

Bioindicación de la calidad de los cursos de agua del valle central de Tarija (Bolivia) mediante macroinvertebrados acuáticos

Bioassessment of the quality of watercourses in the central Tarija valley (Bolivia) based on aquatic macroinvertebrates

David Cammaerts¹, Roger Cammaerts², Alain Riboux³, Manuel Vargas⁴ y François Laviolette⁵

RESUMEN

La calidad biológica de los cursos de agua de las cuencas de los Ríos Guadalquivir y Orosas del Departamento de Tarija fue evaluada por medio de una adaptación del índice biótico ASPT. Los valores indicadores de los taxones de macroinvertebrados acuáticos del Valle Central de Tarija fueron establecidos según su aparición a lo largo de un gradiente de contaminación. En las estribaciones de la Cordillera de Sama, las aguas de los afluentes del Guadalquivir son de calidad biológica buena o muy limpia. En los llanos ubicados cerca de las estribaciones y a cierta distancia de los centros urbanos importantes, la calidad de las aguas es generalmente aceptable. Las aguas que entran en la represa de San Jacinto son, por lo menos, de calidad aceptable. Por el contrario, la calidad de las aguas a lo largo del curso central del Río Guadalquivir es mala, debido principalmente a la contaminación orgánica por las aguas servidas. Se sugiere que un monitoreo regular por medio de este índice, combinado con la implementación de una base de datos sobre la calidad de los ríos del Valle Central, permitiría orientar y seguir con facilidad remediaciones futuras.

Palabras claves: bioindicación, calidad del agua, macroinvertebrados, índice ASPT, Valle Central de Tarija.

ABSTRACT

The biological quality of watercourses in the Guadalquivir and Orosas Basins of the Tarija Department was assessed using the ASPT biotic index. The taxa indicator values were adapted to the aquatic macroinvertebrates of the Central Valley by scoring the local fauna along a gradient of organic pollution. The streams in the Cordillera de Sama foothills exhibit a high biological quality. The quality of the streams in the plain adjoining the foothills and those not influenced by urban centres is often good. The waters flowing into San Jacinto reservoir are of at least good quality. In contrast, water quality is bad along the central course of the Guadalquivir River, due to organic pollution with domestic waste waters. Regular monitoring using the ASPT index, along with the development of a data base on the quality of the watercourses of the Central Valley, would be a valuable approach to providing advice and evaluating future remediations.

Key words: bioassessment, water quality, macroinvertebrates, ASPT index, Central Tarija Valley.

¹ Programme Eau, Cooperation Technique Belge, Kinshasa, RDC; E-mail: david.cammaerts@btcctb.org

² Université Libre de Bruxelles, CP 160/13, avenue F.D. Roosevelt 50, B-1050 Bruxelles, Belgique; E-mail: rcammaer@ulb.ac.be y Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois, DGRNE, Gembloux, Belgique; E-mail: R.Cammaerts@mrw.wallonie.be

³ Centre de Recherche de la Nature, des Forêts et du Bois, DGRNE, Gembloux, Belgique; E-mail: A.Riboux@mrw.wallonie.be

⁴ Calle Toledo 396, barrio Andalucía, Tarija, Bolivia

⁵ Division Nature et Forêts, DGRNE, Jambes, Belgique; E-mail: F.Laviolette@mrw.wallonie.be

INTRODUCCIÓN

El Valle Central del departamento de Tarija está ubicado en el extremo sur de Bolivia, cerca de la frontera con Argentina. Este se encuentra en una zona deficitaria en agua (ZONISIG, 2001) debido a un clima de tipo semi-árido, por lo tanto, los ríos y las aguas subterráneas constituyen recursos muy valiosos tanto para el consumo humano como para el riego. Actualmente, el desarrollo de las actividades humanas en el Valle Central ocasiona deterioro de la calidad de estos recursos hídricos. Las causas de contaminación de las aguas superficiales en la región del Valle Central son esencialmente de origen agrícola y doméstico (ZONISIG, 2001; Brandt, 2006a). Los efluentes agrícolas y el retorno de las aguas de riego están cargados de nitrógeno y contribuyen a la eutrofización de las aguas superficiales y subterráneas. Numerosas comunidades rurales vierten sus aguas servidas directamente en los ríos. Sin embargo son las zonas urbanas que contribuyen más a la contaminación, por el vertido de las aguas domésticas («aguas negras» y «aguas grises»).

El Río Guadalquivir, que atraviesa la ciudad de Tarija, recibe directa o indirectamente las aguas servidas de 140 000 habitantes de la ciudad. Una parte de las aguas servidas de Tarija son tratadas en las lagunas de oxidación, cuyas aguas depuradas son vertidas en el Guadalquivir a unos kilómetros río abajo de la ciudad. Sin embargo, el volumen de aguas para tratar y la profundidad de las lagunas son tales, que la eficacia de esta depuración es baja (COSAALT, com. pers.). En vista de que el Guadalquivir sigue siendo la fuente principal de agua para buena parte de la población local, algunos actores locales (universidades, ONGs medioambientales, COSAALT, autoridades) recientemente han llamado la atención sobre esta problemática medioambiental y de salud humana. Debido al crecimiento de las zonas urbanas del departamento, se debe esperar una multiplicación de los impactos industriales y domésticos sobre los ecosistemas acuáticos. Por lo tanto, hay una necesidad evidente de herramientas apropiadas para la evaluación de la calidad ecológica de las aguas con fines de implementar medidas eficaces de monitoreo y rehabilitación de los ecosistemas acuáticos (Fossati *et al.*, 2006).

Hasta hace algún tiempo, pocos trabajos se han dedicado a desarrollar un sistema de evaluación de la calidad del agua por medio de bioindicadores adaptados a la realidad boliviana, es decir de fácil utilización y rápidos para implementar. De hecho, no existe todavía en Bolivia un

sistema estandarizado de bioindicación para el control de la calidad del agua (Fossati *et al.*, 2006). Hagamos notar que Goitia *et al.* (2001) demostraron la relación cuantitativa entre el grado de contaminación orgánica del Río Rocha que atraviesa la ciudad de Cochabamba y su fauna de macroinvertebrados bénticos. Brandt (2006 a, b) realizó una evaluación de la calidad del agua de varios ríos del Valle Central del Departamento de Tarija por medio de un índice medioambiental y del índice biótico de Hilsenhoff. Este índice biótico está basado sobre la sensibilidad a la polución de los macroinvertebrados bénticos norteamericanos, que puede ser diferente a la de taxones bolivianos.

Moya y Oberdorff (2006) y Moya *et al.* (2007) han desarrollado un índice multimétrico de integridad biótica para la cuenca del Río Chipiriri en el Departamento de Cochabamba. Sin embargo, la adaptación de este índice a la región del Valle Central de Tarija sería difícil debido a las diferencias importantes en las condiciones medioambientales de estas dos ecoregiones (Moya, com. pers.). En consecuencia, hemos desarrollado nuestra propia metodología para llegar a establecer un diagnóstico fácil de la calidad biológica de los ríos del Valle Central de Tarija.

Nuestro trabajo tiene el objetivo de realizar un diagnóstico y una cartografía de la calidad de los cursos de agua del Valle Central del departamento de Tarija.

MÉTODOS

Área de estudio

El Valle Central del departamento de Tarija consiste en una depresión lacustre antigua rellenada durante el Pleistoceno tardío (- 40 000 a - 20 000 BP). Actualmente, está muy afectado por la erosión de los sedimentos no estabilizados (Coltorti *et al.*, 2007). El Valle Central está caracterizado por un clima de tipo semi-árido (PEA-Bermejo, 2005). Las precipitaciones se concentran entre octubre y abril (máximo: 150 a 200 mm de agua en enero).

La ladera occidental del Valle Central tiene una buena disponibilidad de agua, gracias a la cordillera de Sama que constituye el flanco oriental de los Andes, la cual genera precipitaciones importantes (alrededor de 1 000 mm/año) en sus contrafuertes. Estas precipitaciones alimentan un gran número de fuentes permanentes cuyas escorrentías son captadas en las estribaciones para proveer el agua potable y de riego en toda la parte occi-

dental del Valle Central. El período seco se extiende desde mayo hasta septiembre, por lo tanto, los caudales son reducidos (estiaje) o nulos y algunos ríos no son permanentes. La agricultura sigue siendo la actividad económica principal respecto al empleo generado, particularmente en la región del Valle Central, que es zona de cultivos semi-intensivos y extensivos. El Valle Central está ubicado en la cuenca del Río Guadalquivir, que nace en la cordillera de Sama (Fig. 4). Esta cuenca cubre una superficie de 3 312 km² (PEA-Bermejo, 2005) y forma parte del sistema hídrico del Río Bermejo que es, con el Pilcomayo, uno de los principales afluentes del Río Paraná, él cual llega al Océano Atlántico en el estuario llamado Río de la Plata.

El sistema BMWP

En el sistema BMWP, cada familia recibe un puntaje (valor entero, de uno a diez) que corresponde a su sensibilidad a la polución por materia orgánica, en otras palabras a su tolerancia a una reducción de la concentración de oxígeno disuelto en el agua, puesto que la degradación de la materia orgánica por las bacterias reduce esa concentración. La suma de los puntajes (también llamados valores indicadores) de las familias presentes en un sitio, es el resultado del índice BMWP de este sitio.

Dentro de cada familia, pueden existir especies con diferentes umbrales de sensibilidad a la polución. Por lo tanto, por precaución, se atribuye a cada familia un puntaje correspondiente a la especie más resistente, identificada por la primera aparición de un taxón de la familia a lo largo de un gradiente decreciente de contaminación. En consecuencia, el resultado del índice BMWP es la suma de los valores mínimos de las familias y corresponde al valor mínimo de la calidad ecológica del sitio estudiado, lo que evita sobrestimar la calidad de un sitio.

El resultado del índice BMWP varía con el número de taxones que depende de la calidad intrínseca del agua (por una parte, pocos taxones son resistentes y por otra parte, un agua muy pura es poco biógena porque contiene pocos elementos nutritivos) y varía con la diversidad estructural del medio ambiente acuático (número de hábitats). Las características geográficas, altitudinales (climáticas), geológicas e hidrológicas influyen también sobre la composición faunística. El índice BMWP permite por lo tanto, establecer un diagnóstico de la calidad ecológica global de un ambiente acuático, con todas las causas mezcladas, integrando mediante la diversidad

taxonómica, no sólo el nivel de contaminación del agua sino también otras nociones ecológicas menos identificables.

La interpretación del índice BMWP de un sitio-test será mejor comparando con sitios no impactados, llamados sitios de referencia, que tengan características ecológicas e hidromorfológicas similares.

El valor del índice BMWP depende también del esfuerzo de muestreo, el cual no es estrictamente normalizado. Para ponderar este efecto, se calcula el índice ASPT (Average Score Per Taxon) dividiendo el valor del índice BMWP de la muestra por el número de taxones recolectados. Por lo tanto, el ASPT traduce el promedio del límite inferior de la sensibilidad a la polución de los taxones de un sitio, y es una medida de la contaminación orgánica del medio ambiente, independiente del esfuerzo de muestreo. En el Valle Central, esta información es más valiosa que la medición de la calidad ecológica del medio ambiente, porque la preocupación principal de los habitantes y gestores es la calidad intrínseca del agua de los ríos. Por lo tanto, estableceremos la calidad del agua de los sitios muestreados basándonos sobre la métrica ASPT.

