

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES



**IMPACTOS MINEROS, AGROPECUARIOS Y DE LA
CONSERVACIÓN EN LA CALIDAD DEL AGUA Y LOS
SEDIMENTOS, CUENCA TAMBOPATA, MADRE DE
DIOS**

Presentado por:

Tania Alicia Gutiérrez La Torre

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL

Lima - Perú
2015

DEDICATORIA

A mis padres, Lily La Torre y Oscar Gutiérrez, que con su amor y su ejemplo me han hecho la persona que ahora soy.

A mi hermano, Esteban Gutiérrez, del cual me siento muy orgullosa.

A mi novio, Carlos Vicuña, que siempre me demuestra su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi asesor de tesis, Carlos Llerena, por su gran apoyo brindado y a los miembros de mi jurado, Pedro Vasquéz, Rosa María Hermoza y Karin Begazo; así como a Leonor Méndez y Mercedes Lú, por el tiempo dedicado a mi tesis.

A las organizaciones Proyecto Especial Madre de Dios, Dirección Regional de Salud de Madre de Dios, Consorcio Madre de Dios, Universidad de Florida y USAID; por su apoyo técnico, logístico y financiero. En especial a Raúl Pinedo, Francisco Román, Nelly Melgarejo, Stephen Perz, Carlos Martínez, Carla Salvador, Julio Araujo, Rafael Rojas, Ricardo Tananta, Lenin Guerra, Héctor Vílchez y Alberto Arévalo.

A Carlos Vicuña, por el apoyo en la parte de campo de la presente tesis.

A los club ecología y los fiscales ambientales escolares de la provincia de Tahuamanu-Madre de Dios, por la labor que realizan, su empeño y optimismo aplicados en favor del ambiente.

A mis amigas, Gisela Gutiérrez, Janeth Huasasquiche, Patricia Cabanillas y Angélica Sauñe, por su cariño.

RESUMEN

Se determinó y comparó el impacto de las actividades minera, agropecuaria y de la conservación en la calidad del agua y de los sedimentos de la cuenca baja del río Tambopata, Madre de Dios, en la época de creciente; a fin de determinar qué tipos de usos de la tierra son los más contaminantes y cuales pueden significar una mejora o no para la calidad del agua y los sedimentos. El área de estudio fue dividida en tres zonas, minera, agropecuaria y de conservación. En cada una de estas áreas se tomaron muestras de calidad de agua y de sedimentos de orillas del río. Se tomaron datos de temperatura, oxígeno disuelto y pH (in-situ), conductividad eléctrica, nitrógeno amoniacal, sólidos suspendidos, sólidos disueltos y turbidez en el agua; además de arsénico, cadmio y plomo (absorción atómica), cromo (método colorimétrico) y mercurio (absorción atómica por arrastre de vapor frío) en los sedimentos. Los valores fueron comparados con los estándares nacionales de calidad de agua y con los estándares canadienses de calidad de sedimento. También se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis para saber si hay diferencia significativa entre la calidad de agua y los sedimentos de los tres usos analizados. La actividad de conservación presentó la mejor calidad de agua y sedimentos, con sólo un parámetro la turbidez (188,5 NTU) que no cumple con los estándares. Por el contrario, la minería presentó la peor calidad 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. Asimismo, se demuestra que hay diferencia significativa entre las actividades evaluadas en los indicadores de temperatura, plomo y arsénico; presentando la actividad de conservación la mejor calidad de agua y sedimentos.

Palabras clave: calidad de agua, calidad de sedimentos, cuenca del río Tambopata, minería, actividad agropecuaria y conservación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. Introducción	1
II. Revisión de Literatura	3
1. La cuenca baja del río Tambopata	3
1.1. Características hídricas.....	4
1.2. Características biofísicas e historia	8
1.2.1. Clima y régimen hidrológico	8
1.2.2. Fisiografía y suelos.....	9
1.2.3. Flora y fauna.....	9
1.2.4. Historia.....	10
1.2.5. Uso actual.....	11
2. Calidad del agua	12
2.1. Generalidades del agua	12
2.2. Definición de calidad del agua.....	13
2.3. Indicadores de calidad de agua y sedimento.....	13
2.3.1. En el agua.....	14
2.3.2. En los sedimentos.....	19
2.4. Valores de referencia de los indicadores.....	22
2.5. Investigaciones de calidad del agua y sedimentos en la cuenca baja del río Tambopata	23
3. Las actividades minera, agropecuaria y de conservación y su relación con la calidad del agua	27
3.1. Minería.....	27
3.1.1. Características de la actividad minera.....	27
3.1.2. Proceso productivo.....	29
3.1.3. Relación de la minería con el ambiente.....	30
3.2. Actividad agropecuaria	33
3.2.1. Características de la actividad agropecuaria.....	33
3.2.2. Relación de la actividad agropecuaria con el ambiente.....	36
3.3. Conservación	37
3.3.1. Características de la conservación.....	37
3.3.2. Relación de la conservación con el ambiente.....	38
III. Materiales y Métodos	41
1. Lugar de ejecución	41
2. Fecha de ejecución	41
3. Materiales y equipos	41
4. Metodología	43
4.1. Segregación del área de estudio	43
4.2. Definición del número de puntos de muestreo	44
4.3. Definición de la ubicación de los puntos de muestreo	45
4.4. Definición de la época de evaluación.....	47
4.5. Determinación de indicadores de calidad de agua y sedimentos.....	48
4.6. Metodología de análisis de indicadores	49
4.7. Diseño experimental.....	52
4.8. Correlación entre indicadores de calidad de agua y sedimento.....	54
IV. Resultados y discusión	55
1. Descripción general de los puntos de muestreo	55

2.	Resultados de calidad de agua y sedimento y comparación con los estándares	58
3.	Análisis de Kruskal-Wallis.....	70
4.	Correlación entre indicadores de calidad de agua y sedimento	71
4.1.	Correlación de Pearson.....	72
4.2.	Análisis de regresión lineal	73
V.	Conclusiones.....	81
VI.	Recomendaciones	83
VII.	Referencias bibliográficas	85
VIII.	Anexos	93

Índice de tablas

	Página
Tabla 1:	Valor de referencia de los estándares de la calidad de agua 22
Tabla 2:	Valores de referencia de los estándares de calidad de sedimento..... 23
Tabla 3:	Ubicación de los puntos muestreo 47
Tabla 4:	Indicadores de calidad de agua y método de análisis..... 51
Tabla 5:	Indicadores de calidad de sedimento y método de análisis..... 52
Tabla 6:	Metodología detallada de los indicadores de calidad de sedimento 52
Tabla 7:	Valor de estándares de calidad de agua y sedimento 53
Tabla 8:	Características generales de los puntos de muestreo..... 55
Tabla 9:	Características de la actividad desarrollada en los puntos de muestreo 56
Tabla 10:	Valores de indicadores de calidad de agua en los puntos de muestreo 58
Tabla 11:	Valores promedio por actividad de indicadores de calidad de agua..... 58
Tabla 12:	Valores de metales pesados en sedimento en los puntos de muestreo 65
Tabla 13:	Valores promedio por actividad de metales pesados en sedimento..... 65
Tabla 14:	Resumen de la prueba de Kruskall-Wallis 70
Tabla 15:	Correlación de Pearson entre los indicadores..... 72
Tabla 16:	Regresión lineal entre pH y temperatura 73
Tabla 17:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal de pH y temperatura 73
Tabla 18:	Regresión lineal entre nitrógeno amoniacal y temperatura..... 74
Tabla 19:	Regresión lineal entre plomo y temperatura..... 74
Tabla 20:	Regresión lineal entre mercurio y temperatura 74
Tabla 21:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal de mercurio y temperatura 75
Tabla 22:	Regresión lineal entre arsénico y temperatura..... 75
Tabla 23:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal de arsénico y temperatura..... 75
Tabla 24:	Regresión lineal entre nitrógeno amoniacal y pH 76
Tabla 25:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal de nitrógeno amoniacal y pH 76
Tabla 26:	Regresión lineal entre plomo y pH 76
Tabla 27:	Regresión lineal entre arsénico y pH 77
Tabla 28:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal entre arsénico y pH..... 77
Tabla 29:	Regresión lineal entre conductividad y sólidos disueltos 77

