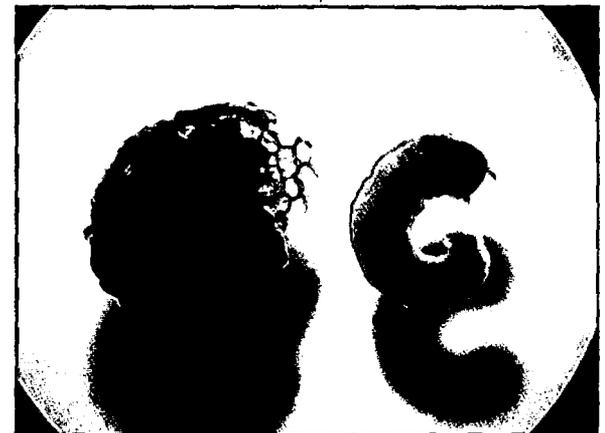
Pesca experimental de arrastre en el río Tambopata



Macana bufeo "*Rhaphichthys marmoratus*" en el lago Tupac Amaru



Ejemplar de fitoplancton



Ejemplar de macroinvertebrado acuático (bentos)