Muestreo

Los muestreos fueron efectuados en la medida de lo posible, río abajo de las masas de agua, siendo definida esta como la red hidrológica que drena la cuenca ubicada río arriba de una confluencia. Muestras río abajo y río arriba de los principales centros poblados permitieron medir la amplitud de la contaminación urbana en algunos sitios. Finalmente, varios sitios ubicados río abajo de una fuente de contaminación permitieron medir la capacidad de autodepuración de los ríos. La estandarización del muestreo con los índices BMWP y ASPT se limitó a la recolección de una muestra representativa de la comunidad de macroinvertebrados acuáticos en todos los hábitats presentes en el sitio estudiado. Se recolectaron los invertebrados fijados a las piedras, briofitas y espermatofitas sumergidas mediante una pinza, o lavando las piedras sumergidas en un balde, recorriendo una superficie de unos 2 m², tanto en medio lótico (≥ 30 cm/s) como léntico (≤ 30 cm/s). Luego se muestreó sobre cascajo, arena, lodo y materia vegetal muerta con una malla con mango tipo buitron (también llamado en francés: haveneau) de apertura de malla 0.5 mm, colocada verticalmente, removiendo el sustrato delante de la malla por medio de desplazamientos energéticos del pie (kick-sampling), o sea en varios lugares

no adyacentes o desplazando la malla sucesivamente hacia río arriba. Alrededor de 2 m² del lecho fueron así muestreados, tanto en medio lótico como léntico. La parte sumergida de las helófitas, las raíces y los fondos blandos donde la corriente es lenta fueron muestreados luego, recorriéndolos con la malla. Se recolectaron también los invertebrados que nadan o caminan en la superficie del agua.

La muestra fue lavada en el sitio, separando los invertebrados vivos de los substratos minerales y vegetales. Con el fin de normalizar el esfuerzo de muestreo en la medida posible, la recolección y el lavado de la muestra en campo fueron limitados a dos horas por una persona. Los invertebrados fueron conservados en alcohol 70% para ser examinados en laboratorio con lupa binocular. Las coordenadas geográficas (WGS 84) y la altura del sitio fueron medidas por medio de un GPS Garmin 'e Trex Summit ®'.

Se registraron en el lugar diversos parámetros medioambientales, incluyendo las consecuencias visibles de impactos antrópicos. En algunos casos, los nitratos y fosfatos fueron dosificados por colorimetría por medio del aqua-test SERA ®. Dosificaciones de colibacilos fecales fueron efectuadas en el laboratorio de COSAALT (Tarija). 120 muestras fueron recolectadas en 103 sitios diferentes. 89 sitios ubicados en ríos permanentes han sido muestreados durante el estiaje, en temporada seca o al inicio de la temporada lluviosa de 2004 (33 sitios), 2006 (45 sitios) y 2007 (11 sitios). 17 de estos sitios fueron muestreados nuevamente en 2005, 2006 y 2007, porque las muestras anteriores habían sido hechas durante o después de una riada, o para estudiar el impacto de una riada o la variabilidad de los resultados. 14 otras muestras fueron tomadas en ríos temporarios al inicio de los períodos lluviosos 2006 y 2007. Los Anexos 1 y 2 localizan las 120 muestras realizadas en las cuencas de los Ríos Guadalquivir y Orosas e indican los valores de las métricas del sistema BMWP-ASPT obtenidos. La figura 4 presenta la cartografía de los sitios muestreados, con la excepción de dos sitios artificiales, los sitios 659 y 727.

Construcción del puntaje de los taxones

Para tomar en cuenta las particularidades ecológicas y faunísticas del Valle Central, hemos fijado los valores indicadores de las familias en función de la aparición de las mismas en una serie creciente de calidades de agua, desde los colectores de aguas servidas de los centros urbanos hasta los medios no alterados, como

arroyos de cabeceras, que sirven para el agua potable. Una primera clasificación visual de estos ríos fue realizada en campo en función de impactos observados y diferentes parámetros medioambientales asociados a diversos grados de contaminación orgánica (presencia de fondos bacterianos negros, de bacterias filamentosas, de excrementos, de jabón, abundancia de algas verdes filamentosas, olor, color, transparencia del agua). Esta clasificación provisoria delimitó cinco clases de calidad de agua.

76 muestras correspondientes a ríos permanentes, cuya clasificación visual en las cinco clases definidas temporalmente era bastante fácil para un observador experimentado, fueron elegidas para adaptar el puntaje de los taxones en el sistema BMWP. La observación de la composición faunística de estas muestras permitió identificar la primera aparición de cada familia de invertebrados acuáticos a lo largo de la serie creciente formada por esas cinco clases de calidad de agua. Un puntaje sobre diez está atribuido a cada familia según su posición en esta serie (uno = taxones más resistentes a la polución; diez = taxones más sensibles a la polución). Por ejemplo, una familia que aparece en los datos faunísticos a partir de la cuarta clase provisoria de calidad, recibirá el puntaje siete u ocho según aparezca abajo de esta clase (río de menor calidad dentro de la clase) o arriba.

El puntaje de sensibilidad a la polución atribuido a cada grupo taxonómico retenido en el índice, es así adaptado a los ríos del Valle Central de Tarija. El puntaje de ochos familias menos comunes (Sciomyzidae, Heteroceridae, Hydraenidae, Dryopidae, Mesoveliidae, Ptychopteridae, Hydrochidae y fam. cf. Corduliidae) fue atribuido en función de la experiencia de los autores en otros ecosistemas de Bolivia y también gracias a indicaciones bibliográficas (Alba-Tercedor, 2000; Roldán, 2003).

Diferencia de calidad de un sitio con respecto a su potencial (EQR)

El potencial de un sitio impactado, se puede buscar en sitios de referencia y ubicados en una o varias cuencas distintas, pero similares a la del sitio a controlar en cuanto a la hidromorfología y las condiciones climáticas. El Equivalent Quality Ratio (EQR) mide la diferencia de calidad del sitio impactado en comparación con su potencial.

En gran parte de su curso medio, el Río Camacho es poco o nada impactado y es geomorfológicamente y

climáticamente similar al curso medio del Río Guadalquivir. Además, el área de la cuenca del Río Camacho (958 km²) es comparable con la parte de la subcuenca del Río Guadalquivir (1 021 km²) situada río arriba de la confluencia con el Río Tolomosa, o incluso con toda la cuenca que se extiende hasta la Angostura (1 310 km²). En consecuencia, el Río Camacho da un buen elemento de comparación que permite imaginar la fauna que se podría observar en el Río Guadalquivir si no fuese contaminado. Sin embargo, contrariamente a la práctica clásica del EQR, no cifraremos la calidad del Guadalquivir en proporción (%) de la del Río Camacho, porque la métrica ASPT no es una función lineal de la calidad del agua. Nos limitaremos a indicar la diferencia alcanzada, en número de clases de calidad.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Adaptación del puntaje de los taxones al Valle Central

El Cuadro 1 presenta el puntaje de sensibilidad a la polución atribuido a los 81 taxones observados en el Valle Central. Dos familias del orden Diptera fueron subdivididas en función de la sensibilidad a la polución distinta de sus componentes, fácilmente identificables morfológicamente. Dentro de los Chironomidae, se distinguen i) las larvas llamadas “rojas”, con dos pares de túbulos (branquias) ventrales (*Chironomus* gr. *decorus* y *riparius*) y ii), las larvas “claras” sin o con un solo par de túbulos ventrales (aunque algunas pequeñas también puedan ser rojas o rosadas). Las larvas de *Chironomus* presentes en otras regiones del mundo son conocidas por su mayor resistencia a la contaminación orgánica y a un bajo contenido en oxígeno disuelto (ver por ejemplo Goitia *et al.*, 2001).

Las larvas de la familia Psychodidae son clasificadas en dos grupos: las larvas cilíndricas sin ventosas (habitus de los géneros *Psychoda* y *Clognia*), características de aguas fuertemente contaminadas por materia orgánica en descomposición, y las larvas deprimidas con ventosas ventrales (género *Maruina*), características de aguas corrientes bien oxigenadas (Roldán, 1996). Los valores atribuidos en el presente estudio se distribuyen de manera unimodal con un modo de cinco a siete y un máximo de 7 (Fig. 1). Esto indica un puntaje distribuido de manera equilibrada.

Cuadro 1: Ponderación de los taxones de macroinvertebrados acuáticos del Valle Central de Tarija para los índices BMWP - ASPT

Taxones	Puntaje
Gripopterygidae, fam. cf Corduliidae*, Blephariceridae (*: determinación provisoria)	10
Perlidae, Hydrobiosidae, Sericostomatidae, Leptoceridae, Limnephilidae, Hydraenidae	9
Odontoceridae, Glossosomatidae, Leptophlebiidae, Psephenidae, Megapodagrionidae, Atherecidae, Dixidae	8
Helicopsychidae, Calamoceridae, Polycentropodidae, Hydroptilidae, Leptohyphidae, Scirtidae, Lutrochidae, Polythoridae, Tipulidae, Muscidae, Empididae, Naucoridae, Gerridae, Sphaeriidae	7
Philopotamidae, Elmidae, Dryopidae, Hydrochidae, Corydalidae, Ptychopteridae, Ceratopogonidae, Psychodidae (<i>Maruina</i>), Notonectidae, Mesoveliidae, Hebridae, Ostracoda, Acarina	6
Hydropsychidae, Pyralidae, Caenidae, Noteridae, Calopterygidae, Aeshnidae, Libellulidae, Simuliidae, Sciomyzidae, Ancyliidae, Lymnaeidae, Planorbiidae, Dugesiidae	5
Baetidae, Gyrinidae, Dytiscidae, Heteroceridae, Coenagrionidae, Dolichopodidae, Hyalellidae, Aeglidae, Glossiphoniidae	4
Hydrophilidae, Tabanidae, Stratiomyidae, Chironomidae (otros que <i>Chironomus</i>), Corixidae, Veliidae, Belostomatidae, Physidae	3
Chironomidae (<i>Chironomus</i>), Culicidae, Ephydriidae, Limoniidae, Cyclobdellidae	2
Psychodidae (habitus de <i>Psychoda</i> y <i>Clognia</i>), Syrphidae, Oligochaeta	1

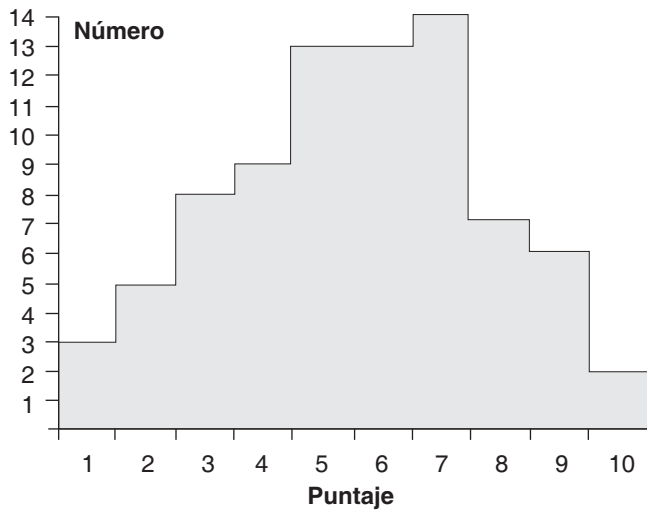


Figura 1: Distribución de los puntajes de sensibilidad a la polución de los taxones de macroinvertebrados del Valle Central de Tarija

Repartición de los valores del índice ASPT en clases de calidad de agua

Los índices BMWP y ASPT de los sitios muestreados se reparten según un *continuum* de valores que se tienen que separar en clases para poder interpretar fácilmente los resultados, y presentarlos cartográficamente por medio de colores convencionales. Los límites de clases definitivas de calidad (Cuadro 2) fueron fijados teniendo en cuenta nuestras cinco clases provisionarias, basadas sobre parámetros medioambientales visuales, y la presencia de saltos en la distribución acumulada de los 76 sitios seleccionados, clasificados por orden creciente de valor ASPT.