Tabla 30:	Coefficientes de ecuación de regresión lineal de conductividad y sólidos disueltos	78
Tabla 31:	Regresión lineal entre plomo y arsénico.....	78
Tabla 32:	Coefficientes de ecuación lineal de plomo y arsénico.....	79

Índice de figuras

	Página
Figura 1: Mapa de la cuenca del río Tambopata	3
Figura 2: Mapa del área de estudio.....	3
Figura 3: Red de drenaje de la cuenca del río Tambopata.....	4
Figura 4: Principales ríos y quebradas de la cuenca del río Tambopata.....	6
Figura 5: Perfil longitudinal del cauce principal.....	7
Figura 6: Mapa de actividad minera en la cuenca baja del río Tambopata.....	28
Figura 7: Turbidez elevada en la CCNN Kotsimba	29
Figura 8: Proceso de lavado del material aluvial	30
Figura 9: Deforestación y degradación del suelo en la CCNN Kotsimba.....	33
Figura 10: Mapa de actividad agropecuaria en la cuenca baja del río Tambopata	35
Figura 11: Mapa segregado de la zona de estudio en las tres actividades de evaluación	43
Figura 12: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	46
Figura 13: Daños ambientales en el CP Puerto Azul	57
Figura 14: Plantación de plátano cerca al río La Torre.....	57
Figura 15: Valores de temperatura	59
Figura 16: Valores de pH.....	59
Figura 17: Valores de oxígeno disuelto.....	61
Figura 18: Valores de conductividad eléctrica.....	61
Figura 19: Valores de sólidos disueltos.....	62
Figura 20: Valores de sólidos suspendidos	62
Figura 21: Valores de turbidez.....	63
Figura 22: Valores de nitrógeno amoniacal	63
Figura 23: Valores de arsénico	66
Figura 24: Valores de cromo.....	66
Figura 25: Valores de mercurio	67
Figura 26: Valores de plomo	68

Índice de anexos

	Página
Anexo 1 Datos de calidad de agua según Barbieri	93
Anexo 2 Contenido de mercurio en los sedimentos según Barbieri	94
Anexo 3 Datos de calidad de agua según ANA.....	95
Anexo 4 Datos de calidad de Agua según araujo	96
Anexo 5 Datos de calidad de agua según cutipa y araujo	97
Anexo 6 Datos de calidad de agua en Manuani según araujo	98
Anexo 7 Datos de calidad de agua según Stround Water Research.....	99
Anexo 8 Características Generales de los puntos de muestreo e indicadores evaluados <i>IN-SITU</i>	100
Anexo 9 Valores de indicadores evaluados <i>in-situ</i> y su promedio	109
Anexo 10 Autorización de ingreso a la Rerva Nacional Tambopata.....	110

I. INTRODUCCIÓN

El departamento de Madre de Dios es considerado como la capital de la biodiversidad del Perú, por lo que una parte significativa de su territorio está categorizada como área natural protegida, manteniendo aún vastas extensiones de bosques conservados. Dicha característica también se aprecia en el área de estudio, la cuenca baja del río Tambopata. Sin embargo, también existen problemas ambientales que atenta contra esta alta biodiversidad y la salud de las personas, siendo la contaminación de las fuentes de agua (ríos, quebradas, lagos, etc.) uno de los problemas ambientales más graves en Madre de Dios (MINAM, 2010).

Las fuentes de agua natural pueden presentar diferente calidad según sus valores variables de temperatura, pH, conductividad, oxígeno disuelto etc., que dependen de las características naturales y de la contaminación de origen antropogénico en el área. En este sentido, los cambios en el uso de suelo pueden influir en los indicadores de calidad de agua y sedimentos. La agricultura, la silvicultura, la minería, la industria y otras actividades pueden generar diferentes impactos en los regímenes hidrológicos de una cuenca, en los suelos y en la calidad del agua y los sedimentos (Oke *et al*, 2013). Además, se debe de tener en cuenta que las mayores amenazas a los recursos hídricos en la selva peruana son aquellas que degradan la calidad del agua (Mc Clain y Llerena, 1998).

Esta situación también se presenta en Madre de Dios, en donde se desarrollan diversas actividades económicas como la minería aurífera, la actividad industrial, el aprovechamiento forestal, la actividad agropecuaria, etc. que generan de una u otra forma impactos negativos en el ambiente, incluyendo la calidad del agua y sedimentos. Estudios como los de la Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2010b), el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana y Ministerio del Ambiente (IIAP y MINAM, 2011), Diringer *et al* (2014) etc. mencionan el impacto negativo de la minería aurífera sobre las cuencas de Madre de Dios, incluyendo la calidad del agua y sedimentos.

En este sentido, las investigaciones de calidad de agua y sedimentos son importantes ya que en la zona de estudio, y aguas abajo, hay pequeñas poblaciones asentadas y centros urbanos medianos y grandes que consumen el agua y pescado que proceden de esta zona. De igual forma, la zona posee una alta biodiversidad, la cual es muy importante preservar, siendo el agua un factor fundamental para la conservación de esta. (Mc Clain y Llerena, 1998).

Sin embargo, hacen falta investigaciones que determinen y comparen el impacto que pueden tener las actividades desarrolladas en la cuenca baja del río Tambopata sobre la calidad de agua y sedimentos. Es por ello, que la presente investigación tiene como objetivo principal determinar y comparar el impacto de las actividades minera, agropecuaria y de conservación en la calidad de agua y los sedimentos de la cuenca baja del río Tambopata, en época de creciente (febrero y marzo del 2013); a fin de determinar que usos son los más contaminantes y cuales pueden significar una mejora o no para el área de estudio. Además, esta investigación permitirá tener una idea de la salud del ecosistema en la zona de estudio y se establecerán correlaciones entre los indicadores de la calidad del agua y sedimentos analizados.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

1. LA CUENCA BAJA DEL RÍO TAMBOPATA

La cuenca del río Tambopata es una de las 117 cuencas que define la Autoridad Nacional del Agua (ANA), identificada con las siglas U.H (unidad hidrográfica) 46644. Esta se encuentra ubicada en el sudeste del Perú entre los departamentos de Puno y Madre de Dios, entre las coordenadas $12,2^{\circ}$ - $14,5^{\circ}$ Latitud Sur y $68,7^{\circ}$ – $70,5^{\circ}$ Latitud Oeste (ANA, 2015). La ubicación de la cuenca se señala con un rectángulo rojo en la Figura 1.

