

Impactos mineros, agropecuarios y de la conservación en la calidad del agua y los sedimentos, cuenca Tambopata, Madre de Dios

Tania Gutiérrez¹ y Carlos Llerena²

Recibido: 29 junio 2019 | Aceptado: 22 julio 2019

RESUMEN

Se determinó y comparó el impacto de las actividades minera, agropecuaria y de conservación en la calidad del agua y sedimentos de la cuenca baja del río Tambopata, Madre de Dios, en época de creciente; a fin de determinar qué tipo de uso es el que más afecta al ecosistema acuático. El área de estudio fue dividida en tres zonas, minera, agropecuaria y de conservación, en las cuales se tomaron muestras de calidad de agua: temperatura, oxígeno disuelto y pH (in-situ), conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y turbidez; y de sedimentos de orillas del río: arsénico, cadmio y plomo (absorción atómica), cromo (método colorimétrico) y mercurio (absorción atómica por arrastre de vapor frío). Los valores fueron comparados con los estándares nacionales de calidad de agua y con los estándares canadienses de calidad de sedimento. Además, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para determinar diferencia significativa entre la calidad de agua y sedimentos de los tres usos analizados. La actividad de conservación presentó la mejor calidad de agua y sedimentos, ya que sólo la turbidez no cumple con los estándares. La minería presentó la peor calidad al tener tres indicadores el pH, la turbidez y el arsénico que no cumplen con los estándares. Asimismo, se demuestra que hay diferencia significativa entre las actividades evaluadas en los indicadores de temperatura, plomo y arsénico. Por ello, se demuestran los beneficios que tienen la actividad de conservación sobre la calidad de agua y sedimentos.

Palabras clave: Calidad de agua y sedimentos, Cuenca del río Tambopata, Minería, Actividad agropecuaria y conservación.

¹ Sociedad Peruana de Ecodesarrollo, taniaglt@gmail.com

² Universidad Nacional Agraria La Molina

ABSTRACT

It was determine the impact of mining, agriculture and conversation activities on the water and sediments quality in the lower basin of the Tambopata River in Madre de Dios (Peru), during the rainy season; in order to define which activity generate more affectations on the water and sediments quality. The study area was divided into three zones mining, agricultural and conservation; at each zone three samples of water and sediment were taken. From water samples were measured: temperature, dissolved oxygen, pH, conductivity, ammonia nitrogen, suspended solids, dissolved solids and turbidity. On the other hand, arsenic, cadmium, lead (atomic absorption), chromium (colorimetric method) and mercury (atomic absorption by cold vapor drag), were measured from sediment samples. The results were compare with the National Water Quality Standards and the Canadian Standards for sediments. Furthermore, the Kruskal-Wallis test was apply to confirm significant differences between water and sediment quality of the three activities. The best water and sediments quality was take it in the conservation zone with only the turbidity not meeting the standards. The worst water and sediments quality appeared in the mining area with pH, turbidity and arsenic not meeting the standards. The results also showed significant differences in temperature, lead, and arsenic of the three activities. The benefits of the conservation activity on the water and sediments quality are demonstrate.

Key words: Water quality, Sediment quality, Tambopata river basin, Mining, Agriculture and conservation.

INTRODUCCIÓN

En Madre de Dios existen problemas ambientales que atentan contra la salud de las personas y el ecosistema, siendo la contaminación de las fuentes de agua uno de los problemas ambientales más graves en la región (MINAM, 2010). Diversos estudios, mencionados líneas debajo, señalan el impacto negativo de la minería sobre las cuencas de Madre de Dios.

Una de las cuencas más importantes de la región de Madre de Dios es la cuenca el río Tambopata, la cual posee una alta biodiversidad. Por ello, el 62% de su territorio se encuentra protegido mediante el Sistema Nacional de Áreas Protegidas, a través de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene (MINAM, 2010). La cuenca tiene sus nacientes en

el departamento de Puno y posee una extensión de 1 328 050 hectáreas y un rango altitudinal que va desde 3 800 m.s.n.m hasta los 200 m.s.n.m. (ANA, 2010a). Por otro lado, el río Malinosky, el principal afluente del río Tambopata, nace en la cordillera del Carabaya a unos 500 m.s.n.m. (Barbieri, 2004).

