

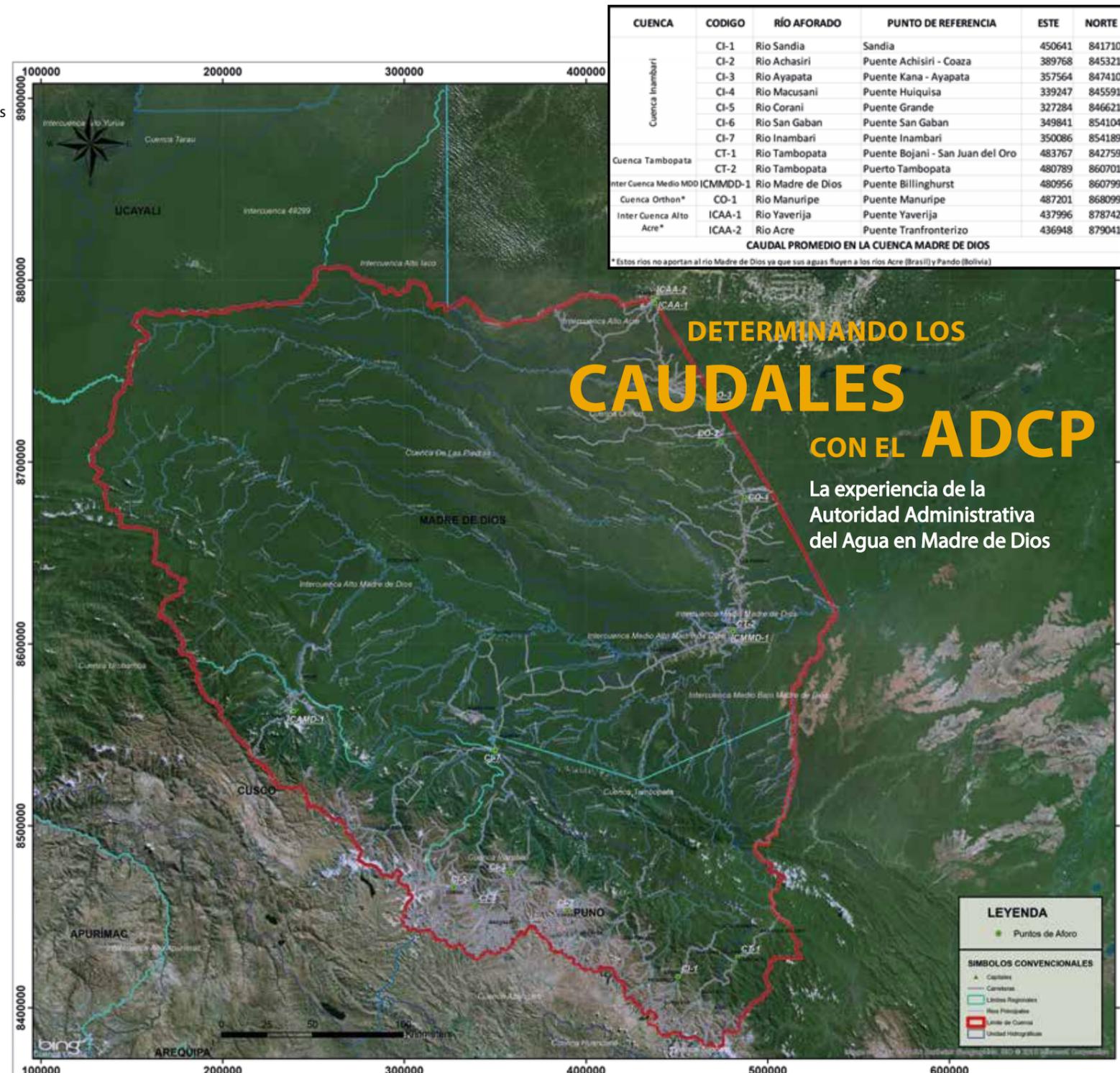
RESUMEN

Este artículo presenta resultados de mediciones de caudal en ríos principales localizados en el ámbito de la Autoridad Administrativa del Agua XIII – Madre de Dios, donde actualmente se desarrolla una campaña de aforos usando la tecnología ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). El objetivo fundamental es generar información hidrométrica que permita mejorar la toma de decisiones y, en consecuencia, la planificación y gestión de los recursos hídricos.