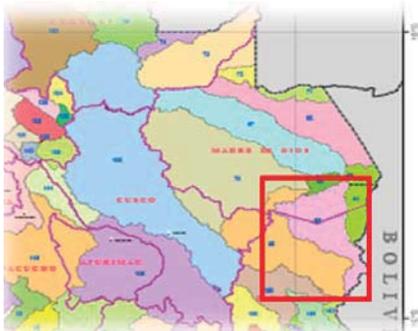


Figura 1: Mapa de la cuenca del río Tambopata

FUENTE: ANA (2009)

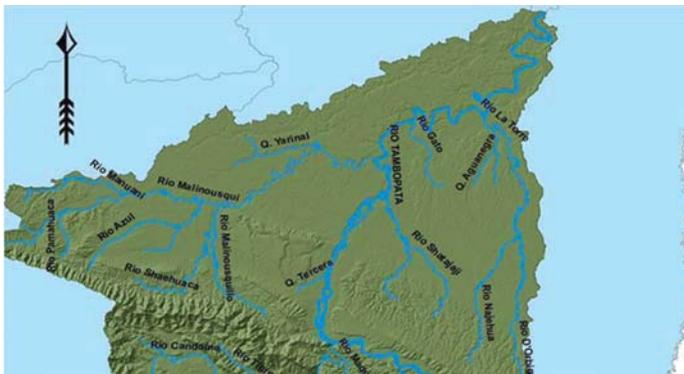


Figura 2: Mapa del área de estudio

FUENTE: ANA (2011a)

La presente investigación se ha realizado en la cuenca baja del río Tambopata, la cual se ha definido como la parte de la cuenca que se encuentra por debajo de la cota 400 m.s.n.m, ubicada en el área del departamento de Madre de Dios y su zona limítrofe con el departamento de Puno. En la Figura 2, se aprecia dicha zona.

1.1. CARACTERÍSTICAS HÍDRICAS

El río Tambopata, eje hídrico o cauce principal de la cuenca, pertenece a la vertiente del atlántico (cuenca del río Amazonas), siendo éste afluente del río Madre de Dios, el cual drena al río Beni en Bolivia, que luego aporta al río Madeira en Brasil, uno de los principales tributarios del río Amazonas.

La cuenca posee un área de 1 328 050 hectáreas, de las cuales un aproximado del 48 por ciento o 64 676 hectáreas corresponden a la cuenca baja y tiene un perímetro total de 909,25 kilómetros. La cuenca presenta factor de forma de 0,08, lo que indica que la cuenca tiende a ser alargada y que presenta un flujo de agua veloz, lo que genera un considerable arrastre de sedimentos hacia el nivel base. Esta es de orden 4 y posee la red de drenaje que se observa en la Figura 3 (ANA, 2010a).

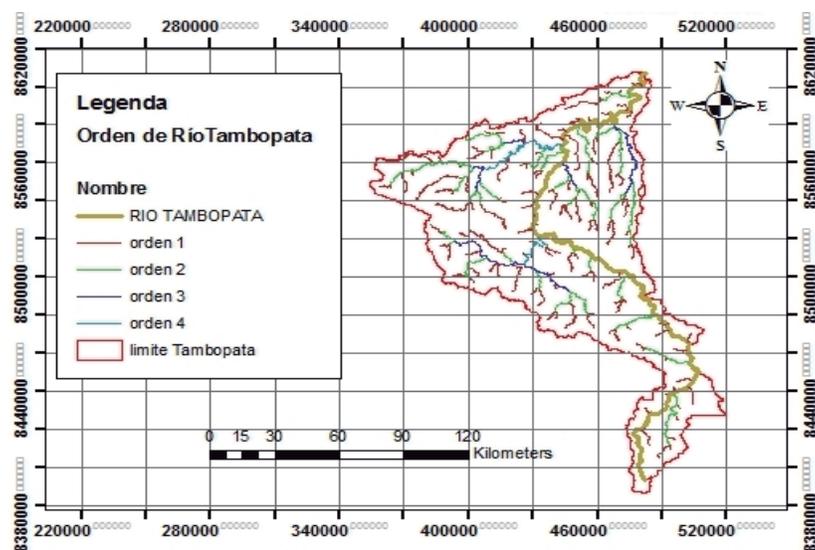


Figura 3: Red de drenaje de la cuenca del río Tambopata

FUENTE: ANA (2010a)

La cuenca presenta patrones de estacionalidad en su régimen de descarga, estrechamente ligados a la precipitación que se presenta en esta zona. En la época de lluvia, entre los meses de diciembre a marzo, se presentan los mayores valores de aforo, mientras que los caudales menores se experimentan entre los meses de junio a setiembre cuando la precipitación es menor. Es por ello, que el río Tambopata incrementa su capacidad de navegación en los meses de temporada lluviosa (MINAM, 2010). Observaciones de la autora y del personal de la Dirección Regional de Salud (DIRESA) demuestran que en los meses donde la precipitación es menor (julio, agosto, setiembre) la capacidad de navegación del río disminuye considerablemente.

En general las aguas de la cuenca del Tambopata poseen, debido a la geología, grandes cantidades de aluminio y hierro (Araujo, 2013). La presencia de hierro en los sedimentos le da una coloración característica al agua (Quispe, 2013).

La basicidad y la turbidez varían según la época de evaluación, aunque esta última se caracteriza por ser alta. En época de lluvias la coloración de los ríos es más oscura y hay una mayor turbidez, que en época de estiaje; ocasionada por el mayor arrastre de sedimentos, debido al proceso de erosión natural característico de la época de creciente (Quispe, 2013).

La cuenca del río Tambopata posee en total 34 ríos, 57 quebradas y 5 lagos. Los principales afluentes son los ríos Elias Aguirre, Villareal, Távora (cuyo afluente es el Candamo), Malinosky y La Torre; siendo el más importante de estos el río Malinosky porque aporta el mayor caudal al Tambopata (ANA, 2010a). En tanto a quebradas destacan Chonta, El gato, Agua Negra, Tercera y Missisipi. (ANA, 2011a).

La dirección general en el origen y hasta el río Távvara es de sur a norte, correspondiéndose esta zona con la parte alta y media de la cuenca. Luego, ya en la parte baja, la dirección varía hacia el Noreste presentando un ancho promedio de 100 metros. En este punto y aguas debajo, las inflexiones se hacen más regulares, apareciendo algunas islas y ensanchándose el cauce hasta unos 200 metros (MINAM, 2010). Antes de la unión con el río Malinosky, el sustrato es areno-pedregoso y al agua presenta baja carga de sedimentos (Araujo, 2010). Luego, a partir de la confluencia con del río Malinowsky y hasta su desembocadura con el río Madre de Dios, en Puerto Maldonado sobre los 184 m.s.n.m, su cauce varia hacia el noreste. En esta parte el río discurre entre terrenos bajos con presencia de grandes meandros y el ancho de su cauce se amplía hasta los 400 metros (MINAM, 2010). Además, el agua presenta una elevada carga de sedimentos y el sustrato es arcillo-limoso (Araujo, 2010).

El río Tambopata presentando una longitud total de 398,58 kilómetros y se caracteriza por presentar velocidades de corriente rápida. En junio del 2010 a la altura de la CCNN Infierno (parte baja de la cuenca) se registró un ancho de 241 metros, una profundidad promedio de 12 metros y una velocidad promedio fue de 0,8 m/s, siendo el caudal aproximado de 2313 m³/s (ANA, 2010a).