En Madre de Dios, la DIRESA (2013) reporta contaminación de ríos con metales pesados producto de la actividad minera. INRENA (2003, citado por Mosquera 2009) y Barbieri (2004) encontraron contaminación con mercurio en los sedimentos asociados a la minería. El ANA (2010b) señaló alto contenido de metales pesados en la cuenca del Inambari. Diringer (2014) indica contaminación con mercurio en el río Madre de Dios. La contaminación con mercurio en los sedimentos es muy

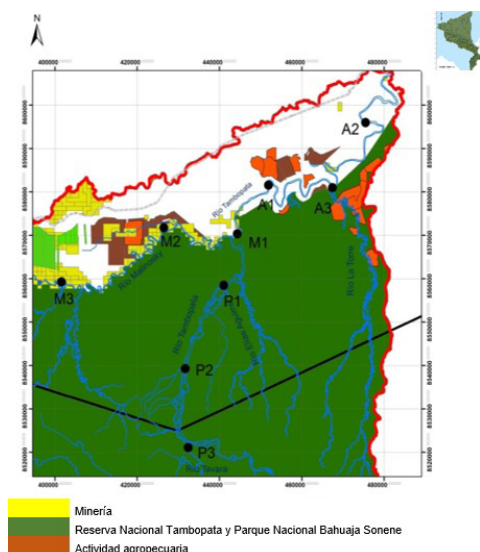


Figura 1. Mapa de ubicación de los puntos de muestreo.

alta triplicando en algunas cuencas del departamento los límites máximos permisibles (IIAP y MINAM, 2011).

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

La cuenca baja del río Tambopata abarcando el sur de Madre de Dios y el área limítrofe con Puno, cuenta con una extensión aproximada de 130 600 hectáreas y un rango altitudinal, entre los 400 m.s.n.m y los 200 m.s.n.m.

Definición de la época de evaluación y segregación del área de estudio en las tres zonas de evaluación

La evaluación se realizó en la época de creciente del año 2013, específicamente en los meses de febrero y marzo. Esto por motivos de accesibilidad y para analizar si la contaminación se expande, ya que en época de creciente se puede dar mayormente este proceso.

El área de estudio fue dividida en tres zonas minera, agropecuaria y de conservación con base a información secundaria e información primaria (pre recorrido de la zona). La sub-cuenca del Malinosky se definió como zona minera. La zona agropecuaria fue definida como el área aluvial cercana al río Tambopata desde 50 km. de cauce aguas debajo de Puerto Maldonado hasta el Puesto de Control y Vigilancia (PCV) Malinosky. La zona de conservación fue delimitada como aguas arriba del PCV Malinosky (fin del área de amortiguamiento del Parque Nacional Bahuaja Sonene y la Reserva Nacional Tambopata).

Definición del número y la ubicación de los puntos de muestreo

Se definieron nueve puntos de muestreo, tres por cada actividad a evaluar, teniendo en cuenta la accesibilidad, la seguridad y consideraciones estadísticas, siendo la accesibilidad y la seguridad los factores más importantes. Por otro lado, la ubicación de los puntos de muestreo se definió considerando la segregación del área del estudio, la accesibilidad, la seguridad y la ubicación de los puntos de muestreo que evalúa la DIRESA (2013) y el ANA (2010b). La ubicación de estos se detalla en el Cuadro 1.

Determinación de los indicadores de calidad de agua y sedimento y su metodología de análisis

En el agua se evaluó: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, turbidez y nitrógeno amoniacal; porque son prioritarios y capaces de medir la influencia del uso