En esta campaña, se aforó un total de doce ríos principales en seis cuencas hidrográficas, ubicadas en dos regiones naturales (Sierra y Selva), cuya altitud varía desde los 4 137 hasta los 232 m.s.n.m., y distribuidas en tres regiones políticas: Madre de Dios, Puno y Cusco.

El uso del equipo ADCP permitió realizar la primera campaña de aforos en los ríos principales de la Unidad Hidrográfica Madre de Dios, lográndose obtener información de caudales, velocidades, secciones transversales, cargas de sedimentos y profundidad hidráulica. Esta información hidrométrica constituye un elemento importante y necesario para la planificación y gestión de los recursos hídricos de las cuencas hidrográficas en estudio.

La metodología incluye: primero, la instalación del equipo; segundo, su calibración; y, finalmente — considerando el ámbito, tipo de río y ubicación del punto de aforo— la medición o aforo, ya sea con ayuda de una persona a cada lado de la margen del río, desde un puente o con el soporte de un bote.



DETERMINANDO LOS CAUDALES CON EL ADCP

La experiencia de la Autoridad Administrativa del Agua en Madre de Dios



INTRODUCCIÓN

Una de las principales debilidades para tomar decisiones en materia de recursos hídricos en la Unidad Hidrográfica Madre de Dios es la falta de información sobre hidrometría (volumen de agua disponible en la fuente y el grado de eficiencia de la distribución), profundidad de los ríos y otras características que nos permitan calcular secciones estables, determinar su comportamiento, predecir caudales, observar la calidad del agua y realizar actividades como el diseño de estructuras hidráulicas, navegación fluvial y recreación. La hidrometría es, asimismo,

importante para garantizar la seguridad contra las sequías e inundaciones y el funcionamiento adecuado de un sistema de alerta temprana.

Es por ello que, en el mes de abril, la Sub Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos (SDCPRH) de la Autoridad Administrativa del Agua XIII Madre de Dios, elaboró un plan de trabajo para realizar una campaña de aforos con el equipo ADCP —siglas del inglés Acoustic Doppler Current

Profiler (perfilador de corriente acústico Doppler)—, el cual se encontraba a cargo de la Oficina de Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (OSNIRH) en la sede central de Autoridad Nacional del Agua (ANA).

El equipo ADCP es un instrumento que mide la velocidad de los sólidos en suspensión en el agua a través de ondas sonoras y el eco que emiten los sólidos al rebotar en estos, y hace una comparación entre la señal emitida y recibida, hecho que se

denomina efecto Doppler. De esta manera, el instrumento entrega información procesada, como la velocidad puntual y la velocidad promedio del caudal de una corriente de agua. Asimismo, el equipo ADCP nos brinda información sobre la sección del río, como la profundidad a lo largo de todo el transecto, mostrando en pantalla la morfología del fondo del río. Una virtud del equipo ADCP es que se puede contar con la información de manera inmediata, la cual es emitida vía Bluetooth a un equipo de cómputo y procesada mediante un software, el cual procesa la data mientras el ADCP recorre el transecto a través del río. Mediante el software, se visualizan los perfiles del fondo del río y de velocidades, y se determina el caudal en forma rápida, así como la carga unitaria de sólidos en suspensión.

Con el propósito de remediar esta falta de información sobre la cuenca Madre de Dios, se llevó a cabo, en los meses de junio y julio, la primera campaña de aforos en temporada media en la Unidad Hidrográfica Madre de Dios. Para esto, se seleccionó, como puntos de aforo en los tributarios de cada cuenca, secciones conocidas (puentes) o después de confluencias; y se logró aforar doce ríos en seis cuencas hidrográficas, ubicadas en dos regiones naturales (Sierra y Selva), desde los 4 137 hasta los 232 m.s.n.m., y distribuidas en tres regiones políticas: Madre de Dios, Puno y Cusco.