La clase de agua de peor calidad (muy crítica, roja) caracteriza aguas fuertemente contaminadas que sólo pueden albergar una fauna muy pobre de taxones resistentes. Aquí los Trichoptera están ausentes. Dentro de ella se distingue una subclase 'negra' (ASPT 1.00 a

Cuadro 2: Límites de las clases de calidad biológica de los ríos del Valle Central en función del valor del índice ASPT

Valor ASPT	Clase de calidad	Significado en términos de polución	Rango inferior (límite inferior de la clase + 10% del rango de la clase subyacente)	Color convencional	
≥ 6.00	Muy limpia	Agua muy limpia (de calidad no alterada)	6.00 - 6.06	Azul oscuro	
				Azul oscuro	Azul celeste
5.40 - 5.99	Buena	Agua no contaminada o de manera no perceptible	5.40 - 5.45	Azul celeste	
				Azul celeste	Verde
4.90 - 5.39	Aceptable	Agua con algún grado de contaminación	4.90 - 4.99	Verde	
				Verde	Amarillo
4.00 - 4.89	Dudosa	Agua contaminada	4.00 - 4.10	Amarillo	
				Amarillo	Naranja
3.00 - 3.99	Crítica	Agua muy contaminada	3.00 - 3.20	Naranja	
				Naranja	Rojo
1.00 - 2.99	Muy crítica	Agua fuertemente contaminada	1.00 - 2.10	Rojo	
				Rojo	Negro

2.10) formada de los peores arroyos generalmente con fondo bacteriano negro, anóxico y que sólo albergan una fauna de Dípteros y Oligoquetos. Los Tricópteros Hydropsychidae aparecen en la siguiente clase de calidad (crítica, naranja) cuyas aguas contaminadas tienen sin embargo un contenido de oxígeno superior al contenido de las aguas de la clase anterior. En la parte alta de esta clase aparecen los Efemerópteros Leptohiphidae. La clase dudosa (amarilla) caracteriza ecosistemas que siguen perturbados pero cuyas aguas tienen una fauna diversificada. Los Tricópteros con capullos (Helicopsychidae, Hydroptilidae, Calamoceratidae) aparecen aquí. Las aguas de la clase aceptable (verde) son poco afectadas por una contaminación orgánica. Aquí los Efemerópteros Leptophlebiidae aparecen.

La siguiente clase (buena, azul) corresponde a las aguas aparentemente no contaminadas o de manera que no afecta la fauna a un nivel detectable mediante el índice. Para evitar una sobreestimación eventual de la calidad de las aguas de un sitio, la delimitación de las clases superiores (verde y azul) fue obtenida restando de la distribución de los sitios con Perlidae (valores ASPT de 5.14 a 6.28), los valores incluidos en la primera cuarta (5.14 a 5.35). Estos valores fueron agrupados con los de sitios donde los Leptophlebiidae están presentes sin los Perlidae (4.70 a 5.22) para formar la clase aceptable, la cual marca la transición entre las aguas contaminadas con evidencia (clase dudosa) y las aguas muy poco o no contaminadas (clases buena y muy limpia). Vemos que la utilización de algunos taxones-clave no permite siempre delimitar claramente las diferentes clases de calidad debido a una superposición de sus componentes faunísticos: la presencia de Perlidae no indica necesariamente el inicio de la clase más elevada de calidad de agua. Para evitar este peligro de sobrestimación, el límite inferior de la clase aceptable fue establecido a 4.90, lo que manda en la clase dudosa el único sitio con Leptophlebiidae cuyo ASPT es igual a 4.70 (sitio 627).

Además, según el sistema BMWP ibérico, se ha definido una sexta clase que agrupa las aguas de mejor calidad (agua muy limpia), utilizadas para el consumo humano (3 sitios) o fácilmente potabilizables (4 sitios). Para ello, hemos retenido la tercera cuarta de la distribución de los valores ASPT de los sitios con Perlidae. Esta clase comienza en el valor 6.00.

Conviene no confiar exageradamente en la significación de un valor ASPT ubicado en el límite inferior de una clase porque la composición faunística de un sitio puede variar en el transcurso de la temporada o de un año al

otro (ver Anexo 2). Por lo tanto, en el Cuadro 2, hemos aumentado al color de cada clase el color de la clase inferior cuando el valor ASPT obtenido se encuentra en el espacio comprendido entre el límite inferior de la clase y este límite adicionado de 10% del intervalo de los valores de la clase directamente inferior. Esto es parte del principio de moderación que ha llevado a la construcción inicial del sistema BMWP donde el valor atribuido a cada familia es un valor mínimo (ver Métodos).

Discriminación de las clases de calidad por medio del análisis de componentes principales

Un análisis en componentes principales (ACP, procedimiento PRINCOMP, software SAS v.9.1.3) fue realizado sobre la composición faunística de los 76 sitios que sirvieron para establecer el puntaje de sensibilidad de los 79 taxones. Sólo la presencia o ausencia de los taxones fue tomada en cuenta. Los dos primeros componentes (CP1 y CP2) explican 11% y 7% de la variabilidad total.

La figura 2 muestra la posición de los sitios en el espacio de los dos primeros componentes y su pertenencia a las seis clases de calidad de agua definidas a partir del índice ASPT. Las elipses de la equiprobabilidad circunscriben los espacios de presencia probable, en el umbral de 95%, de los sitios para cada clase. Los sitios considerados con clases muy crítica y crítica no se sobreponen. Los otros sitios pueden tener composiciones faunísticas muy cercanas en la periferia de las elipses, aunque sus valores ASPT los coloquen en clases de calidad distintas.

El eje 1 puede ser interpretado como un eje de sensibilidad a la polución puesto que los promedios de las clases son ordenados según una serie creciente, comparable con la de los valores ASPT (Fig. 3). Un análisis de varianza (Anova, $P < 0.0001$) muestra que existen diferencias significativas entre las medias. Un test de comparación múltiple de los promedios (test de Newman-Keuls, $P < 0.05$) confirma que son todos diferentes. Esto pone en evidencia la pertinencia de los límites de las divisiones en clases de calidad de agua según la métrica ASPT y, de manera indirecta, la atribución de los puntajes de sensibilidad a la polución a los taxones.

La orientación del eje grande de la elipse de la clase dudosa indica que siguiendo un aumento de calidad de agua, la composición faunística de esta clase evoluciona diferentemente de la composición de las otras.

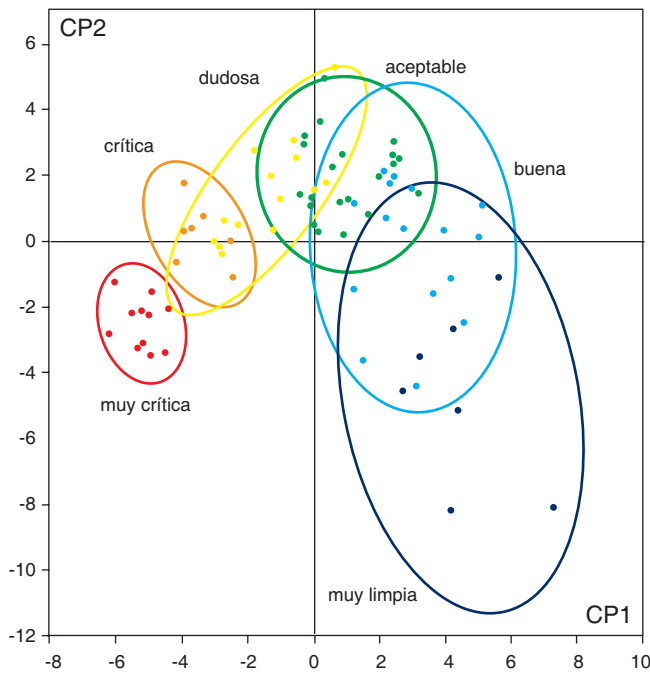


Figura 2: Distribución en el espacio de los dos primeros componentes principales de los 76 sitios utilizados para establecer el puntaje de sensibilidad a la polución de los 79 taxones presentes y de las seis clases de calidad de agua.

Sensibilidad y robustez del índice ASPT

Nuestros resultados indican que el índice ASPT es preciso, sensible y robusto. Las tres muestras efectuadas en el puente San Martín (Tarija) muestran que el resultado del índice ASPT tiende a reproducirse de un año al otro mientras en este mismo lapso de tiempo se observa hasta 50% de cambio en la composición faunística de este sitio (Anexo 2, índice de similitud de Jaccard). Las muestras deben obviamente ser tomadas en periodos climáticos comparables.

El grado de contaminación de las aguas corrientes por el índice ASPT y el EQR

El Río Guadalquivir y sus afluentes directos

El Río Guadalquivir (Figs. 4 y 5) proviene de la confluencia de los Ríos Trancas y Chamata, al pie de la Cordillera de Sama. Las aguas del Río Chamata (st 710, altura 2 216 m) son de muy buena calidad (ASPT 6.24). Pasando el pueblo de Trancas, las aguas del Guadalquivir parecen ligeramente afectadas por actividades agrícolas, pero siguen de calidad aceptable (st 408, ASPT 5.14). Más abajo, el Guadalquivir recibe las aguas de calidad aceptable del Río Corana (st 424). Por lo tanto, en su curso superior, las aguas del Guadalquivir son globalmente de calidad aceptable, pues el río circula en una región con baja densidad de población. Sin embargo, la calidad del curso superior del Guadalquivir (st 408) es inferior de una clase (EQR = 1) a la del Río Camacho (st 405).

La calidad se degrada hasta el límite inferior de la clase aceptable en el puente de Carachi Mayu (st 418), debido al aporte de agua de calidad dudosa del Río Carachi Mayu (st 703), el cual está afectado entre otras cosas por las aguas servidas de una escuela primaria. En su parte superior, el Carachi Mayu recibe sin embargo aguas de mejor calidad de un afluente (st 625, ASPT 5.23). Río abajo de aquella zona, las aguas del Guadalquivir desaparecen en un flujo subterráneo para reaparecer nuevamente poco antes de la confluencia con el lecho del Río Sella, al norte de la localidad de Tomatitas. En el lecho seco del Guadalquivir, se pierden las aguas de los Ríos San Lorenzo y Calama.

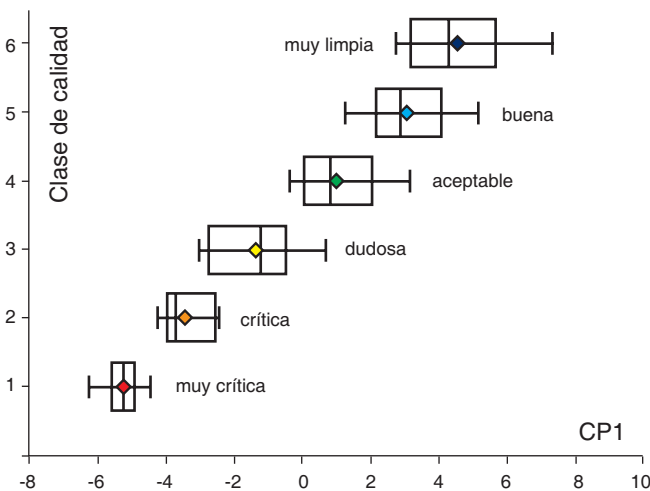


Figura 3: Medias, extremos, medianas y cuartas (bloques) de las seis clases de calidad para el primer componente principal.

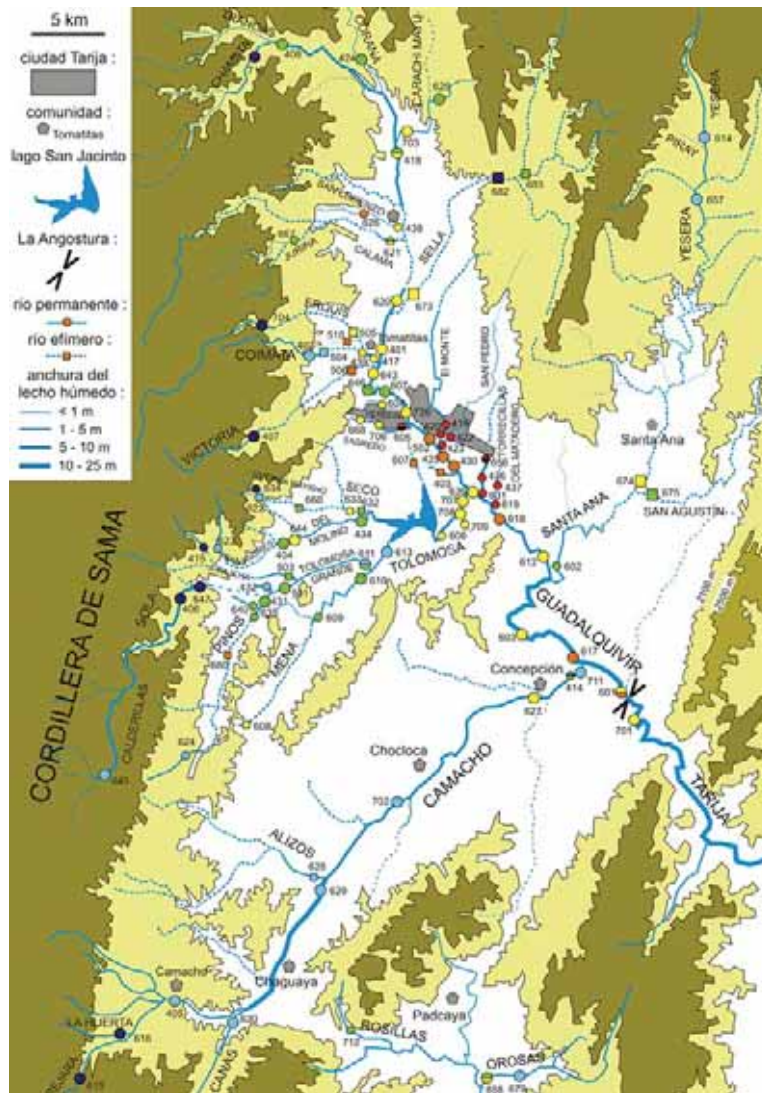


Figura 4: Grado de contaminación de las aguas corrientes del Valle Central de Tarija, evaluado por el índice ASPT. Los sitios son representados por círculos o cuadrados, el número corresponde al muestreo y el color corresponde a la clase de calidad de agua (ver Cuadro 2). El tamaño de los círculos y cuadrados indica la importancia relativa del caudal en el momento del muestreo.