En la Figura 5, se aprecia el perfil longitudinal del cauce principal (río Tambopata), el cual se caracteriza por presentar una fuerte variación de la pendiente en las nacientes. Esto nos puede indicar que en las partes altas hay gran erosión y un considerable arrastre de sedimentos hacia la parte baja (ANA, 2010a).

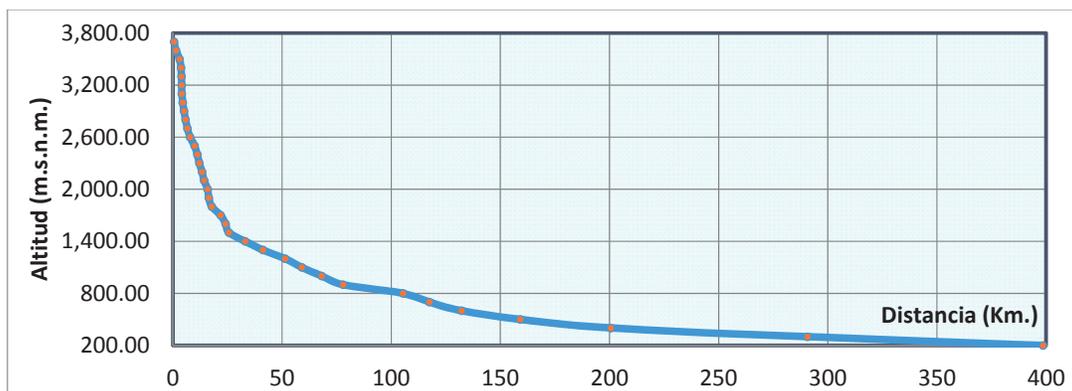


Figura 5: Perfil longitudinal del cauce principal

FUENTE: ANA (2010a)

Por otra parte, el río Malinosky nace en la cordillera del Carabaya a unos 500 m.s.n.m. (Barbieri, 2004), en el territorio de la comunidad nativa de Kotsimba, fuera de los límites de la Reserva Nacional Tambopata (SERNANP, 2011). Posee un cauce meándrico de 120 kilómetros de longitud, de mayor turbidez que el río Tambopata y con una profundidad promedio en época de estiaje de 1 metro (ANA, 2010a). Esta varía de acuerdo a la ubicación con respecto a la cabecera. En la cabecera, la profundidad media varía entre 1 a 1,5 metros y en la parte media y hasta su desembocadura con el río Tambopata puede llegar a tener de 2,5 a 3,5 metros (Barbieri, 2004). De igual forma, el ancho varía entre los 40 y 70 metros y el caudal entre 90 a 160 m³/s, dependiendo de la época de evaluación (seca o lluviosa).

El río Malinosky tiene como principales afluentes a los ríos Pumahuaca, Azul, Malinowsquillo, y Manuani; además de las quebradas Yarinal, Tigre, San Martín, Farfán y Huasaco (Barbieri, 2004).

El río Malinosky en la época de vaciante presenta una coloración clara y en época de creciente posee una coloración “arcillosa” llegando inclusive a una coloración rojiza intensa (Dirección General de Asuntos Ambientales, 1997; citado por Barbieri, 2004).

1.2. CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS E HISTORIA

1.2.1. CLIMA Y RÉGIMEN HIDROLÓGICO

El clima de la cuenca baja del río Tambopata corresponde al de bosque subtropical húmedo o muy húmedo, con una temperatura media anual de 26°C. Las temperaturas máximas llegan a ser de 38°C y se presentan regularmente en los meses de setiembre a octubre (Rasanen, 1993 citado por SERNANP 2011). Mientras que la temperatura mínima de 7,1°C, fue registrada en época de “friaje” (SERNANP, 2011).

La precipitación anual oscila entre los 1600 mm a 2400 mm, variando según el año de evaluación. Esta también, varía a lo largo del año, en los meses de lluvias máximas (diciembre a marzo), meses de transición (abril, mayo y octubre, noviembre) y meses de estiaje (junio, julio, agosto y setiembre). En este sentido, la precipitación media mensual registrada va desde 370,1 mm (diciembre) hasta una precipitación mínima mensual de 2,6 mm, registrada en julio

(SERNANP, 2011). Esta característica condiciona el régimen hidrológico en la cuenca y como señala Bourgoïn (2001) en los meses de creciente o aguas altas se producen la mayor cantidad de exportación de sedimentos.

1.2.2. FISIOGRAFÍA Y SUELOS

La fisiografía corresponde a la zona de llanura de Madre de Dios, la cual se desarrolla entre los 176 y 500 m.s.n.m. Se caracteriza por presentar un relieve suave y ondulado, donde predomina la planicie aluvial y las colinas bajas (ANA, 2011a).

Los suelos son profundos (MINAM, 2010) y en general son pobres en nutrientes, debido a la naturaleza de la litología, la fuerte meteorización química y el lavado de nutrientes que ocasionan las fuertes lluvias. En estas condiciones la fertilidad del suelo se debe a la eficiencia del ciclo orgánico (AIDER, 2011).

El suelo es de llanura aluvial y está conformado por rocas terciarias de arcillas grises que se encuentran en el fondo del cauce de los ríos. El suelo es ácido, de textura media a pesada y con drenaje de bueno a moderado (ANA, 2011a). Además, está compuesto por sedimentos de origen cuaternario constituido por arenas, arcillas y limo con presencia de conglomerados rojizos en la parte superior, debido a la presencia de hierro (Mosquera *et al*, 2009).

1.2.3. FLORA Y FAUNA

El departamento de Madre de Dios, en el que se ubica la cuenca del río Tambopata, es una de las zonas biológicamente más ricas del planeta (Asner, *et al* 2013); por ello, el 62 por ciento de la cuenca se encuentra protegida mediante el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SINANPE), a través de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene (MINAM, 2010).

En la actualidad la Reserva Nacional Tambopata, que comprende gran parte de la zona de estudio, reporta 1713 especies de flora, pertenecientes a 654 géneros y 145 familias. Las

angiospermas registran 1637 especies agrupadas en 127 familias y 622 géneros. Por otro lado, los helechos registran 76 especies. Además de la riqueza florística, hay muchas especies con una considerable importancia económica, como el cedro (*Cedrela odorata*) y la caoba (*Swietenia macrophylla*), encontrándose 27 especies en los Apéndices de la Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES) (SERNANP, 2011).

En cuanto a la fauna, en la Reserva Nacional Tambopata, se registraron 1260 especies de vertebrados, entre los que destacan: 93 especies de anfibios, 648 especies de aves, 108 especies de mamíferos y 323 especies de peces. La fauna no sólo destaca por su diversidad sino también por albergar especies categorizadas en diferentes niveles de amenaza. Según los apéndices CITES se registra 88 especies de fauna bajo alguna categoría de amenaza (SERNANP, 2011).

1.2.4. HISTORIA

El río Tambopata constituyó, a comienzos del siglo pasado, los inicios de la exploración de la región Madre de Dios, por lo que sus orillas se poblaron rápidamente, a lo cual contribuyó el descubrimiento del oro (MINAM, 2010). En el año 1902, se fundó el Puerto Markhan cerca de la desembocadura del río Távara con el Tambopata. Luego, en el año 1903, la Inca Rubber Company (compañía dedicada a la explotación del caucho) construyó un camino de herradura hasta Astillero, zona a 1 kilómetro aguas debajo de la confluencia del río Távara con el río Tambopata. Dicha zona fue denominada así, ya que se armaban embarcaciones de vapor que surcaban de manera continua el río Tambopata. La zona del Tambopata y en general la del Madre de Dios, llamo la atención de muchos expedicionarios por ser un área con oro en las orillas de sus ríos (Sociedad Geográfica de Lima, 1905).