METODOLOGÍA

La metodología fue desarrollada por el equipo de trabajo de la Sub Dirección de Conservación y Planeamiento de los Recursos Hídricos de la AAA Madre de Dios que, en primera instancia realizó pruebas preliminares de medición de caudales con el equipo ADCP en el río Chonta en el distrito de Tambopata y el río Manuripe en el distrito de Las Piedras, donde se identificaron aspectos importantes que se tomaron en cuenta para realizar la medición definitiva de manera correcta. Además, esto permitió implementar los equipos y materiales adecuados para la zona, garantizando la operación del equipo y seguridad del personal.

La campaña de aforos se inició en la parte alta de la cuenca hidrográfica Madre de Dios, específicamente, en los distritos de Sandia y San Juan de Oro en la Provincia Sandia y en los distritos de Coasa, Ayapata, Corani y Macusani en la Provincia de Carabaya. Esto se realizó con el propósito de aforar los ríos afluentes de la cuenca del río Inambari —tales como: Sandia, Achasiri, Ayapata, Macusani y Corani—, como también el río Tambopata, afluente de la cuenca del mismo nombre. El trabajo continuó en la parte media y baja de la cuenca.

En la parte media de la cuenca, los aforos de caudal incluyeron a los ríos San Gabán e Inambari, ubicados en los distritos de San Gabán e Inambari en las provincias de Carabaya y Tambopata respectivamente; ambos, afluentes de la cuenca del río Inambari.

Posteriormente, se llevó a cabo el aforo en los ríos Acre y Yaverija. Ambos son afluentes de la intercuenca Alto Acre y se localizan —en el límite fronterizo con los países vecinos de Brasil y Bolivia respectivamente— en el distrito de Iñapari, provincia de Tahuamanu, departamento de Madre de Dios. Finalmente, se programó el aforo de los ríos más importantes y más caudalosos, como son el Madre de Dios y el Tambopata, ubicados en la provincia de Tambopata. Para ello, se requirió de un tipo de metodología de aforo diferente a la utilizada en los ríos de la parte alta y media de la referida unidad hidrográfica, tal como se describe en los párrafos siguientes.

Los aforos realizados con el equipo ADCP utilizaron tres procedimientos de acuerdo al ámbito, tipo de río y ubicación del punto de aforo.

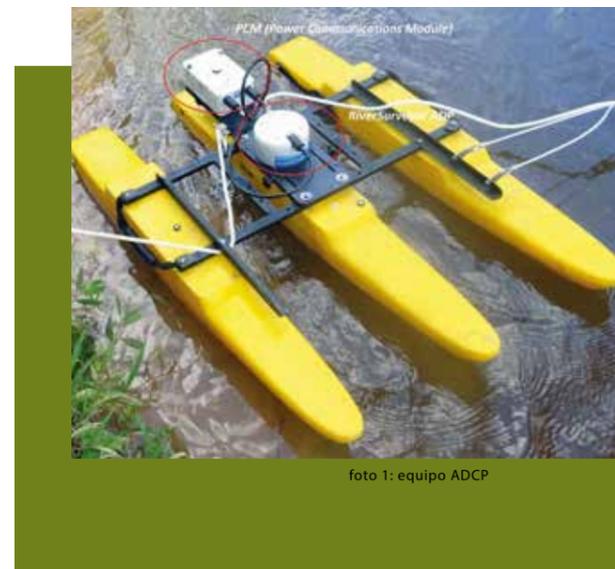


foto 1: equipo ADCP

Descripción e instalación del equipo

El equipo ADCP consta de tres partes principales: 1) el flotador de diseño especial donde se instalan las otras dos partes del equipo; se le denomina riverboat; 2) el módulo de comunicación mediante Bluetooth entre el ADCP que está en el río y un computador portátil que se encuentra en la orilla o en un bote; se le denomina PCM (Power Communications Module); y 3) el dispositivo que emite las ondas sonoras y que viene a ser el hardware del sistema Doppler; se le denomina RiverSurveyor ADP.



foto 2: calibración con giros

El riverboat consta de tres flotadores individuales unidos por medio de una estructura de un angular de aluminio de una pulgada (1"), y a este van anclados arneses de alambre de acero para su traslado en el río.