El Río San Lorenzo es el principal receptor de las aguas agrícolas del campo y de las aguas servidas de la localidad de mismo nombre. La calidad de las aguas del San Lorenzo varía de crítica río arriba del pueblo (st 626) a dudosa río abajo (st 438), esto gracias a una cierta autodepuración aparentemente debida al paso por una zona con helófitas. En cuanto al Río Calama, éste está reducido, en temporada seca, a trechos de bajo caudal, entre los cuales uno está próximo a su confluencia con el Guadalquivir (st 621). Su afluente principal, el Río Jurina (st 667), corre en un medio todavía bastante preservado, lo que se refleja en la calidad del agua (clase aceptable).

En su resurgencia, un poco más arriba de la confluencia con el río temporario Sella, el Guadalquivir sufre una contaminación orgánica localizada (st 620), los campesinos utilizan el río para lavar su producción agrícola. Por los residuos de cosecha (hortalizas) dejados en el río y por el bajo caudal, la calidad global del agua es dudosa (ASPT 4.77). Sin embargo, el inventario del río inmediatamente río arriba de la zona impactada, muestra una fauna rica en taxones sensibles a la polución (Perlidae, Leptophlebiidae e incluso un crustáceo Amphipoda Bogidiellidae, no contabilizado en nuestro estudio). Este inventario (índice incompleto no representado en la Fig. 4) indica la buena calidad del agua del flujo

subterráneo o de la capa freática emergente (ASPT 5.00, calidad aceptable).

Río abajo de su confluencia con el Río Sella, la calidad de las aguas del Guadalquivir se degrada progresivamente, por los aportes crecientes de aguas servidas de origen doméstico y agrícola. A la altura de la comunidad de Tomatitas, el año 2004, el lecho del río presentaba una cubierta de algas verdes y aguas de calidad dudosa (st 401, ASPT 4.83). Un poco más abajo, el río encuentra el lecho del Río Erquis. Mucho más arriba del pueblo de mismo nombre, el agua del Río Erquis es de muy buena calidad y es captada para el consumo humano (st 704, ASPT 6.50). Río abajo de la toma, el agua corre unos 10 km en flujo subterráneo para salir de nuevo a unos 100 m del Guadalquivir, en varios lugares llamados «fuentes de Tomatitas». Donde no es utilizada por el hombre, el agua es de calidad aceptable o dudosa según la ubicación de las resurgencias y también puede ser según el caudal (st 705 = escurrimientos de la ribera izquierda: ASPT 5.25 y st 439 = escurrimientos de las riberas derecha e izquierda: ASPT 4.63). Un poco más abajo de estas «fuentes de Tomatitas», el agua está utilizada *in situ* por los habitantes del lugar para numerosas actividades domésticas y agrícolas como el lavado de ropa y hortalizas. Aquí el agua es de calidad dudosa (st 417, ASPT 4.59) y así se vierte en el Guadalquivir.

Río arriba de su confluencia con el Guadalquivir, el Río Erquis recibe el lecho temporario del Río Coimata cuya agua también es captada más arriba, pero cuyo lecho queda húmedo arriba de 2 050 m de altura. El agua del Río Coimata (st 402 y st 641: ASPT 5.96 y 5.76) es de calidad buena. 300 m río abajo de la confluencia del Río Erquis, el Guadalquivir recibe el lecho temporario del Río Victoria. El agua de éste está captada mucho más arriba para la aducción de agua potable hasta la ciudad de Tarija. Esta agua, en el Rincón de la Victoria, es de calidad muy limpia (st 407, ASPT 6.14).

Unos 500 m río abajo de la confluencia con el Río Victoria, el Guadalquivir penetra una zona con muy pocas viviendas (Obrajes). Al llegar a este lugar, el agua sigue de calidad dudosa (st 643, ASPT 4.17) pero se autodepura progresivamente. 2.2 km río abajo de Tomatitas, en La Tipas, se ha medido una concentración de colibacilos fecales de unos 10^3 / 100 ml. Señalemos que aquí se encuentra una toma de la cooperativa de

aguas COSAALT que, después de un tratamiento, alimenta la ciudad de Tarija (Fig. 5). La calidad biológica del agua, medida 500 m río abajo de la toma de COSAALT (st 646, unos 2.8 km río abajo de Tomatitas) se vuelve aceptable (ASPT 5.00). De igual manera, al entrar en la ciudad de Tarija, 900 m más abajo (a 3.7 km de Tomatitas, abajo del Hotel Los Parrales), el agua sigue aceptable (st 607, ASPT 5.21) pero es inferior de una clase (EQR = -1) a la calidad del agua del Río Camacho (st 629).

A continuación el agua del Guadalquivir está afectada por efluentes de aguas servidas domésticas proveniente de varios barrios de la ciudad de Tarija. A la altura del puente San Martín (st 726), la calidad del agua baja y se vuelve dudosa (ASPT 4.79 a 4.28; EQR = - 2 clases) debido a algunos aportes proveniente del barrio Juan Pablo II, del jardín zoológico y probablemente también de otros efluentes no observados. La pequeña quebrada Verdún, situada en la orilla derecha, al lado del barrio San Antonio, evacúa agua de calidad dudosa (st 604, ASPT 4.29) pero no llega hasta el lecho del Guadalquivir en temporada seca.

Los aportes de la quebrada Sagredo, ubicada en la orilla derecha, degradan el agua del Guadalquivir puesto que la misma recolecta aguas servidas domésticas de varios barrios situados en las alturas. Muy arriba, el agua del Sagredo se ve poco afectada por esos efluentes y es de calidad dudosa (st 668 y 706). Río abajo, el agua es de calidad muy crítica (st 605, ASPT 1.40) y corre sobre un fondo bacteriano negro anóxico. Tiene una concentración en colibacilos fecales de unos $2 \cdot 10^4$ / 100 ml (una sola medición). Sin embargo, hay que notar que las aguas servidas de esta quebrada contribuyen solo el 2,5% del caudal del Guadalquivir en temporada seca (Fig. 5).

Río abajo del puente Bolívar, el agua del Guadalquivir es de calidad crítica (st 502, ASPT 3.90; EQR = - 3 clases). Su concentración en colibacilos fecales es 500 veces más elevada (cerca de $5 \cdot 10^5$ / 100 ml, Fig. 5) que la del agua captada en Las Tipas y el río recibe aguas servidas de calidad muy crítica (ASPT 2.69) que transitan por el tronco común de dos quebradas (st 423), ubicadas en la ribera izquierda: las quebradas El Monte y San Pedro. El caudal saliendo de este tronco común, corresponde al 4% del caudal del Guadalquivir en temporada seca.

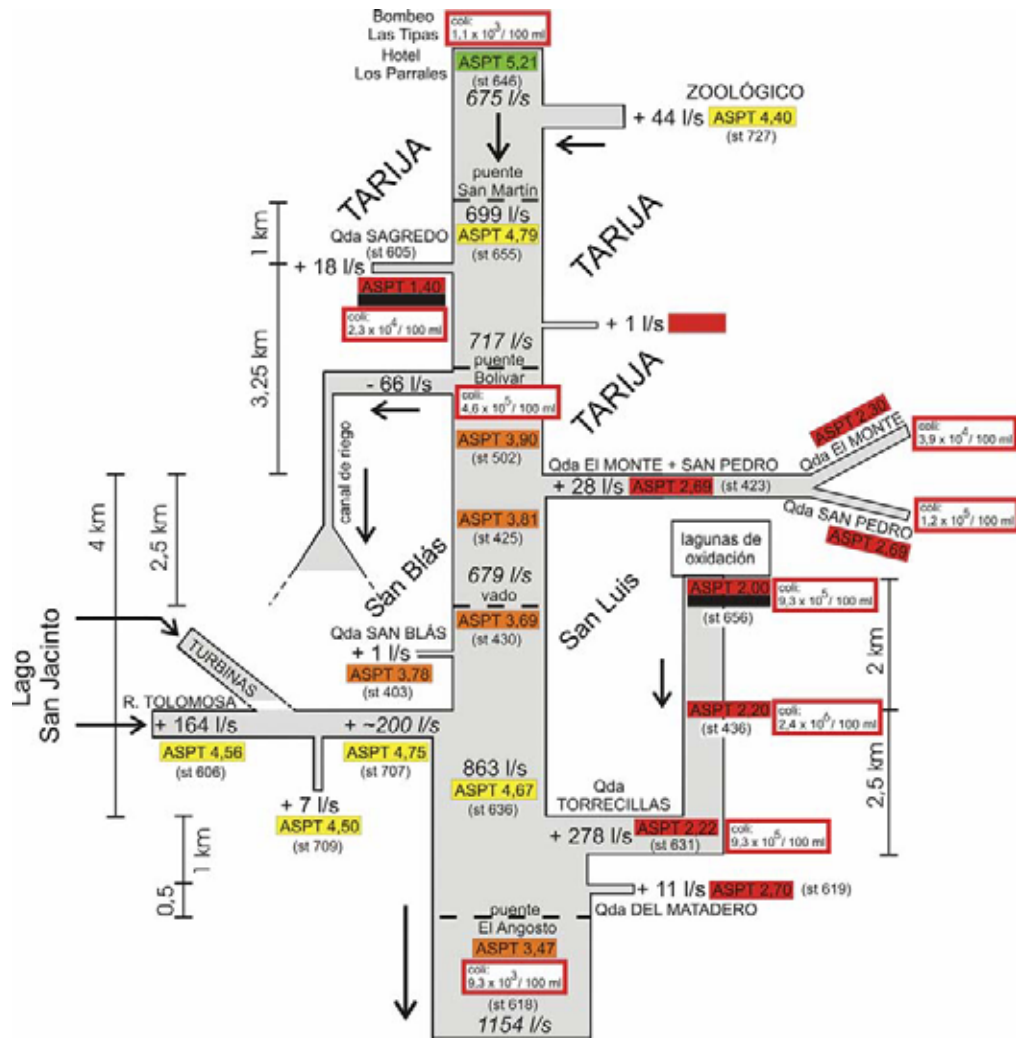


Figura 5: Caudales del Río Guadalquivir y de sus afluentes o derivaciones en período de estiaje, desde su entrada en la ciudad de Tarija (puente San Martín) hasta su salida en el Angosto (San Luis - Temporal) y correspondencia con el grado de contaminación del agua, medido por el índice ASPT (colores de clases de calidad según el Cuadro 2). Los caudales medidos aparecen en cifras normales, los cálculos en cursiva. La anchura de los ríos está representada en función del caudal, excepto por el Río Tolomosa, río abajo de la planta hidroeléctrica de San Jacinto cuyas turbinas estaban paradas en el momento de las mediciones de caudal. Cuando las turbinas están en acción, el caudal de salida varía de 4000 a 16000 l/s. *st*: sitios y números de muestreos bióticos. *coli*: concentración en colibacilos fecales. La medición de colibacilos en la entrada corresponde a la estación de bombeo Las Tipas, ubicada río arriba del sitio 646. Fechas de mediciones: caudales: 08/10/06; ASPT: ver Anexo 1; coliformes: 20/11/06 (Qda Torrecillas), 07/07/07 (Las Tipas) y 23/07/07 (otros).