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

Código	Actividad evaluada	Ubicación
M1	Minería	Río Tambopata a 50 metros aguas abajo de la confluencia con el río Malinosky
M2		Río Malinosky cerca al puerto de la asociación minera APAYLOM
M3		Río Malinosky aguas arriba del río Azul en el C.P Puerto Azul
A1	Agropecuaria	Río Tambopata en el C.P Baltimori
A2		Quebrada Chonta a 3 metros de la confluencia con el río Tambopata
A3		Río Tambopata a 100 metros aguas arriba de la confluencia con el río La Torre
P1	Protección	Río Tambopata aguas debajo de la confluencia con el río Elías Aguirre
P2		Río Tambopata sector Playa 28 o Collpa Colorado
P3		Río Távara a 100 metros aguas arriba de la confluencia con el río Tambopata

del suelo en la calidad del agua. Por otro lado, en sedimento se determinaron los metales pesados de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo; escogidos en base a su alta toxicidad y porque el mercurio y compuestos como el plomo, están vinculados a la actividad minera. Los metales pesados se determinaron en sedimento y no en agua, porque debido a su elevada densidad, estos tienden a precipitar y acumularse en los sedimentos y tienen una gran capacidad de adsorción por estas partículas.

La metodología consistió en primer lugar, realizar una descripción general de los puntos de muestreo, (ubicación, altura, fecha y hora de evaluación, entre otros. Después, se evaluaron los indicadores de calidad de agua. La temperatura, el pH y el oxígeno disuelto se determinaron *in-situ*; empleándose

un oxímetro (Hanna, modelo HI 9026) para medir la temperatura y el oxígeno disuelto y un potenciómetro para determinar el pH (Extech, modelo HI 9146). En todos los casos se hicieron tres medidas de cada uno de los indicadores y se anotó el promedio de estos. Para la evaluación de los otros parámetros se colectó agua y con esta se llenaron 3 botellas de plástico de 1 litro. Una para el análisis de conductividad eléctrica y sólidos disueltos, otra para determinar sólidos suspendidos y turbidez y una última para el análisis de nitrógeno amoniacal. Cada botella fue etiquetada y almacenada y fueron llevadas al laboratorio. La conductividad fue determinada usando un conductímetro; los sólidos disueltos se determinados aplicando 180°C el agua; los sólidos suspendidos aplicando 103-105 °C al agua y luego filtrándola con filtro de 0,45 micrómetros; la turbidez se halló

Cuadro 2. Resultados de calidad de agua en cada uno de los puntos evaluados y valor promedio por cada actividad evaluada.

Punto/ promedio por activi- dad	Temp. (°C)	pH	Oxígeno disuelto (ppm)	Conduct. (uS/cm)	Sólidos disuel- tos (mg/l)	Sólidos susp. (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrógeno amoniacoal (mg/l)
M1	26,6	7	8,74	46,6	30	120,4	989	0,322
M2	26,2	5,82	10,63	15,14	10	146,4	227	0,043
M3	29,5	5,66	6,6	16,88	13	175,3	353,5	0,022
Promedio Minería	27,4	6,16	8,74	26,2	17,7	147,4	523,2	0,129
A1	26	6,88	10,5	40,2	25	192,8	758	0,245
A2	25,9	6,78	7,3	21,7	16	19,2	14,1	0,259
A3	25,5	6,83	8,1	40,6	26	118,9	849	0,363
Promedio Agropecuaria	25,8	6,83	8,63	34,17	22,3	110,3	540,4	0,289
P1	25,2	7,07	9,2	50,6	33	233	327	0,393
P2	25,1	7,17	7,82	17,1	12	40,5	55,4	0,254
P3	24,5	7,4	8,9	149	95,5	117,2	183	0,281
Promedio Conservación	25,8	6,83	8,63	34,17	22,3	110,3	540,4	0,289
Promedio general	26	7,02	8,65	44,2	28,9	131,5	417,3	0,242
Estándar (MINAM, 2008)	N.A.	6,5 - 8,5	≥6	1500	1000	400	5	1,5

Nota: En rojo están los valores que no cumplen con el estándar.

mediante el método nefelométrico, y el nitrógeno amoniacoal se determinó empleando el método selectivo con electrodo.

Por último, se determinó la presencia de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo en los sedimentos, se colectó una muestra de 1,5 kg de sedimento de las orillas de los cuerpos de agua. Luego, de almacenarlas y etiquetarlas las muestras se transportaron a Lima para ser analizadas en laboratorio. Las metodologías de análisis fueron

las siguientes: arsénico (absorción atómica con reducción de borohidru-ro), cadmio (absorción atómica de aspiración directa), cromo (método colorimétrico), mercurio (absorción atómica con arrastre de vapor frío) y plomo (absorción atómica de aspira-ción directa).