La actividad minera en la cuenca del río Tambopata data del año 1960, cuando se asientan las principales poblaciones mineras en la zona. Sin embargo, en el año 1978, con la Ley de Promoción Aurífera (Decreto Ley 22178), muchos perdieron sus derechos mineros al no regularizarlos, solo en algunos lograron mantenerlos, pero con la figura legal de concesiones que otorgaba el MEM. Muchos mineros continuaron trabajando informalmente, situación que se aprecia hasta la actualidad (MINAM, 2010).

Por otro lado, en el año 1977, según la Resolución Ministerial-RM N° 0001-77-AG/DGFF, se crea la Zona Reservada Tambopata, ubicada entre el río La Torre, el río Tambopata y la quebrada Infierno, contando con una extensión de 5 500 hectáreas. Posterior a ello, en el año 1990, la RM N° 032-90-AG/DGFF, crea la Zona Reservada Tambopata Candamo, sobre una extensión de 4 478 942,45 ha, ocupando parte del territorio de los departamentos de Madre de Dios y Puno (SERNANP 2011). Esta situación generó un aumento de la actividad ecoturística en el área. De igual forma, condicionó a que en la zona de amortiguamiento, donde se desarrolla la principal actividad minera del área, se prohibieran las actividades extractivas (minería y aprovechamiento forestal), lo que condujo a una mayor informalidad de la actividad minera (MINAM, 2010).

En el año 1996, la Zona Reservada Tambopata Candamo se divide en dos áreas naturales protegidas, la Zona Reservada Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (PNBS), según el Decreto Supremo - DS N° 012-96-AG. También, según este decreto se establece al PNBS con una extensión de 1 091 416 ha, estando una parte significativa de estas en la zona media y alta de la cuenca del Tambopata. Recién en el año 2000, por el DS N° 048-2000-AG, se establece la Reserva Nacional Tambopata (cambiando la categoría transitoria de zona reservada), contando con una extensión de 274 690 ha (SERNANP, 2011). Esta situación condicionó a que se restringiera de manera formal los derechos y concesiones mineras. Sin embargo, por el aumento sostenido del precio del oro, desde el año 2000, la actividad minera presentó un gran incremento. (MINAM 2010). Por último, desde el año 2010, con la promulgación del Decreto de Urgencia N° 012-2010, que declara de interés nacional el ordenamiento minero en el departamento de Madre de Dios, se desarrollaron con mayor intensidad los conflictos entre los mineros y el estado por la regularización y formalización de esta actividad (IIAP y MINAM, 2011).

1.2.5. USO ACTUAL

La mayor parte de la cubierta vegetal está constituida por el bosque primario húmedo tropical, presentando una pequeña área de no bosque de 500,66 hectáreas que corresponden a un mosaico de actividad agropecuaria y parches de bosque secundario (AIDER 2012).

La cuenca baja del río Tambopata posee una gran extensión de tierras destinadas a la conservación, que corresponden a la zona comprendida entre las áreas naturales protegidas de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (ANA, 2011a). Actualmente, en dicha área, se desarrollan actividades de ecoturismo y otras actividades como son la extracción de castaña y visitas con fines de investigación, habiendo también áreas de conservación privada (ANA, 2011a).

Sin embargo, existen frentes ganaderos y otros asociados a actividades agrícolas en la parte norte de la cuenca, donde se encuentra la carretera Interoceánica con un amplio borde deforestado por motivos agrícolas, pero actualmente abandonado en su mayoría (MINAM, 2010). La actividad pecuaria se da a lo largo del eje vial de la carretera Interoceánica. Actualmente, se están formando nuevos centros poblados en la margen de la carretera y con dirección hacia el río Malinosky, donde se tala el bosque para realización de actividades agropecuarias. Además, en las inmediaciones del río Tambopata se desarrolla la actividad agropecuaria que genera deforestación localizada a partir de la ribera (ANA, 2011a).

También se identificaron frentes extractivos mineros en los cursos de los ríos Tambopata y Malinowski (ANA, 2011a), concentrándose la actividad minera de la cuenca en el área del río Malinosky (Mosquera *et al*, 2009). Este río presenta una elevada presión humana ya que transcurre paralelo a la carretera Interoceánica de donde salen numerosas trochas que posibilitan el acceso para la actividad minera, aprovechamiento ilegal de madera y la actividad agropecuaria. Sin embargo, el río Malinowski constituye una barrera natural para evitar la entrada de dichas actividades a la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene (Araujo, 2010).

2. CALIDAD DEL AGUA

2.1. GENERALIDADES DEL AGUA

El agua es el compuesto químico más abundante en la Tierra, el cual está formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (Salvat, 2004). El agua es un líquido incoloro, inodoro e insípido entre cuyas principales propiedades están su transparencia, elevada densidad de 1

kg/l y su elevada capacidad de disolución de sólidos y gases en comparación a otras sustancias (Poch, 1999). El agua es considerada como el solvente universal, ya que es capaz de disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas. Además, formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas en ella (CEPIS, 2004).

2.2. DEFINICIÓN DE CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua puede definirse como la composición físico-químico-biológica que la caracteriza, recordando el hecho de que el agua pura no existe en la naturaleza. El agua es de una determina calidad, cuando sus características la hacen aceptable para un cierto uso (Poch, 1999). El término calidad del agua es relativo, ya que está relacionado con el uso del recurso. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial (CEPIS, 2004), ello además influye en el deterioro de la salud y el ecosistema (ANA, 2011a).

Los estudios de la calidad del agua y de los sedimento constituyen un aporte de información ambiental para el diagnóstico de la salud de la cuenca (Contreras, et al 2004).

2.3. INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO

Los indicadores son características (parámetros) a partir de los cuales se puede determinar si el agua está contaminada o no y si su uso puede provocar enfermedades (Poch, 1999). La contaminación está determinada por la presencia de concentraciones nocivas (anómalas) de un determinado indicador (Galán y Romero, 2004). Para conocer estas concentraciones se puede consultar diversos estándares de calidad de agua y sedimentos como los “Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua” o ECA (MINAM, 2008).

Los estándares de calidad ambiental (ECA) son la medida que establece el nivel o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo en su condición de cuerpos receptores, que no representa riesgo significativo para la

salud de las personas ni del ambiente. Según el parámetro particular a que se refiera, la concentración o grado podrá expresarse en máximos, mínimos o rangos (MINAM, 2005). En este sentido, si la concentración o cantidad de una determinada sustancia presente en el agua se mantiene dentro de los límites definidos, su consumo o utilización no deben ser nocivos para los organismos o los ecosistemas. Igualmente debe ser apta para un determinado uso, ya sea éste doméstico, agrícola, industrial, de recreación, etc. (Gómez, 1998). Mientras que los límites máximos permisibles (LMP), es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2005).

En la literatura se citan varios indicadores de la calidad de agua y los sedimentos. Por ejemplo en el “Reglamento para la Calidad del Agua de Consumo Humano” elaborada por la Dirección General de Salud (DIGESA) figuran 123 indicadores (DIGESA, 2011). Mientras que en el ECA se encuentran 89 indicadores en la categoría 1, agua destinada para uso poblacional y recreacional (MINAM, 2008).