La quebrada El Monte atraviesa la ciudad de Tarija y drena parte de las aguas servidas de la aglomeración. Recibe además la descarga de colectores grandes de alcantarillados urbanos. A la altura del puente en la avenida principal (avenida Paz Zamora) unos metros después de la salida de uno de los colectores, el agua, gris y opaca, es extremadamente crítica: sólo viven Dipteros Psychodidae tipo *Psychoda* y *Clognia* (st 659, ASPT 1.00, sitio que no figura en el mapa). La mezcla de las

aguas de los colectores urbanos y del agua de la misma Quebrada El Monte es de clase muy crítica (st 419, ASPT 2.30). En esta misma quebrada, 200 m río abajo, el valor de ASPT ya sube (st 420, ASPT 2.77), gracias al efecto autodepurador de grupos naturales de helófitas. La quebrada San Pedro (st 422, ASPT 2.38) drena aguas servidas de barrios ubicados más al sur de la ciudad. La concentración de colibacilos fecales en estas dos quebradas es elevada (Fig. 5). A pesar de que el

caudal del tronco común de estas dos quebradas sea superior al caudal de la quebrada Sagredo, el impacto sobre la calidad de las aguas del Guadalquivir parece menor puesto que el agua es de mejor calidad (ASPT de 2.69 comparado a 1.40 para la quebrada Sagredo).

La confluencia del tronco común de las quebradas El Monte y San Pedro está ubicada al límite de la zona urbana de la ciudad de Tarija. A la altura de esa confluencia, las aguas del Guadalquivir son de calidad crítica (st 425, ASPT: 3.81; EQR = - 3 clases). Río abajo, la calidad del agua no mejora hasta el vado entre San Blás y San Luís a unos 2.5 km (st 430; ASPT 3.69; EQR= - 3 clases). Esto podría ser explicado por las aguas de una quebrada (sin nombre y no mencionada en las Fig. 4 y Fig. 5) que se unen con el río unos 200m río arriba del vado mencionado y que reciben los efluentes de cinco instalaciones grandes de crianza de aves de corral.

La quebrada San Blás (st 403), de orden 2, que desemboca 300 m río abajo del vado San Blás-San Luís también es de calidad crítica (ASPT 3.78). Drena los efluentes de dos galpones de crianza de pollos y frecuentemente el ganado se encuentra dentro de ella. Sin embargo, su caudal es muy bajo (1 l/s) y probablemente que no influye mucho sobre la calidad del Guadalquivir.

Río abajo de la ciudad, la calidad de las aguas del Guadalquivir mejora temporalmente, probablemente gracias a la mezcla con las aguas del Río Tolomosa que salen de la represa de San Jacinto y cuyo caudal, en temporada seca y cuando las turbinas de la planta hidroeléctrica no funcionan, está evaluado en la cuarta o quinta parte del caudal del Guadalquivir después de la confluencia. La mezcla de estas dos aguas, medida unos 4.5 km de la confluencia del tronco común de las quebradas El Monte y San Pedro, es de mejor calidad que el agua a altura del vado San Blás-San Luís pero sigue en clase dudosa (st 636, ASPT 4.67; EQR = - 2 clases). La calidad del agua traída por el Tolomosa está dentro de la clase dudosa (st 707, ASPT 4.75; Fig. 5). A unos 500 m río abajo de la confluencia con el Río Tolomosa, el Río Guadalquivir recibe las aguas de la quebrada Torrecillas y 1 km más abajo, recibe el agua de la quebrada del Matadero. Estas dos quebradas evacuan respectivamente las aguas que salen de las lagunas de oxidación (que tratan la mayor parte de las aguas servidas de la ciudad) y las aguas servidas provenientes del matadero municipal. La calidad del agua de estas dos quebradas es muy crítica en su

confluencia con el Guadalquivir (st 631 y 619). La quebrada Torrecillas trae unos 10^6 coliformes fecales / 100 ml y corresponde al 25% del caudal del Guadalquivir en período de estiaje (mientras no funcionen las turbinas del lago San Jacinto). La quebrada del Matadero sólo corresponde a 1 % del caudal del río. Por lo tanto, es el agua servida de la quebrada Torrecillas que explica la calidad crítica del agua del Guadalquivir al salir de la zona de influencia de la ciudad de Tarija, medida en el puente del Angosto (El Temporal: st 618, ASPT 3.47; EQR = - 3 clases). En este lugar, el agua del Guadalquivir tiene todavía 10^4 coliformes fecales / 100 ml (Fig. 5). En comparación, el agua de ríos de calidad biológica medida como aceptable o buena según el índice ASPT contiene solamente alrededor de $5 \cdot 10^2$ coliformes fecales / 100 ml (se trata de los Ríos San Andrés [st 404], Río Guadalquivir [st 408] y Río Camacho [st 629]) (COSAALT, com. pers.).

En total, la ciudad de Tarija genera en temporada seca, por sí sola, un caudal de agua servida estimado a cerca de la mitad (336 l/s) del caudal del Guadalquivir a la entrada de la ciudad (alrededor de 700 l/s en 2006, Fig. 5). Por lo tanto, importa tomar rápidamente medidas para reducir estos impactos sobre la calidad del agua del Río Guadalquivir.

Río abajo del Angosto, el Guadalquivir pasa por un estrecho y no recibe más aguas servidas de origen doméstico. Esto, combinado con el poco desarrollo agrícola de la zona, permite una cierta mejoría de la calidad del agua por autodepuración, condición encontrada hasta la zona de confluencia con el Río Camacho (clase dudosa, st 612: ASPT 4.21 y 603: ASPT 4.43). Sin embargo, la calidad del agua sigue inferior (EQR = - 2 clases) a la del sitio 629 del Río Camacho que sirve de referencia. Un poco más abajo del sitio 612, el Guadalquivir recibe el bajo volumen (en período de estiaje) de las aguas del Río Santa Ana cuya calidad es aceptable, en el límite de dudosa (st 602, ASPT 4.94). Próxima a su confluencia con el Camacho, la calidad del agua del Guadalquivir baja de nuevo (st 617, ASPT 3.82, clase crítica; EQR = - 3 clases), aparentemente afectada por la zona agrícola situada en los alrededores del poblado de Concepción (Uriondo). Esta situación se mantiene hasta el estrecho de la Angostura (st 601, alt. 1675 m, ASPT 3.83, clase dudosa a crítica). El aporte del Río Camacho (st 711, ASPT 5.43, clase buena) en período de estiaje, influye poco o nada. Más abajo de la Angostura (st 701), la calidad del agua fue evaluada como aceptable a dudosa en 2006 y dudosa en 2007 (EQR = - 1,5 a 2 clases).

El Río Tolomosa y su cuenca

La represa de San Jacinto (Fig. 4) recibe la mayor parte de las aguas de la cuenca del Tolomosa (468 km²). Desde su salida hasta la confluencia con el Río Guadalquivir, el agua del Tolomosa es de calidad dudosa. En el trecho de río entre la represa y la salida de las turbinas de la planta hidroeléctrica, el agua del sitio 606 alberga un número elevado de taxones (27), comparable a los sitios 613 y 434 ubicados inmediatamente río arriba del lago. En cambio, los sitios ubicados en el Tolomosa a 1.5 o 3 km río abajo de la salida de las turbinas albergan pocos taxones (st 708: ocho taxones y st 707: 12 taxones). La diferencia no debe de provenir de las actividades agrícolas más abajo, sino del aumento drástico de caudal cuando las turbinas funcionan (4 turbinas de 4000l/s de flujo unitario). Un afluente (st 709) de calidad dudosa y de poco caudal (Fig. 5), que drena aguas servidas de origen doméstico, se echa en el Tolomosa río arriba del sitio 708.

El agua que entra en el Lago San Jacinto es de calidad buena (st 613) a aceptable (st 434). Subiendo los Ríos San Andrés, Tolomosa Grande, Pinos y Mena, la calidad del agua es generalmente aceptable (st 404, 611, 503, 501, 431, 635, 640, 610, 609), a pesar de la importante actividad agrícola extensiva. Localmente, se observan sin embargo fuertes impactos como el lavado de ropa (st 644 sobre el Río San Andrés) y el acceso del ganado (st 633 en el Río Seco), que degradan la calidad del agua que se vuelve dudosa. Al contrario, al pie de la Cordillera de Sama, los ríos tienen una calidad de agua buena a muy buena (st 645, 406, 647 en el Río Calderillas-Sola, 624 en el Río Pinos, 415 en la quebrada Pajcha, 623 y 622 en el Río San Andrés, 634 en el Río Seco). Esta situación se explica por la casi inexistencia de impactos antrópicos en esta zona. Esto y la pluviosidad importante recibida por el ascendente oriental de la Cordillera de Sama, hacen que las aguas de estas cabeceras sean utilizadas como fuente de agua potable para las comunidades que viven más abajo en los valles. Algunas cabeceras incluso son cercadas con alambre para impedir el acceso del ganado (st 415).

El Río Camacho y su cuenca

La cuenca del Río Camacho (Fig. 4) es una de las principales en el Valle Central, no sólo en términos de longitud o de superficie (958 km²) sino también en términos económicos. Sin embargo, la mayor parte de la producción agrícola se concentra en la parte baja de la cuenca, en la proximidad del pueblo de Concepción. En la parte alta de la cuenca, las aguas son de calidad muy limpia (st 615, Río Rejara y 616, Río La Huerta) por la

baja densidad de actividades humanas. Más abajo, las aguas del Río Camacho (st 405, 629 y 702) y de sus afluentes (st 630 y 628) son todas de buena calidad (ASPT de 5.55 a 5.71), calidad que debería ser la del Río Guadalquivir si éste último no fuese impactado por las actividades humanas.

El aumento de las actividades agrícolas río abajo explica probablemente la disminución de la calidad de agua que es dudosa a la altura de Concepción (st 627), localidad muy activa en producción vitícola. Sin embargo, unos km más abajo, cerca de la confluencia con el Río Guadalquivir, el agua nuevamente es de buena calidad (st 711), lo que indica que el impacto es moderado. Durante el estiaje, el lecho húmedo del Río Camacho es más ancho en su curso superior que en su curso inferior. Esto se explica por el hecho que, río abajo de su confluencia con el Río Alizos, el Camacho sólo recibe ríos temporarios mientras que, debido a la evaporación, infiltración y utilización del agua para el riego, su caudal disminuye. La disminución del caudal culmina a unos 400 m del Guadalquivir donde en el 2004, en temporada seca, el Camacho estaba reducido a un riochuelo de 2 m de ancho después de haberse infiltrado por un atajado levantado para retener el agua para el riego (st 414, calidad buena a aceptable). Esta muestra 414 presentaba elementos de una fauna relictual, como un Perlidae.