Diseño experimental

Los indicadores medidos en agua fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental, (MINAM

2008), escogiéndose la Categoría 1 “Poblacional y recreacional”, clase A1 “Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección”. Los metales pesados evaluados en sedimento fueron comparados con los estándares de las “Directrices de Calidad Ambiental Canadiense” (EQG, 1999). Esta comparación se realizó de manera individualizada, utilizando un valor promedio por cada actividad evaluada. Se consideró como más contaminante a la actividad que presentará un mayor número de indicadores que no cumplen con los estándares. En el **Cuadro 2** en la parte inferior figura el valor del estándar de calidad de agua; y en el **Cuadro 3**, se detalla el valor del estándar de calidad de sedimento. Cabe mencionar, que, al tomarse las muestras en el 2013, se emplearon los estándares vigentes en ese periodo.

En un segundo análisis se usó la prueba de Kruskal-Wallis, para determinar si hay diferencia significativa entre los indicadores de calidad de agua y sedimento de la actividad minera, agropecuaria y de conservación, usándose un nivel de significancia $\alpha = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La temperatura del agua es relativamente mayor en la zona minera. Esto se debe a que los rayos solares penetran de manera más directa en el agua gracias a la deforestación de la vegetación ribereña. La temperatura es un indicador muy importante, ya que influye en los procesos biológicos y reacciones químicas que ocurren en el agua, como son la precipitación, la absorción de oxígeno, la metilación, la respiración, etc. (Poch, 1999).

El pH no cumple con el estándar en la zona minera. El pH es un indicador de la salud del ecosistema; valores que no cumplen con el estándar indican contaminación, la cual en este caso es de origen minero. Esto se puede deber al potencial de acidificación de la minería, ya sea por la contaminación causada por el uso de insumos químicos que luego terminan en la corriente de agua, o por la mayor erosión que genera mayor entrada de sólidos y sedimentos potencialmente contaminantes. Actividades como la agropecuaria y la conservación, que en la zona de estudio no usan o usan de manera muy limitada insumos químicos, no generan pH ácidos. Los bajos valores de este indicador afectan a las comunidades de peces y la calidad del agua para consumo humano, además facilita la disolución de metales pesados y son catalizadores de reacciones como las de metilación que los hacen más tóxicos (Klarenberg, 2004; Lú, 2001; Poch, 1999).

Respecto al oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica, los sólidos disueltos, los sólidos suspendidos y el nitrógeno amoniacal se aprecia que cumplen con los estándares. Sin embargo, en el centro poblado Puerto Azul (punto de muestreo M3), se muestra el menor contenido de oxígeno disuelto, lo que, sumando al menor pH, puede estar indicando contaminación.

La turbidez no cumple con el estándar de calidad de agua, estando muy por encima del ECA en todos los puntos evaluados, lo que induce a pensar que esta es alta en toda la cuenca baja del río Tambopata. La turbidez elevada es una característica de la temporada de evaluación, ya que en la época de creciente hay mayor escorrentía

Cuadro 3. Resultados de calidad de sedimento en cada uno de los puntos evaluados y valor promedio por cada actividad evaluada.

Punto/ promedio por actividad	Arsénico (mg/kg MS)	Cadmio (mg/kg MS)	Cromo (mg/kg MS)	Mercurio (mg/kg MS)	Plomo (mg/kg MS)
M1	9,18	ND	6,1	ND	14,8
M2	9,15	ND	8,3	0,033	15,3
M3	11,34	ND	12,5	0,377	16,4
Promedio Minería	9,89	ND	9	0,14	15,5
A1	8	ND	7,7	ND	12,6
A2	6,82	ND	7,2	ND	12,6
A3	8,11	ND	8,3	0,02	13,2
Promedio Agropecuaria	7,64	ND	7,7	0,007	12,8
P1	5,51	ND	10,3	0,021	8,6
P2	2,96	ND	8,5	0,016	7
P3	4,25	ND	10,9	0,013	9,9
Promedio Conservación	4,24	ND	9,9	0,017	8,5
Promedio general	7,26	-	8,9	0,080	12,3
Estándar (EQG, 1999)	5,9	0,6	37,3	0,17	35