Para el caso de la presente investigación interesa el agua en su condición de cuerpo receptor por lo que se usaran los estándares de calidad ambiental (ECA). En base a la metodología, se han escogido los indicadores que se detallan a continuación. Estos se han dividido en agua y en sedimento según el cuerpo en el cual fueron evaluados.

2.3.1. EN EL AGUA

a. Temperatura

La temperatura es uno de los indicadores físicos más importantes ya que influye en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción del oxígeno, la precipitación de compuestos, la desinfección y otros procesos (CEPIS, 2004). La temperatura del agua afecta la mayoría de procesos biológicos que tienen lugar en el ecosistema fluvial, ya que un aumento de la temperatura acelera la velocidad con la que se dan ciertas reacciones químicas y bioquímicas. En el caso de oxígeno disuelto a mayor temperatura estará menos disponible y la velocidad con la que es consumido será mayor (Poch, 1999). Esto afecta a los peces que

son sensibles a las variaciones de oxígeno disuelto. Múltiples factores, principalmente ambientales, generan variaciones en la temperatura del agua (CEPIS, 2004).

b. pH

El pH mide el carácter ácido o básico de una sustancia. Constituye un importante parámetro de calidad de agua ya que interviene en el equilibrio de diferentes sustancias químicas. El pH tiene gran importancia en todas las reacciones químicas asociadas a la formación, alteración y disolución de minerales. Asimismo, el intervalo idóneo de este parámetro es muy estrecho y crítico para la existencia de la mayoría de la vida (Poch, 1999)

Los valores de pH dependen de las sales y los iones disueltos en el agua, los cuales se pueden ver afectado por la geología de la cuenca y las lluvias que tienden a disminuir la carga de iones disueltos en el agua y con ello neutralizar el pH (Araujo, 2010). El pH puede ser bajo debido a la descomposición de la materia orgánica (Cutipa y Araujo, 2012).

El pH del agua puede variar considerablemente de un lugar a otro, debido a las condiciones naturales del área, pero el monitoreo de cambios en el pH puede indicar contaminación (EPA y USAID, 2001), en este caso se evidencian valores que difieren de la neutralidad ya sean estos bajos o altos (Poch, 1999). Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) presentan un pH entre 6 a 9 (CEPIS, 2004). El pH ácido indica alto grado de afectación de las aguas por causas antropogénicas como la minería aurífera (ANA, 2010b).

Los valores altos o bajos de pH pueden romper el balance de los químicos presentes en el agua y movilizar contaminantes (CEPIS, 2004). Cuando el pH es ácido (menor a 6,5) la solubilidad, movilidad y disponibilidad biológica de muchos minerales potencialmente tóxicos (plomo, cobre, zinc, hierro, cadmio, cromo manganeso etc.) se incrementa (Ashton *et al*, 2001; Lú, 2001; Klarenberg, 2004). También, el pH ácido afecta negativamente a los peces y daña las conchas de los moluscos y crustáceos (Lú, 2001). El pH, la velocidad de la corriente, la altura del agua, la temperatura y la conductividad controlan la distribución y la colonización de la biota acuática (Araujo, 2010). Además, el pH es un parámetro que tiene gran importancia en el tratamiento del agua para consumo humano (CEPIS, 2004).

c. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es uno de los indicadores de calidad de agua más usados ya que este elemento participa en muchos procesos que se dan en el agua y ofrece una medida global de la salud del ecosistema. Al igual que en el caso del pH los organismos que viven en el agua necesitan niveles de oxígeno disuelto aceptables, siendo los peces especialmente sensibles a valores bajos (Poch, 1999). En general una mayor cantidad de oxígeno disuelto indica un cuerpo de agua más saludable (Araujo, 2013) valores por encima de 5 mg/l indican una adecuada oxigenación lo que favorece el desarrollo de la vida acuática (ANA, 2010b).

Las aguas superficiales no contaminadas, si son corrientes, suelen estar saturadas o incluso sobresaturadas de oxígeno (CEPIS, 2004). Los procesos de autodepuración consumen el oxígeno disuelto del agua (Gómez, 1998). Variaciones relativas de oxígeno disuelto son un síntoma probable de aumento de organismos primarios, materia orgánica, gérmenes aeróbicos, reductores inorgánicos etc. (CEPIS, 2004).

El oxígeno es aportado en un proceso de intercambio con la atmósfera (Poch, 1999), generado por la turbulencia de la corriente (Araujo, 2013) y debido a la acción fotosintética de los organismos primarios (Poch, 1999). El sustrato de lecho pedregoso también puede favorecer un aumento del oxígeno disuelto (Araujo, 2010). Por otro lado, éste tiende a disminuirse ante un aumento en la temperatura, la respiración, la descomposición de sustancias orgánicas y la concentración de sales disueltas (Poch, 1999; EPA y USAID 2001). De igual forma la alta carga de sedimentos en el agua dificulta la transferencia de oxígeno entre la atmósfera y el agua (Gómez, 1998).

d. Conductividad eléctrica

La conductividad es la capacidad que presenta el agua para conducir la electricidad, debido a las sales o iones que lleva disueltas. Esta se puede medir en micromhos por centímetro o microsiemens por centímetro (uS/cm), siendo la última la más común.

Las sales e iones disueltos están condicionadas por las características de los suelos por donde circula el recurso hídrico (Poch, 1999). Conforme el curso del agua va internándose en la

Amazonía pierde su carga iónica y se la transfiere a la biomasa vegetal ripariana (Araujo, 2010). En general los ríos de la selva se caracterizan por tener baja conductividad al tener bajas cantidades de sales disueltas (ANA, 2010b). Las fuertes lluvias que se presentan en la selva tienden a disminuir la conductividad (Araujo, 2010).

Un aumento de la conductividad se relaciona con un deterioro del agua, ya que hay una relación directa entre un aumento en la turbidez y la conductividad (Araujo, 2010). Es también un parámetro indicador de la existencia de algunos vertidos, ya que las aguas residuales se caracterizan por una salinidad elevada, la cual afecta a la mayoría de las plantas (Poch, 1999).

Las sales e iones disueltos están condicionadas por las características de los suelos por donde circula el recurso hídrico (Poch, 1999). Conforme el curso del agua va internándose en la Amazonía pierde su carga iónica y se la transfiere a la biomasa vegetal ripariana (Araujo, 2010). En general los ríos de la selva se caracterizan por tener baja conductividad al tener bajas cantidades de sales disueltas (ANA, 2010b). Las fuertes lluvias que se presentan en la selva tienden a disminuir la conductividad (Araujo, 2010).