El PCM y el ADP, después de ser instalados en el riverboat, se conectan mediante un cable conector DIN de cinco puntas; previamente a esta conexión, se deberá colocar las baterías tipo AA en el PCM (foto 1).

Calibración del equipo

La calibración del equipo ADCP se realizó, con el apoyo de dos personas, mediante giros lentos e inclinaciones ligeras tanto de las personas como del equipo en un mismo punto de giro. Este proceso dura mínimamente dos minutos. El software nos indicará si la calibración fue óptima o no, de lo contrario, se repetirá el proceso (foto 2).



foto 3: atado con driza a ambos lados y recorrido del ADCP

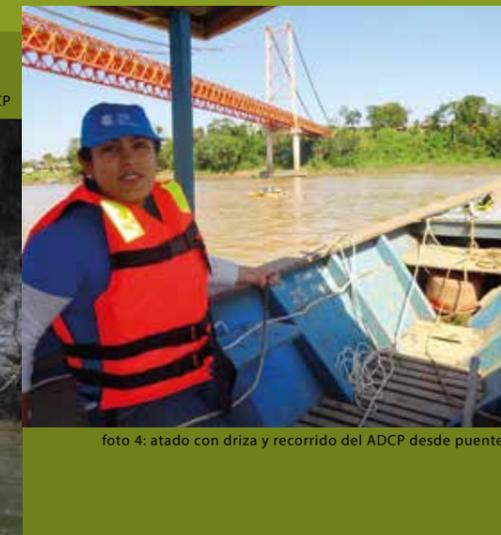


foto 4: atado con driza y recorrido del ADCP desde puentes



foto 5: aforo en el río Madre de Dios

Procedimiento de aforo

El aforo consistió en el recorrido del equipo ADCP desde la margen izquierda hacia la margen derecha del río y viceversa en una trayectoria perpendicular al cauce del río. Este procedimiento se realizó varias veces hasta obtener un resultado similar.

En los ríos de la parte alta de la cuenca —ríos de forma rectilínea, poco profundos, con pendientes pronunciadas,

estrechos y de baja carga de sedimentos, como los ríos Sandia, Achasiri, Ayapata, Macusani y Corani—, se ató con driza ambos lados del equipo ADCP con el fin de que pueda ser maniobrado por dos operadores ubicados a cada margen del río. Con esta estrategia, también se aforó los ríos de la parte baja de la cuenca, tales como el Yaverija y el Acre (foto 3).

En los ríos de la parte media de la cuenca, ubicados en ceja de selva, fue necesario emplear el apoyo de puentes cercanos a los puntos de aforo debido a la dificultad que la mayoría presentaba para acceder a sus riberas y cauces. Estos ríos, además, se caracterizan por sus pendientes pronunciadas y, aunque rectilíneos y estrechos, son profundos y de alta carga de sedimentos. La instalación y la calibración del equipo se ejecutó de la misma manera que en el caso anterior, variando únicamente en el procedimiento de aforo pues, en el caso de los ríos de la parte media, se hizo uso de los puentes para el recorrido del equipo en la sección establecida de una margen a otra. Cabe resaltar que, en este proceso de aforo, la driza utilizada para maniobrar el equipo ADCP fue en un solo sentido y contra la corriente. Los ríos aforados en la parte media y con esta estrategia fueron San Gabán, Inambari y Tambopata (parte alta). También, con esta misma estrategia, se aforó el río Manuripe de la parte baja de la cuenca (foto 4).

Finalmente, para el aforo de los ríos principales y de mayor caudal, se requirió una estrategia diferente. Por la magnitud de estos ríos, se utilizó un bote de aproximadamente catorce metros de longitud y un motor fuera de borda. Después de realizar la instalación y calibración del equipo, este se colocó debajo de la proa, principalmente, para alejarlo del sonido del motor del bote y para que no afecte las velocidades reales del río (foto 5).