ND = no determinado, MS = Masa seca, Nota: En rojo están los valores que no cumplen con el estándar.

superficial y erosión, lo que genera mayor entrada de sólidos y sedimentos en los cuerpos de agua. Asimismo, se aprecia que las actividades que generan deforestación, remoción de sedimentos o erosión como son la minería y la actividad agropecuaria tienen un mayor promedio de turbidez, el cual supera en más de 300 NTU, al promedio de la actividad de conservación. En general la turbidez elevada afecta las características estéticas del agua y puede contener microorganismos perjudiciales para la salud o bien protegerlos de los tratamientos de desinfección (Poch,1999; Lú, 2001).

El cadmio, cromo y plomo se encuentran dentro del estándar de calidad de sedimento. Sin embargo, el plomo en la zona de conservación es menor al de las otras dos actividades. Esto se puede deber a la menor erosión que hay en el área de conservación, que evita la entrada de plomo que se puede encontrar en el suelo. Además, actividades como la agropecuaria y la de conservación que no usan o usan de manera limitada insumos químicos, pueden favorecer a que se presente un menor contenido de cadmio, cromo y plomo.

Por otro lado, el arsénico está por encima del estándar en las zonas con actividad minera y agropecuaria y en el promedio general de la zona de estudio. Esto se puede deber a que se encuentra de manera natural en los suelos y a que está asociado a los oxihidróxidos de fierro, habiendo en la zona elevados contenidos de fierro. A su vez, su concentración se puede incrementar al producirse deforestación y con ello posterior erosión y lixiviación del arsénico en los suelos, ya que el contenido de este elemento es menor en las zonas de conservación, donde la cobertura boscosa está bien preservada. También, puede ser una característica de las zonas con actividad minera, ya que en dicha zona el promedio de arsénico es mayor.

El mercurio cumple con el estándar, pero el promedio de este es mayor en la zona minera. Esto se debe a la alta concentración de mercurio encontrada en el C.P Puerto Azul (punto de muestreo M3), donde la minería se desarrollaba con mayor intensidad y se aprecian los mayores daños ambientales. Dicha característica también puede explicar los mayores contenidos de arsénico, cromo y plomo, encontrados en ese punto.

En resumen, la actividad minera presenta la peor calidad de agua y sedimentos, ya que la turbidez, el pH y el arsénico no cumplen con los estándares; seguida de la actividad agropecuaria que no cumple con los estándares de turbidez y arsénico. Por otro lado, la actividad de conservación presenta la mejor calidad de agua y sedimentos ya que solo la turbidez no cumple con los estándares.

Con base al **Cuadro 3**, se aprecia que hay una diferencia significativa (rechazo de la hipótesis nula) en los indicadores de temperatura, arsénico y plomo de las actividades minera, agropecuaria y de conservación. En este sentido y considerando los valores promedio de estos tres indicadores, la conservación presenta la mejor calidad de agua y sedimento al tener la temperatura más fresca y los menores valores de arsénico y plomo, estando además el arsénico dentro del estándar de calidad de sedimento. Esto se puede explicar por el papel que desempeñan los bosques en el control de la erosión que evita la entrada de contaminantes en el agua, por el no uso de insumos químicos y por la sombra que genera temperaturas más favorables.

CONCLUSIONES

En la cuenca baja del río Tambopata la calidad de agua y sedimentos es buena, a excepción de los altos valores de turbidez (417,3 NTU) y arsénico (7,26 mg/kg) registrados, que superan los estándares de calidad de agua y sedimento, siendo la elevada turbidez es una característica de la cuenca.

La actividad de conservación presentó la mejor calidad de agua y sedimentos, ya que solo la turbidez (188,5 NTU) no cumple con los estándares. La actividad agropecuaria posee dos indicadores que no cumplen con los estándares, la turbidez (540,4 NTU) y el arsénico (7,64 mg/mg); y la minería presentó la peor calidad de agua y sedimentos al tener tres indicadores, el pH (6,16), la turbidez (523,2 NTU) y el arsénico (9,89 mg/kg) que no cumplen con los estándares.