Un aumento de la conductividad se relaciona con un deterioro del agua, ya que hay una relación directa entre un aumento en la turbidez y la conductividad (Araujo, 2010). Es también un parámetro indicador de la existencia de algunos vertidos, ya que las aguas residuales se caracterizan por una salinidad elevada, la cual afecta a la mayoría de las plantas (Poch, 1999).

e. Sólidos totales disueltos

Los sólidos totales disueltos son sustancias que se encuentran dispersas de manera homogénea en el agua con un tamaño de partícula inferior a 1 micrómetro (0,001 mm) (CEPIS, 2004). Los sólidos disueltos según su naturaleza, influyen en el pH del agua y la conductividad (Poch, 1999). Además, altos niveles de sólidos totales disueltos pueden estar asociados a niveles altos de mercurio (Klarenberg, 2004).

f. Sólidos totales en suspensión

Los sólidos totales en suspensión son los sólidos que no se encuentran en solución y que tienen una partícula superior a 1 micrómetro (CEPIS, 2004). Los sólidos en suspensión afectan el color y la turbidez del agua (Poch, 1999). Asimismo, contribuyen a la disminución del oxígeno, impiden la utilización del agua para consumo humano y si es muy alto el valor disminuye la presencia de peces (MINAM, 2010).

g. Turbidez

La turbidez es un indicador de la presencia de sólidos, especialmente coloidales (partículas finas que están en suspensión) en el agua. Esta mide la transparencia del agua, expresada como la extensión con la que un rayo de luz es reflejado por los sólidos presentes en ella (Poch, 1999). Su unidad de medida son las unidades nefelométricas de turbidez (NTU).

La fuente de turbidez en aguas naturales procede de la erosión y transporte de material coloidal (arcilla, limo, fragmentos de roca, sustancias de lecho etc.) por parte de los ríos en su recorrido. Asimismo, de las aportaciones de restos de plantas industriales y de aguas residuales (Poch, 1999). Actividades que generan gran remoción de sedimentos y erosión, como la minería aluvial generan un aumento en la turbidez (Araujo, 2013).

La turbidez elevada genera un deterioro del agua, ya que presentan una mayor carga de sólidos en suspensión (Araujo, 2013). El agua turbia generalmente contiene mayor nivel de sólidos en suspensión que ayudan a la fijación de metales pesados y otros compuestos tóxicos como petróleo y pesticidas (López et al, s.f) Además, afecta la calidad estética del agua (color y olor) y puede indicar la presencia de microorganismos que provocan enfermedades (Poch, 1999). De igual forma, si esta requiere ser potabilizar se debe de clarificar lo que no es un proceso difícil pero sí costoso (CEPIS 2004). En general una alta turbidez afecta negativamente la salud de las personas, ya que un alto grado de turbidez protege a los microorganismos de los efectos de la desinfección y estimula el desarrollo de bacterias (Lú 2001).

h. Nitrógeno amoniacal

El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua, parte del ciclo del nitrógeno y producto natural de la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados (CEPIS, 2004). La reacción de amonificación, que genera el nitrógeno amoniacal, se ve influenciada por el pH y tiene lugar en el medio acuático a partir de vertidos urbanos, industriales, agrícolas (excremento, fertilizantes, putrefacción de plantas) o bien por la reducción de nitritos. El amoníaco, a bajas concentraciones, es tóxico para los seres humanos y la vida acuática. Además, resulta problemático para el suministro de agua potable (Poch, 1999). La presencia de este compuesto indica contaminación reciente y peligrosa (CEPIS, 2004).

2.3.2. EN LOS SEDIMENTOS

En los sedimentos se han analizado metales pesados que son aquellos con peso atómico igual o mayor que el hierro (55,85 g/mol), incluyendo además al arsénico, vanadio, cromo y manganeso. En general muchos de ellos son tóxicos a diferentes concentraciones (Galán y Romero, 2004). Los metales pesados se pueden encontrar de manera natural en los sedimentos debido a la geogenética de los suelos (EPA y USAID, 2011). Los metales como el mercurio, plomo, arsénico y cromo están presentes en los suelos y lodos de los cauces de los ríos Amazónicos (IIAP y MINAM, 2011). También están asociados a una amplia gama de fuentes antropogénicas como son la escorrentía de aguas pluviales urbanas, producción de petróleo o gas, minería y agricultura, básicamente por fertilizantes y plaguicidas orgánicos (EPA y USAID, 2001). En general valores anómalos de turbidez y pH están asociados a la presencia de metales pesados (López et al, s.f). La presencia de metales esta siempre asociada a la producción de drenaje ácido (Sánchez, 1995).

La contaminación por metales pesados debidos a la causas antropogénica es un problema ecológico muy importante en muchas partes del mundo. Esto se debe a su alta persistencia en el medio y su capacidad para metilarse, lo que permite que sean incorporados al ciclo biológico, bioacumulándose o incrementando su concentración en los organismos superiores de la red trófica. La dificultad para eliminarlos hace entendible la necesidad de evitar la mayoría de ellos en sus orígenes (Roche, 1989). Además, estos permanecen por muchos años en el ambiente (IIAP y MINAM, 2011).

Los metales pesados si se ingieren son tóxicos para la vida acuática y la salud de las personas. Muchos están asociados a problemas en el sistema nervioso, a problemas reproductivos y de desarrollo (EPA y USAID, 2001).

a. Arsénico

El arsénico puede encontrarse de manera natural en cantidades traza en varios suelos, mientras que en las zonas mineras esta cantidad puede elevarse. Este se encuentra asociado a oxihidroxidos de fierro (Salvarredy *et al*, 2008) y puede tener origen antropogénico gracias a los procesos de preservación de la madera o el cuero. Es un elemento altamente tóxico (CEPIS, 2004) y está asociado a una alta incidencia de cáncer a la piel y otros tipos de cáncer (EPA y USAID, 2001). Debido a sus efectos adversos y a la insuficiente información sobre su remoción se recomiendan valores guías estrictos (CEPIS, 2004).

b. Cadmio

La contaminación con cadmio puede deberse a la erosión de depósitos naturales, efluentes de refinería de metales o líquidos de escorrentía de baterías y/o pinturas. El cadmio es altamente tóxico y se puede acumular en el hígado y los riñones, causa fragilidad en los huesos y susceptibilidad a fracturas; además reduce el hierro hepático (CEPIS, 2004).

c. Cromo

El cromo metálico y sus derivados usualmente tienen origen antropogénico proveniente de efluentes de industrias tales como la papelera, de acero y curtiembres. El cromo VI, es cancerígeno y atraviesa membranas celulares lo que lo hace más tóxico (CEPIS, 2004).

d. Mercurio

El mercurio puede encontrarse en los sedimentos debido a fuentes naturales y/o antrópicas. Las principales fuentes naturales son la desgasificación de la corteza terrestre, volatilización de aguas termales, solubilización de rocas enriquecidas en mercurio y erosión de los suelos durante la época de lluvias. El mercurio de origen antrópico se puede deber a la actividad minera aurífera, ya que el mercurio es usado para recuperar el oro de los sedimentos, a fungicidas usados en la agricultura, a la quema de combustibles fósiles con trazas de mercurio, al abandono de aparatos eléctricos u objetos como baterías, interruptores o termómetros etc. (Bourgoin, 2004).

El mercurio metálico y otras formas de mercurio inorgánico se convierten en mercurio orgánico por medio del proceso de metilación, que se produce por la acción de microorganismos presente en los sedimentos (CEPIS, 2004). En aguas con pH ácido, baja conductividad, temperatura elevada y abundante materia orgánica se desarrolla de manera más eficiente el proceso de metilación (IIAP y MINAM, 2011).

El mercurio orgánico es absorbido por los tejidos de los organismos vivos, bioacumulándose por largos periodos. El mercurio de los sedimentos se puede trasladar al plancton, algas y así sucesivamente hasta los organismos de niveles tróficos superiores como los peces, aves e incluso el hombre; presentando la capacidad de biomagnificarse (CEPIS, 2004).