Trabajo en gabinete

Con la información de los aforos obtenida en campo con ayuda del equipo ADCP, se ingresa al software RiverSurveyorLive desde el computador portátil. Allí se registran los diagramas de vista de planta del recorrido del ADCP a lo largo de la sección, el perfil de velocidades en el recorrido; así como, una tabla con información de distancias (anchos y profundidades), velocidades y caudales a lo largo del recorrido.



Las fotografías, mapas y cuadro de resultados que aparecen en el presente artículo han sido producto del trabajo conjunto de especialistas de la Sub Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos de la Autoridad Administrativa del Agua XIII – Madre de Dios.

RESULTADOS

El resumen de resultados de los caudales aforos se presenta en el cuadro siguiente:

Cuencas	Código	Río aforado	Punto de referencia	Este	Norte	caudal (m ³ /seg)
Cuenca Inambari	CI-1	Río Sandia	Sandia	450641	8417105	4,08
	CI-2	Río Achasiri	Puente Achisiri - Coaza	389768	8453218	1,77
	CI-3	Río Ayapata	Puente Kana - Ayapa	357564	8474105	3,60
	CI-4	Río Macusani	Puente Huiquisa	339247	8455911	2,58
	CI-5	Río Corani	Puente Grande	327284	8466211	5,18
	CI-6	Río San Gabán	Puente San Gabán	349841	8541045	404,09
	CI-7	Río Inambari	Puente Inambari	350086	8541898	639,61
Cuenca Tambopata	CT-1	Río Tambopata	Puente Bojani - San Juan del Oro	483767	8427592	13,09
	CT-2	Río Tambopata	Puerto Tambopata	480789	8607015	592,74
Inter Cuenca Medio Madre de Dios	ICMMDD-1	Río Madre de Dios	Puente Billinghamurst	480956	8607995	1687,77
Cuenca Orthon*	CO-1	Río Manuripe	Puente Manuripe	487201	8680990	48,00
Inter Cuenca Alto Acre	ICAA-1	Río Yaverija	Puente Yaverija	437996	8787427	2,22
	ICAA-2	Río Acre	Puente transfronterizo	436948	879041	4,86
CAUDAL PROMEDIO EN LA CUENCA MADRE DE DIOS						2280,51

* Estos ríos no aportan al río Madre de Dios ya que sus aguas fluyen a los ríos Acre (Brasil) y Pando (Bolivia)

CONCLUSIONES

Se ha desarrollado la primera campaña de aforos en los ríos principales de la Unidad Hidrográfica Madre de Dios utilizando la tecnología del ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), obteniéndose información de caudal, velocidades, secciones transversales, cargas de sedimentos y profundidad de los ríos. El trabajo incluye la confluencia de los ríos de la cuenca Alto Madre de Dios (río Manu) y la cuenca Las Piedras (río Las Piedras).

El resultado de aforos en los ríos Madre de Dios (a la altura del puente Billinghamurst) y Tambopata (a la altura del puerto o muelle Tambopata), indica un caudal total de 2 280,51 m³/seg. para la temporada media (meses de junio y julio).

La cuenca del río Orthon (ríos Manuripe, Muymanu y Tahuamanu) y la intercuenca alta del río Acre (ríos Yaverija y Acre) no son tributarias del río Madre de Dios; sin embargo, en este caso, la campaña de aforos tendrá mayor relevancia para la instalación del sistema de alerta temprana (SAT) piloto contra inundaciones en la región Madre de Dios (Perú), en Acre (Brasil) y en Pando (Bolivia).

Dada la importancia de la información hidrométrica para la toma de decisiones y mejorar la gestión de los recursos hídricos, se recomienda continuar con este trabajo.

PRÓXIMAS ACCIONES

Se ha programado realizar tres campañas de aforos por año para periodos de caudales mínimos (meses de setiembre y octubre), medios (mayo y junio) y máximos (enero y febrero) con la finalidad de determinar la oferta hídrica y obtener datos comparativos. Estas campañas, además, servirán para desarrollar una base de datos con información espacial y temporal, para ayudar a la toma de decisiones y mejorar la gestión de los recursos hídricos.

Asimismo, los resultados serán presentados a las entidades públicas involucradas en la gestión de recursos hídricos para su conocimiento y futura cooperación en las campañas de aforo programadas.