La cuenca del Río Santa Ana

La cuenca del Río Santa Ana (576 km²) (Fig. 4) es la que recibe la menor cantidad de precipitaciones (PEA-Bermejo, 2005). Las aguas de la parte alta de la cuenca son de buena calidad, lo que se explica por la baja densidad humana en esta zona. Se trata de los sitios 614 (ASPT 5.69) y 657 (ASPT 5.58) en el Río Yesera. En período de estiaje, el río pasa en flujo subterráneo por la proximidad de la localidad de Yesera-sur y sólo reaparece unos kilómetros arriba de la confluencia con el Guadalquivir, río abajo de una zona donde se están desarrollando importantes producciones vitícolas. Las muestras realizadas en 2004 y 2006 en el curso inferior del Río Santa Ana (st 602) parecen indicar que el río presentó en el 2004 un signo de contaminación química. La muestra de 2004 (st 440, dudosa, misma ubicación que el st 602) muestra un número anormalmente bajo de taxones para un río permanente (5 taxones, entre los cuales las poblaciones de Simuliidae y Chironomidae son muy mayoritarias). La ausencia de señales visibles de contaminación orgánica en 2004 (ausencia de algas

verdes filamentosas, ausencia de acumulación de bacterias) y la presencia de un fuerte olor «químico» del agua hace pensar que una contaminación de origen químico ha podido destruir la fauna. En 2006, una muestra recolectada en el mismo lugar y en la misma temporada muestra una situación muy diferente: una fauna más rica (16 taxones, entre los cuales está *Leptophlebiidae*), la presencia de algas verdes filamentosas abundantes y, en algunas partes lénticas, un fondo bacteriano negro. Se supone que, en la casi ausencia de fauna, las algas verdes pudieron proliferar entre 2004 y 2006 aprovechando los aportes regulares en elementos minerales vinculados con la actividad humana (numerosas personas utilizan el río hacia arriba para lavar la ropa con jabones ricos en fosfatos). Gracias a la materia orgánica generada por el crecimiento de las algas verdes, las bacterias invadieron a su vez parte del sitio. Desde 2004, la fauna se instaló de nuevo progresivamente, empezando por los taxones menos exigentes en cuanto al contenido de oxígeno disuelto (st 602, clase aceptable). En 2006, el contenido de fosfatos estaba alrededor de 1 mg/l. No hemos detectado nitratos, situación que parece frecuente en los ríos del Valle Central (COSAALT, com.pers.), ya que las algas consumen y acumulan eficazmente esta sustancia.

La cuenca del Río Orosas

La subcuenca del Río Orosas (Fig. 4) está ubicada en la cuenca del Río Bermejo, que es distinta hidrográficamente de la del Guadalquivir, pero de misma naturaleza geológica (cuenca geológica Tarija-Padcaya). Además, la hidromorfología y la altitud del Río Orosas son comparables a lo que se observa para algunos ríos de la cuenca del Guadalquivir.

A priori, se nota una influencia marcada de la localidad de Orosas sobre la calidad de las aguas del río, puesto que éste pasa de calidad buena (st 679, ASPT 5.73) río arriba del pueblo a aceptable-dudosa (st 658, ASPT 4.95) río abajo. El curso superior del Río Rosillas (st 712, ASPT 5.07) es de calidad aceptable.

Los ríos o trechos de ríos temporarios

De los 14 sitios muestreados en trechos de ríos no permanentes (Fig. 4), cuatro muestran una fauna diversificada cuya agua es de calidad buena (Coimata, st 504, 18 taxones), aceptable (Guerra Waykho, st 660, 27 taxones) o dudosa (Seco, st 632, 23 taxones; Mena, st 608, 19 taxones). Los diez otros sitios no permanentes tienen una fauna menos diversificada, con una calidad

de agua medida como muy limpia (Sella, st 682, diez taxones), aceptable (Sella río arriba, st 683, cinco taxones; San Agustín, st 675, tres taxones), dudosa (Santa Ana, st 674, siete taxones; Erquis, st 505, diez taxones; Sella río abajo, st 673, cuatro taxones) o crítica (La Tablada, st 507, siete taxones; Pinos mediano, st 680, siete taxones; un afluente del Río Erquis, st 510, cinco taxones; Victoria, st 506, cinco taxones).

La riqueza taxonómica de los ríos temporarios parece depender de la época de llegada del agua al lecho del río. Referente a los ríos cuya llegada de agua es más precoz (al inicio de la temporada de lluvias), se observa la presencia de una fauna rica en taxones (Ríos Guerra Waykho, Seco, Mena y Coimata) mientras los ríos cuyo lecho está con agua varios meses después del inicio de las lluvias tienen una fauna más pobre (Ríos Pinos, Santa Ana, Victoria y San Agustín).

La composición faunística de los ríos temporarios parece depender también de la calidad ecológica de su entorno y en particular de los ríos permanentes cercanos. Por ejemplo, los sitios temporarios situados en zonas poco impactadas según nuestros criterios visuales, como el sitio 682 en el Río Sella, el st 504 en el Río Coimata, el st 660 en el Río Guerra Waykho y el st 632 en el Río Seco, albergan una fauna ensible: *Blephariceridae*, *Perlidae*, *Psephenidae* para el Río Sella: ASPT 6.50; *Leptophlebiidae* en el Coimata: ASPT 5.56; *Hydrobiosidae* en el Guerra Waykho: ASPT 5.11; *Sericostomatidae* y *Glossosomatidae* en el Río Seco: ASPT 5.22. Al contrario, los sitios ubicados en cuencas con más impactos tienen una fauna más resistente a la polución, como *Hydropsychidae* y *Corydalidae* en la Tablada (st 507, ASPT 3.86). El Río Erquis (st 505, ASPT 4.30) alberga una fauna que combina elementos sensibles a la polución (*Leptophlebiidae*), menos sensibles (*Philopotamidae* y *Pyrallidae*) y resistentes (numerosos *Ephydriidae*), lo que se explica por el hecho de que los impactos en esta cuenca son bastante locales y temporarios. La colonización podría también ser frenada por una velocidad de corriente muy alta, lo que podría ser el caso del Río Victoria (st 506, ASPT 3.20; *Simuliidae*). Debido a las contingencias medioambientales a las cuales las faunas de ríos temporarios son sometidas, es posible que el índice ASPT no traduzca bien la calidad de su agua. Este índice no nos parece ser el más indicado para evaluar la calidad del agua de los ríos temporarios. Al contrario, si uno se interesa a la calidad ecológica de estos ríos temporarios, con todas las causas mezcladas, el índice BMWP será más apropiado.

CONCLUSIONES

El uso del índice ASPT muestra que en su curso superior (estribaciones de la Cordillera de Sama), las aguas de los tributarios del Guadalquivir son globalmente de muy buena calidad (baja densidad humana). Río abajo de las estribaciones y fuera de los centros urbanos importantes, la calidad de las aguas es generalmente aceptable y a veces buena. Esto se explica por el hecho que la producción agropastoril en el Valle Central sigue siendo esencialmente extensiva (ganado, forraje) o semi-intensiva (cultivos de hortalizas y frutas). El impacto de esas producciones es actualmente reducido, como lo muestra el ejemplo de la cuenca del Tolomosa río arriba del lago San Jacinto, donde 11 de los 13 sitios permanentes son de calidad por lo menos aceptable (ASPT ≥ 4.90). Es importante señalar que las aguas que entran a la represa de San Jacinto son por lo menos de buena calidad biológica.

La influencia de perturbaciones localizadas nos parece mayor al grado global de perturbación de la cuenca de la cual depende un sitio en particular. Esto se explica probablemente por el hecho de que, la mayoría de las fuentes difusas de contaminación corresponden a zonas de producción agrícola extensivas o semi-intensivas, poco enriquecidas con materia orgánica. Además, el escurrimiento superficial, nulo en período seco, reduce los aportes de aguas servidas de origen agrícola en esas zonas de producción. Los focos localizados de contaminación son esencialmente permanentes (efluentes urbanos, acceso del ganado) y dependen más de la densidad demográfica que del grado de degradación de la cuenca. Por lo tanto, a escala de toda la cuenca del Guadalquivir, la contaminación por aguas servidas de origen agrícola, es menor que la generada por aguas servidas de origen doméstico.

La polución del Río Guadalquivir y de algunos de sus tributarios menores, generada por la ciudad de Tarija, es preocupante a nivel sanitario. Recomendamos medidas sencillas y económicas de saneamiento que permitan reducir el impacto de las aguas servidas domésticas.

Los resultados del presente estudio constituyen una referencia valiosa para las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales del departamento, en el marco de sus actividades de protección del medio ambiente y también para la evaluación de la eficacia del saneamiento del Guadalquivir. Una herramienta de diagnóstico medioambiental con buenas prestaciones y sencillo como el índice biótico ASPT, y la implemen-

tación de una base de datos que integren también mediciones bacteriológicas y fisicoquímicas puntuales, son necesarias para orientar y seguir remediaciones futuras.

El uso del ratio EQR permite comparar el estado del Río Guadalquivir con el de un río similar y poco impactado como el Río Camacho. Sugerimos desarrollar por medio de esas herramientas un programa de biomonitoreo de la calidad biológica de los ríos del Valle Central.

AGRADECIMIENTOS

Las instituciones y personas siguientes nos han ayudado y apoyado en el cumplimiento de nuestro trabajo. El personal del Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP) entre otros, el Director Andrés Zamora de la Reserva Biológica Cordillera de SAMA (SERNAP[S]) y el Director Luís Acosta de la Reserva Nacional de Flora y Fauna TARIQUIA (SERNAP[T]); Fernando Villarte (en el SERNAP en 2004), Miguel A. Cornejo y Leticia Cano de la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado (COSAALT); Armando Schmidt del Instituto de investigación y Capacitación Campesina (IICCA); Ricardo Aguilar de la ONG Protección del Medio Ambiente Tarija (PROMETA); Orlando Erazo de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho (UAJMS, Tarija); Claude de Patoul y José Navía del Instituto Interuniversitario Boliviano de Recursos Hídricos (INIBREH), así como Gonzalo Torres ('Chulo') y Deimar Fernandez. El "Fonds Leopold III pour l'Exploration et la Conservation de la Nature" (Fonds LIII) apoyó financieramente la campaña 2006 de Roger Cammaerts.

BIBLIOGRAFÍA

- Alba-Tercedor, J. 2000. BMWP', un adattamento spagnolo del British Biological Monitoring Working Party (BMWP) Score System. *Biologia Ambiental* 14 (2): 65-67.
- Brandt, J. 2006 a. Evaluación de la Salud Biótica de los Ríos del Valle Central de Tarija. Resumen ejecutivo presentado en la Jornada del Agua del 15 de marzo 2006.
- Brandt, J. 2006 b. Assessing stream conditions in the Central Tarija Valley, Bolivia. Executive summary. The Nature Conservancy.
- Coltorti, M., L. Abbazzi, M. Ferretti, P. Iacumin, F. Paredes Ríos, M. Pellegrini, P. Pieruccini, M. Rustioni, G. Tito y L. Rook. 2007. Last glacial mammals in South America: a new scenario from the Tarija Basin (Bolivia). *Naturwissenschaften* 94: 288-299.
- Goitia, E., R. Ayala, M. Rossberg y A. Romero. 2001. Comunidad bentónica del Río Rocha en relación a la entrada de poluentes (Cochabamba, Bolivia). *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 10: 3-16.
- Moya, N. y T. Oberdorff. 2006. Índice multimétrico de integridad biótica béntica para la cuenca del Río Chipiriri, Cochabamba-Bolivia. *Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental* 19: 1-11.
- Moya, N., S. Tomanova, y T. Oberdorff. 2007. Initial development of a multi-metric index based on aquatic macroinvertebrates to assess streams condition in the Upper Isiboro-Sécure Basin, Bolivian Amazon. *Hydrobiologia*. 589: 107-116.
- PEA- Bermejo. 2005 . Programa Estrategico de Acción para la cuenca binacional del Río Bermejo. Plan Departamental de Ordenamiento Territorial 2005 - 2025. Vol IV Cuencas hidrográficas (COD PNUMA 2204). Tarija, Bolivia.
- Roldán, G. 1996. Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia. Universidad de Antioquia, Colombia. 217 p.
- Roldán, G. 2003. Bioindicación de la calidad del agua en Colombia uso del método BMWP/Col. Universidad de Antioquia, Colombia. 170 p.
- ZONISIG. 2001. Zonificación Agroecológica y Socioeconómica. Departamento de Tarija, Bolivia. Sierpe publicaciones. La Paz. 266 p.

Anexo 1. Lista de los sitios de colecta de macroinvertebrados acuáticos.