En la sub-cuenca del río Malinosky, hay contaminación a consecuencia de la minería. Esto se evidencia por el pH ácido (6,16), la turbidez elevada (523,2 NTU) y el alto contenido de arsénico (9,89 mg/kg). Destacando por su contaminación, el centro poblado Puerto Azul, en donde la minería se desarrolla con mayor intensidad y se observan los mayores daños al bosque, al suelo y a la calidad de agua y sedimentos. Esto último, se demuestra por el pH bajo (5,66), la alta turbidez (353,3 NTU), la temperatura más alta (29,5 °C), y por los elevados contenidos de arsénico (11,34 mg/kg) y mercurio (0,377 mg/kg).

Hay diferencia significativa en la calidad de agua y sedimentos de las actividades minera, agropecuaria y de conservación, en lo que respecta a los indicadores de temperatura, arsénico y plomo; teniendo la actividad de conservación los mejores valores para estos tres indicadores. Es por ello, que se demuestran los beneficios que tienen las áreas de conservación en la calidad de agua y sedimentos. Esto se puede generar por el papel que desempeñan los bosques en la protección de la erosión, por el no uso de elementos tóxicos y por la posible retención de contaminantes en los suelos y/o raíces.

AGRADECIMIENTOS

La publicación de este artículo es en parte un homenaje a nuestro querido profesor Carlos Llerena, que con sus enseñanzas dejó una muy buena huella en nosotros sus alumnos y amigos. Además, quisiera agradecer a Pedro Vasquéz, Rosa María Hermoza, Karin Begazo, Leonor Méndez, Mercedes Lú y Carlos Vicuña por sus aportes

al presente trabajo. Asimismo, a las organizaciones Proyecto Especial Madre de Dios, Dirección Regional de Salud Madre de Dios, Consorcio Madre de Dios y a USAID; por el apoyo técnico y financiero. En especial a Raúl Pinedo, Francisco Román, Nelly Melgarejo, Stephen Perz, Carlos Martínez, Carla Salvador, Ricardo Tananta y Héctor Vílchez.

LITERATURA CITADA

ANA. (2010a). Estudio diagnóstico hidrológico de la cuenca de Madre de Dios. Lima. 178 p.

ANA. (2010b). Vigilancia de la calidad del agua en los ríos Tambopata, Malinosky e Inambari: informe técnico N° 176-2010-ANA-DGCRH/BCT). Lima. 25 p.

Barbieri, G. (2004). Evaluación de mercurio total en peces, agua y sedimento en la cuenca del río Malinosky, departamento de Madre de Dios, causada por la minería aurífera aluvial. Tesis Ing. Pesquero. Lima, UNALM, 105 p.

Canadian Council of Ministers of the Environment, (1999). Canadian sediment quality guidelines for protection of aquatic life. 7 p.

DIRESA, (2013). Resumen de análisis físico-químicos de aguas superficiales de Madre de Dios. Sin publicar.

Diringer, S.; Feingold, B.; Ortiz, E.; Gallis, J.; Araujo, J.; Berky, A.; Pan, W. & Hsu-Kim, H. (2014). River transport of mercury from artisanal and small-scale mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios.

Environmental Science. 17(2):478-487.

IIAP & MINAM. (2011). Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: una bomba de tiempo. Lima. 103 p.

Klarenberg, G. (2004). Fishing in troubled waters: two case studies of water quality management in sub-catchments of Oligants basin, South Africa. Irrigation and Water Engineering Mag. sc. Thesis. Wageningen (Holanda). Wageningen University. 157 p.

Lú, M. (2001). Manual para el manejo de evidencia en casos de contaminación hídrica. Panamá. Roda. 34 p.

MINAM. (2010). Estudio línea base ambiental de la cuenca del Madre de Dios. Lima. 139 p.

MINAM. (2008). Estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Lima, Diario Oficial El Peruano, p. 377222-377227.

Mosquera, C; Cháves, M; Pachas, H; Moschella, P. (2009). Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios. Lima. 176 p.

Poch, M. (1999). Las calidades del agua. Barcelona, ES, Rubes. 159 p.