Sitio	Río o quebrada	Ubicación de la estación	Altura (m)	UTM X	UTM Y	Fecha	BWMP	No Taxones	ASPT	Patrocinador
Cuenca del Río Guadalquivir										
408	Río Guadalquivir (1)	río abajo población Trancas	2175	310183	7642829	27/10/04	144	28	5.14	SERNAP (S)
418	Río Guadalquivir	100 m río abajo puente de Carachi Mayu	2039	318982	7635592	09/11/04	103	21	4.90	RCA
620	Río Guadalquivir	100 m antes confluencia con Río Sella	1937	318532	7624841	08/10/06	124	26	4.77	Fonds LIII
401	Río Guadalquivir	Tomatitas, río arriba puente (2)	1930	317728	7621799	19/10/04	116	24	4.83	RCA
643	Río Guadalquivir	50 -150 m río abajo limnómetro de Obrajes	1924	317382	7620673	07/11/06	75	18	4.17	Fonds LIII
646	Río Guadalquivir	300 m río arriba hotel Los Parrales	1905	317491	7619262	10/11/06	90	18	5.00	Fonds LIII
607	Río Guadalquivir	al nivel del hotel Los Parrales	1899	317820	7619271	28/09/06	151	29	5.21	Fonds LIII
726	Río Guadalquivir	Tarija, 50 m río abajo puente San Martín	1877	319657	7617826	22/08/07	77	18	4.28	DCA
502	Río Guadalquivir	Tarija, el Tejar	1853	321560	7616020	26/11/05	62	16	3.88	DCA
425	Río Guadalquivir	Tarija, río abajo tronco común quebradas El Monte y San Pedro	1836	322099	7615439	14/11/04	61	16	3.81	RCA
430	Río Guadalquivir	vado San Blás - San Luis	1825	323166	7613357	22/11/04	48	13	3.69	RCA
636	Río Guadalquivir	100 m arriba confluencia con quebrada Torrecillas	1815	325046	7611970	20/10/06	98	21	4.67	Fonds LIII
618	Río Guadalquivir	puente zona El Angosto	1806	325597	7611394	07/10/06	52	15	3.47	Fonds LIII
612	Río Guadalquivir	puente Tarija - Estancia Ancón Grande	1766	329092	7608120	01/10/06	59	14	4.21	Fonds LIII
603	Río Guadalquivir	puente Ancón, camino Tarija - Concepción	1736	327931	7602780	26/09/06	62	14	4.43	Fonds LIII
617	Río Guadalquivir	300 m arriba confluencia con Río Camacho	1689	331317	7601572	04/10/06	42	11	3.82	SERNAP (T)
601	Río Guadalquivir	La Angostura, puente arriba	1675	334392	7599088	24/09/06	52	13	4.00	Fonds LIII
701	Río Tarija (3)	2,25 km río abajo La Angostura	1654	335351	7597009	11/07/07	40	9	4.44	DCA
Cuencas mayores tributarias del Río Guadalquivir:										
Cuenca del Río Tolomosa										
707	Río Tolomosa (4)	100 m antes confluencia con Río Guadalquivir	1818	324742	7611741	19/07/07	57	12	4.75	DCA
708	Río Tolomosa (4)	entre turbinas y confluencia con Río Guadalquivir	1821	323648	7610889	22/07/07	39	8	4.88	DCA
709	qda del ribera derecha	5 m antes confluencia con Río Tolomosa	1822	323648	7610889	22/07/07	36	8	4.50	DCA
606	Río Tolomosa (4)	entre represa y turbinas	1845	321981	7610003	27/09/06	123	27	4.56	Fonds LIII
507	qda La Tablada	50 m río arriba puente	1901	320250	7614394	05/04/06	27	7	3.86	DCA
613	Río Tolomosa (4)	arriba desembocadura en el lago San Jacinto	1905	318177	7608328	01/10/06	161	28	5.75	Fonds LIII
611	Río Tolomosa Grande (5)	antes confluencia con Río Mena, 50 m río abajo puente	1913	317267	7607451	30/09/06	162	30	5.40	Fonds LIII
501	Río Tolomosa Grande (5)	tronco común Sola y Pinos, río abajo puente	1978	312182	7606544	29/04/06	99	19	5.21	PROMIETA
Subcuenca de la quebrada Pajcha (6)										
503	qda Pajcha	300 m río abajo vado San Andrés - Pinos	1984	312064	7607032	d 04/2006	105	21	5.00	PROMIETA
415	qda dicho Toma de Agua	estribación, río arriba captación	2186	305891	7609198	06/11/04	112	18	6.22	SERNAP (S)
Subcuenca del Río Sola										
432	río sin nombre (7)	afuente izquierda del Río Tolomosa	2000	310744	7605923	23/11/04	158	29	5.45	INIBREH
640	río dicho Sola (8)	200 m río abajo pueblo de Bella Vista, 50 m antes Río Pinos	2005	310279	7605346	03/11/06	110	22	5.00	Fonds LIII
647	Río Sola	río arriba canal (toma de agua) del Río Sola	2105	305928	7606285	12/11/06	156	25	6.24	Fonds LIII
406	Río Sola	río arriba quebrada Lora y estancia Sola	2145	304673	7605450	26/10/04	186	30	6.20	SERNAP (S)
645	Río Calderillas (9)	500 m río abajo del pueblo de Calderillas	2938	300021	7593579	09/11/06	123	21	5.86	Fonds LIII

Cont. Anexo 1.

Sitio	Río o quebrada	Ubicación de la estación	Tipo	Altura (m)	UTM X	UTM Y	Fecha	BMP	No Taxones	ASPT	Patrocinador
Subcuenca del Río Pinos											
431	Río Pinos	abajo confluencia con río dicho Sola, arriba puente	P, 2	2000	310744	7605923	23/11/04	136	26	5.23	INIBREH
635	Río Pinos	arriba confluencia con río dicho Sola, (est. 640)	P, 1	2004	310291	7604949	20/10/06	154	29	5.31	Fonds LIII
680	Río Pinos	Pinos Central: campiña, a nivel de la aldea de Pinos Norte	E, 1	2053	307511	7600079	03/02/07	26	7	3.71	DCA
624	Río Pinos	río arriba población de Pinos Sur	P, 1	2161	304929	7594695	11/10/06	180	31	5.81	PROMETA
Subcuenca del Río Mena											
610	Río Mena	arriba confluencia con Río Tolomosa Grande	P, 1	1918	316258	7606356	29/09/06	109	21	5.19	PROMETA
609	Río Mena (10)	a la altura de Pantí Pampa	P, 1	1956	313641	7604087	29/09/06	147	29	5.07	PROMETA
608	Río Mena (11)	río arriba embalse	E, 1	2027	308728	7596916	29/09/06	90	19	4.74	PROMETA
Subcuenca del Río Del Molino											
434	Río Tolomosa Chica (12)	150 m arriba confluencia con quebrada Seco	P, 2	1907	316956	7611204	24/11/04	141	27	5.22	INIBREH
644	Río San Andrés	50-100 m río abajo puente Tarija - San Andrés	P, 2	1960	312000	7609311	08/11/06	157	33	4.76	Fonds LIII
404	Río San Andrés	400 m río arriba puente Tarija - San Andrés	P, 2	1965	311495	7609018	21/10/04	106	21	5.05	IICCA
623	Río San Andrés	estribación	P, 1	2111	306938	7608962	10/10/06	118	21	5.62	COSAALT
622	Río Del Molino	estribación, río arriba captación	P, 1	2226	309838	7612938	10/10/06	139	24	5.79	COSAALT
Subcuenca del Río Seco											
632	Río Seco	50 m antes confluencia con Río Tolomosa Chica	E, 2	1905	316960	7611356	18/10/06	115	23	5.00	Fonds LIII
633	Río Seco	entre confluencia con los Ríos Guerra Waykho y Tolomosa Chica	P, 2	1913	316418	7611260	19/10/06	136	29	4.69	IICCA
660	Río Guerra Waykho	puente camino Tarija - San Andrés, río abajo población	E, 1	1988	312382	7611563	25/11/06	138	27	5.11	DCA
634	Río Guerra Waykho	estribación, río arriba captación	P, 1	2138	310393	7612632	19/10/06	204	33	6.18	IICCA
Cuenca del Río Santa Ana											
602	Río Santa Ana	puente camino Tarija - Padcaya	P, 3	1774	329887	7608114	24/09/06	79	15	5.27	Fonds LIII
674	Río Santa Ana	a la altura de Casa Real, 100 m arriba confluencia con Río San Agustín	E, 3	1854	335100	7612962	24/01/07	32	7	4.57	DCA
675	Río San Agustín	a la altura de Casa Real, 50 m arriba confluencia con Río Santa Ana	E, 1	1855	335103	7612806	24/01/07	15	3	5.00	DCA
657	Río Yesera	Yesera Central, vado "el Taco"	P, 2	2206	338725	7633272	22/11/06	145	26	5.58	Fonds LIII
614	Río Yesera	río arriba puente y población de Ysera Norte	P, 1	2290	339589	7636988	02/10/06	148	26	5.69	Fonds LIII
Cuenca del Río Camacho											
711	Río Camacho	100 m antes confluencia con Río Guadalquivir	P, 4	1677	331797	7600999	27/07/07	89	16	5.56	DCA
414	Río Camacho	400 m antes confluencia con Río Guadalquivir (13)	P, 4	1681	331513	7600862	04/11/04	76	14	5.43	SERNAP (T)
627	Río Camacho	urondo (Concepción), río 600 m arriba puente	P, 4	1757	329073	7598677	13/10/06	108	23	4.70	Fonds LIII
702	Río Camacho	2.5 km río arriba población de Chocloca	P, 4	1807	318878	7591484	12/07/07	143	24	5.96	DCA
628	Río Alizos	arriba confluencia con Río Camacho y el pueblo de Juntas	P, 4	1884	314371	7586611	14/10/06	120	21	5.71	Fonds LIII
629	Río Camacho	arriba confluencia con Río Alizos	P, 3	1912	313513	7584063	14/10/06	122	22	5.55	Fonds LIII
630	Río Cañas	río arriba vado Camacho - Chaguaya y población de Cañas	P, 3	2046	308097	7576625	14/10/06	143	25	5.72	Fonds LIII
405	Río Camacho	400 m río abajo puente Camacho - Canchas Mayu	P, 3	2164	303101	7577901	26/10/04	162	28	5.79	SERNAP (S)
616	Río La Huerta	20 m río arriba vado Camacho - La Palca	P, 1	2381	299762	7575899	03/10/06	170	28	6.07	Fonds LIII
615	Río Rejara	río arriba pueblo de La Palca, puente de peatones	P, 2	2585	296889	7571619	03/10/06	162	27	6.00	Fonds LIII

Cont. Anexo 1.

Sitio	Río o quebrada	Ubicación de la estación	Altura (m)	UTM X	UTM Y	Fecha	BWMP	No Taxones	ASPT	Patrocinador
Otros afluentes mayores del Río Guadalquivir										
710	Río Chamata	rio arriba población de Trancas y la pequeña represa	2216	309470	7642397	24/07/07	131	21	6.24	DCA
424	Río Corana	rio abajo piscinas naturales	2090	317245	7640771	13/11/04	124	24	5.17	RCA
703	Río Carachi Mayu	antes confluencia con Río Guadalquivir, abajo del escuela	2039	318929	7636618	15/07/07	83	18	4.61	DCA
625	afluente Carachi Mayu	rio arriba puente y población	2185	321123	7640760	12/10/06	162	31	5.23	Fonds LIII
438	Río San Lorenzo	100 m rio abajo pueblo	2000	318822	7630684	27/11/04	66	15	4.40	RCA
626	Río San Lorenzo	aguas arriba vado, cerca de 500 m rio arriba pueblo	2066	317313	7631427	12/10/06	78	22	3.55	Fonds LIII
621	Río Calama	rio arriba puente Tomaittas - San Lorenzo	1960	318575	7629802	09/10/06	183	37	4.95	Fonds LIII
667	Río Jurina	100 m rio abajo chorro central	2101	311312	7629347	12/12/06	120	23	5.22	DCA
673	Río Sella	50 m antes confluencia con rio Guadalquivir	1945	318566	7624838	23/01/07	17	4	4.25	DCA
682	Río Sella	población Sella, 10 m rio arriba puente	2108	324250	7633746	04/02/07	65	10	6.50	DCA
683	Río Sella	zona las quebradas	2162	327184	7633787	04/02/07	26	5	5.20	DCA
417	Río Erquis	15 m antes confluencia con Río Guadalquivir	1931	317645	7621549	09/11/04	78	17	4.59	RCA
439	Río Erquis	10 m rio abajo fuentes de Tomaittas, ribers izquierda y derecha	1935	317496	7621692	29/11/04	125	27	4.63	RCA
510	afluente del Río Erquis	entre fuentes de Tomaittas y desembocadura del Río Coimata	1949	316682	7622022	15/03/06	17	5	3.40	DCA
505	Río Erquis	Tomaittas, 500 m rio arriba puente	1940	317190	7621852	01/04/06	43	10	4.30	DCA
704	Río Erquis	estribación, rio arriba captación	2328	309724	7624080	16/07/07	169	26	6.50	DCA
504	Río Coimata	5 m rio arriba vado camino, parada de trufis	2068	312955	7621864	30/03/06	100	18	5.56	DCA
402	Río Coimata	estribación, ca 100 m rio arriba piscina natural de Coimata	2106	312477	7622017	19/10/04	149	25	5.96	SERNAP (S)
506	Río Victoria	100 m rio arriba vado por peatones	1944	317020	7621344	01/03/06	16	5	3.20	DCA
407	Río Victoria	estribación, rio arriba captación	2300	308864	7615745	27/10/04	135	22	6.14	SERNAP (S)
Pequeños afluentes del Río Guadalquivir, alrededor de Tarja										
727	qda del zoo	10-100 m antes confluencia con Río Guadalquivir	1885	319670	7618040	20/11/07	44	10	4.40	FLV
604	qda Verdún (14)	rio arriba camino Tarja - Los Parrales	1930	319058	7618045	27/09/06	60	14	4.29	Fonds LIII
605	qda Sagredo	400 m antes confluencia con Río Guadalquivir	1868	320151	7616840	27/09/06	7	5	1.40	Fonds LIII
706	qda Sagredo	barrio Senac	1930	317974	7617169	18/07/07	132	28	4.71	DCA
668	qda Sagredo	barrio Alto Senac	1957	317057	7617411	21/12/06	99	23	4.30	DCA
423	qda El Monte + San Pedro	caudal común, escuela policial	1843	322056	7615736	13/11/04	35	13	2.69	RCA
422	qda San Pedro	10-50 m arriba confluencia con quebrada del Monte	1844	322071	7615893	13/11/04	19	8	2.38	RCA
420	qda El Monte	200 m rio abajo puente de la avenida Jaime Paz Zamora	1850	321835	7616689	12/11/04	36	13	2.77	RCA
419	qda El Monte	puente quebrada El Monte, avenida Jaime Paz Zamora	1854	322027	7616808	12/11/04	23	10	2.30	RCA
659	sumidero	puente quebrada El Monte, avenida Jaime Paz Zamora	1855	322028	7616808	25/11/06	1	1	1.00	Fonds LIII
403	qda San Blas	ca 500 m rio abajo fuente, medio Churque	1832	323060	7613080	20/10/04	34	9	3.78	RCA
631	qda Torrecillas (15)	San Luis, justo arriba confluencia con Río Guadalquivir	1815	325047	7611995	17/10/06	20	9	2.22	Fonds LIII
436	qda Torrecillas (15)	San Luis, rio abajo puente San Luis - El Angosto	1831	324824	7613087	25/11/04	11	5	2.20	INIBREH
656	qda Torrecillas (15)	Salida de las lagunas de oxidación, sitio semi natural	1841	324789	7614486	20/11/06	6	3	2.00	Fonds LIII
619	qda del Matadero	justo arriba confluencia con Río Guadalquivir	1807	325581	7611503	04/10/06	27	10	2.70	Fonds LIII
437	qda del Matadero	medio Churque, 650 m rio arriba embocadura con Río Guadalquivir	1820	325738	7611980	25/11/04	11	4	2.75	INIBREH

Cont. Anexo 1.

Sitio	Río o quebrada	Ubicación de la estación	Altura (m)	UTM X	UTM Y	Fecha	BMP	No Taxones	ASPT	Patrocinador
Cuenca del Río Bermejo										
679	Río Orosas	río arriba pueblo	2281	331654	7576258	27/01/07	79	14	5.64	DCA
658	Río Orosas	abajo pueblo, 50 m río abajo puente Padcaya - Bermejo	1820	325429	7573261	23/11/06	94	19	4.95	SERNAP (T)
712	Río Rosillas	río arriba camino Padcaya - Chaguaya	2032	315346	7576438	09/08/07	137	27	5.07	DCA

Notas:

- (1) El Río Guadalquivir está definido como naciendo en la confluencia de los Ríos Chamata y Trancas
- (2) est. 401: este sitio ya no existe tal cual, por modificación del lecho del río por trabajos de ingeniería civil
- (3) El Río Guadalquivir cambia de nombre río abajo de La Angostura y se vuelve Río Tarija
- (4) est. 707, 708, 606, 613: Río Tolomosa (antiguamente: Río Mena) = tronco común de los Ríos Tolomosa Grande y Mena
- (5) est. 611, 501 y 433 (ver Anexo 2): Río Tolomosa Grande = tronco situado entre la confluencia de los Ríos Pinos y Sola y la confluencia de los Ríos Tolomosa y Mena
- (6) Quebrada Pajcha = Río Chorro = afluente del Río Tolomosa Grande, solamente permanente en partes alta y baja
- (7) Proviendo de vertientes, cuenca del Río Sola
- (8) Proviendo de vertientes, cuenca del Río Sola
- (9) Río Calderillas = parte alta del Río Sola
- (10) Esta agua proviendo del Río Pinos
- (11) est. 608: curso reducido en una serie de charcos en temporada seca (situación prevaleciendo en el momento del muestreo)
- (12) Río Tolomosa Chica = antiguamente Río del Molino = parte abajo del Río San Andrés
- (13) Quebrada Verdún = quebrada San Antonio (barrio San Antonio de la ciudad Tarija)
- (15) Quebrada Torrecillas = quebrada de las lagunas de oxidación de Tarija

Tipo: P= río permanente, E= río efímero. Nombre= orden de Strahler según mapa IGM 250.000

Patrocinador: explicación de las abreviaciones en la parte Agradecimientos. DCA, RCA, FLV: bajo iniciativa propia de los autores

Anexo 2. Sitios muestrados después de 6 meses, 1 año o 2 años

Sitio	S = Seleccionado	Río	Ubicación de la estación	Fecha y patrocinador	Régimen	Índice de Jaccard				Cambio de clase
						BIMWP	No de Taxones	ASPT		
408	S	Guadalquivir	río abajo nucleo Trancas	27/10/04, SERNAP (S)	estiaje	144	28	5.14		
684		Guadalquivir	río abajo nucleo Trancas	5/02/07, DCA	flujo normal después de riada	0.41	93	17	5.47	+1
418	S	Guadalquivir	punto Carachi Mayu	9/11/04, RCA	estiaje	103	21	4.90		
642		Guadalquivir	punto Carachi Mayu	4/11/06, Fonds LIII	riada menos intensa	0.36	91	17	5.35	+0.5
620	S	Guadalquivir	antes Río Sella	8/10/06, Fonds LIII	estiaje	124	26	4.77		
672		Guadalquivir	antes Río Sella	23/01/07, DCA	riada	0.12	16	3	5.33	+1
412		Guadalquivir	Tarija, puente San Martín	3/11/04, RCA	estiaje después pequeña riada	0.47	67	14	4.79	
655		Guadalquivir	Tarija, puente San Martín	16/11/06, Fonds LIII	estiaje después de riada	0.47	67	14	4.79	0
726	S	Guadalquivir	Tarija, puente San Martín	22/08/07, DCA	estiaje de invierno	0.52*	77	18	4.28	0
416		Guadalquivir	Tarija, el Tejar	8/11/04, RCA	estiaje	0.45	59	15	3.93	
502	S	Guadalquivir	Tarija, el Tejar	26/11/05, DCA	estiaje	0.45	62	16	3.88	0
413		Guadalquivir	antes Río Camacho	4/11/04, SERNAP (T)	estiaje después pequeña riada	0.38	24	7	3.43	
617	S	Guadalquivir	antes Río Camacho	4/10/06, SERNAP (T)	estiaje	0.38	42	11	3.82	0
421		Guadalquivir	La Angostura	12/11/04, SERNAP (T)	pequeña riada	0.40	33	8	4.13	
601	S	Guadalquivir	La Angostura	24/09/06, Fonds LIII	estiaje	0.40	52	13	4.00	-0.5
433		Tolomosa Grande	antes confluencia Río Mena	24/11/04, INIBREH	estiaje	0.45	124	25	4.96	
611	S	Tolomosa Grande	antes confluencia Río Mena	30/09/06, Fonds LIII	estiaje	0.45	162	30	5.40	+1
503		quebrada Pajcha	afluente del Río Tolomosa	29/04/06, PROMETA	flujo normal	0.36	105	21	5.00	
639	S	quebrada Pajcha	afluente del Río Tolomosa	2/11/06, UAJMS	estiaje después de riada	0.36	79	17	4.65	-1
435		Mena	ante Río Tolomosa	24/11/04, INIBREH	estiaje	0.52	84	17	4.94	
610	S	Mena	ante Río Tolomosa	29/09/06, PROMETA	estiaje	0.52	109	21	5.19	+0.5
664		Tarija	2.25 km abajo la Angostura	6/12/06, DCA	estiaje después de riada	0.05	64	13	4.92	
701	S	Tarija	2.25 km abajo la Angostura	11/07/07, DCA	estiaje de verano	0.05	40	9	4.44	-0.5
439		Erquis	fuentes de Tomatitas	29/11/04, RCA	estiaje, fuentes a la derecha e izquierda	0.5	125	27	4.63	
705	S	Erquis	fuentes de Tomatitas	18/07/07, DCA	estiaje, fuentes izquierda	0.5	105	20	5.25	+1
402		Coimata	río arriba captación	19/10/04, SERNAP (S)	estiaje después de invierno	0.55	149	25	5.96	
641	S	Coimata	río arriba captación	4/11/06, UAJMS	estiaje después de riada	0.55	196	34	5.76	0
676		quebrada Sagredo	barrio Senac	25/01/07, DCA	estiaje después de lluvias de verano	0.3	65	14	4.64	
706	S	quebrada Sagredo	barrio Senac	18/07/07, DCA	estiaje de invierno	0.3	132	28	4.71	0
404		San Andrés	400 m río puente arriba	21/10/04, RCA	estiaje	0.46	106	21	5.05	
511	S	San Andrés	20 m río puente arriba	25/04/06, DCA	estiaje después de riada	0.46	72	14	5.14	0
440		Santa Ana	antes confl. Guadalquivir	1/12/04, RCA	estiaje después de riada	0.18	22	5	4.40	
602	S	Santa Ana	antes confl. Guadalquivir	24/09/06, Fonds LIII	estiaje	0.18	79	15	5.27	+1

Variabilidad del índice BIMWP – ASPT en un mismo sitio muestreado a intervalos de 6 meses, 1 año o 2 años. La diferencia de calidad biológica de una muestra a la siguiente, medida por medio del índice ASPT, está expresada en unidades de clase. Una diferencia de una media clase significa que se pasa de un valor del índice ASPT a un valor ubicado en 10% del rango de la clase adyacente (ver los límites de clases en el Cuadro 2). Patrocinador: explicación de las abreviaciones en la parte 'Agradecimientos'. DCA, RCA: vejo iniciativa propia de los autores. *: el índice de similitud de Jaccard valer 0.48 entre los sitios 726 y 412. S: muestra retenida en el Anexo 1 y la Fig. 4; esta selección está determinada, en orden, por las preferencias siguientes:

- 1) Estiaje de invierno si ningún cambio de origen antrópico está constatado
- 2) La muestra más completa en número de hábitats (cuando el lecho del río está trezado, éste cambia de un año a otro en función de la llegados del río y no permite hacer de nuevo un muestreo en condiciones idénticas);
- 3) El muestro más reciente
- 4) Un esfuerzo de muestro estandarizado (es por eso que la muestra 641 realizada en Coimata en 2006 no fue retenida porque tuvo un esfuerzo de muestro superior a la normal durante un ejercicio destinado a los estudiantes de la UAJMS (30 operadores en el lugar de 1 o 2).