El mercurio es muy tóxico para las personas en su forma aguda o crónica. Este puede ser absorbido en su forma elemental, oxidada u orgánica ya sea por inhalación, ingesta o por la piel, siendo la forma más tóxica y asimilable la orgánica (IIAP y MINAM, 2011). Es lipofílico, lo que le permite atravesar las membranas hematoencefálica y placentaria (CEPIS, 2004). Por ello, se pueden encontrar elevadas concentraciones de mercurio que se transmitir de generación en generación (Bourgoin, 2001). Como otros metales pesados puede tener efectos que no se manifiestan inmediatamente, apareciendo años después de producida la intoxicación (IIAP y MINAM, 2011). Exposición a niveles altos de vapor de mercurio metálico puede causar daños al cerebro, riñones y pulmones; además de perjudicar seriamente al feto en el desarrollo. También puede causar efectos menos severos como tos, dolores de pecho, náusea, vómito, diarrea, aumento en la presión arterial, erupciones de la piel e irritación de los ojos (Mosquera *et al*, 2009).

e. Plomo

Las fuentes naturales por lo general contienen concentraciones de plomo que varían notoriamente (CEPIS, 2004). Elevadas concentraciones de plomo, mercurio, cobre y hierro están asociadas a la agroindustria y la minería (EPA y USAID, 2001). El plomo usado como aditivo en el petróleo y la gasolina puede ser emitido por los tubos de escape y entrar a los cuerpos de agua (Poch, 1999).

El plomo es altamente tóxico, pudiendo provocar en el hombre intoxicaciones agudas y crónicas. Este presenta una gran capacidad de bioacumulación y afecta prácticamente a todos los órganos de los animales y el ser humano, siendo los más sensibles el sistema nervioso, el hematopéyico y el cardiovascular (CEPIS, 2004). Se puede acumular en el esqueleto humano y puede inhibir el desarrollo de enzimas y el metabolismo del calcio en niños (OMS, 1993 citado por EPA y USAID, 2001).

2.4. VALORES DE REFERENCIA DE LOS INDICADORES

En la Tabla 1 se presentan los valores de referencia de los parámetros o indicadores que se evaluaron en el agua. Mientras que en la Tabla 2 se presentan los valores de referencia de los parámetros o indicadores que se evaluaron en los sedimento.

Tabla 1: Valor de referencia de los estándares de la calidad de agua

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Valor de Referencia (ECA)</i>
Temperatura	°C	No aplica
pH		6,5 a 8,5
Conductividad	uS/cm	1 500
Oxígeno disuelto	mg/l	6
Sólidos totales disueltos	mg/l	1 000
Sólidos totales suspensión	mg/l	≤ 25-400
Turbiedad	NTU	5
Nitrógeno amoniacal	mg/l	1,5

FUENTE: MINAM (2008)

Los valores de referencia para el caso de los parámetros que se evalúan en agua corresponden a los “Estándares de Calidad Ambiental del Agua” (ECA), para la categoría 1, poblacional y recreacional, aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección. Estos estándares son estipulados por el MINAM, según Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, los cuales

consideran al agua en su condición de cuerpo receptor y componente básico de los ecosistemas acuáticos.

Tabla 2: Valores de referencia de los estándares de calidad de sedimento

<i>Parámetro</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Valor de referencia (EQG)</i>
Arsénico	mg/kg	5,9
Cadmio	mg/kg	0,6
Cromo	mg/kg	37,3
Mercurio	mg/kg	0,17
Plomo	mg/kg	35

FUENTE: Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)

Para el caso de los parámetros o indicadores que se evalúan en sedimentos se presentan los “Estándares Canadienses de Calidad de Sedimentos para la Protección de la Vida Acuática” (EQG). Cabe señalar, que en la legislación peruana no se estipulan estándares para los indicadores analizados en los sedimentos.

2.5. INVESTIGACIONES DE CALIDAD DEL AGUA Y SEDIMENTOS EN LA CUENCA BAJA DEL RÍO TAMBOPATA

La calidad natural de las aguas de la Amazonía difiere entre sus diversos cuerpos de agua, de acuerdo con las condiciones físico-químicas que las caracterizan, pero en general son aguas poco mineralizadas, clasificadas como blandas o semiduras (Gómez, 1998).

Mora (1995), citado por Gómez (2012), analizó mercurio en agua y sedimentos del río Tambopata y obtuvo 0,0008 mg/l de mercurio en agua, lo que no supera el ECA y 0,156 mg/g de mercurio en sedimento, lo que tampoco supera el estándar de calidad de sedimento, pero si es un valor alto.

La DIRESA realizó monitoreos periódicos, una vez o dos veces al año en los principales ríos ubicados en Madre de Dios (río Madre de Dios, Tambopata, Inambari etc.) evaluando los siguientes parámetros en agua: pH, conductividad, turbidez, cadmio, cobre, cromo, hierro, manganeso, mercurio, plomo, zinc y níquel. Estas evaluaciones se hicieron desde el año 2000 hasta el año 2013 (DIRESA, 2013).

La DIRESA (2013) afirma que en la subcuenca del río Tambopata, el pH tiende a la neutralidad. A excepción de un registro de un pH de 6 en el río La Torre, en el año 2006. Asimismo, la conductividad promedio es de 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que está dentro del ECA y la turbidez promedio es de 27 NTU, lo que está por encima del ECA, pero que es normal para los ríos de la Amazonía. En los análisis de metales pesados en agua se encontraron contenidos de cadmio que superan el valor del ECA en los años 2001, 2002 y 2008 en una zona del río Tambopata que se encuentra después de la confluencia con el río Malinosky y en el año 2006 en un punto cercano a Puerto Maldonado. También, se encontraron elevados contenidos de cromo pero que no superan el ECA en los años 2001, 2002, 2003 y 2006. En el 2010 se encontró mercurio por encima del ECA. Además, en los años 2001, 2002, 2003, 2005 y 2010 se encontraron valores elevados de plomo en agua, pero que no superan el ECA. Se encontraron valores de este metal que si superan el ECA en los años 2005 y 2009, en un punto ubicado cerca a Puerto Maldonado y en el 2008, en toda la cuenca.

La DIRESA (2013) menciona que en la subcuenca del río Malinosky, en donde se concentra la actividad minera de la zona de estudio, se encontró conductividad elevada, con un promedio de 1563 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que es un tanto mayor al ECA. La turbidez promedio de esta zona fue de 314 NTU, lo que supera ampliamente el ECA. En tanto a metales pesados en agua no se detectó cadmio, pero si valores elevados de cromo en los años 2000, 2001, 2002, 2003 y 2006, pero que no superan el ECA. El mercurio en el año 2006 fue alto y el año 2010 supero el ECA. Por último, se encontraron valores elevados de plomo en los años 2000, 2001, 2002, 2003 y 2006, pero que no superan el ECA.

El INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales) e IANP (Instituto de Áreas Naturales Protegidas), en el 2003, analizaron sólidos en suspensión, sólidos disueltos, pH y oxígeno disuelto en el río Malinosky. Los valores promedios de 372 mg/l de sólidos en suspensión, 8,3 mg/l de sólidos disueltos, 7,3 de pH y 6,9 mg/l de oxígeno disuelto, se encuentran todos ellos dentro del ECA (MINAM 2010). En el mismo año se analizó mercurio en agua y sedimentos del río Malinosky (inmediaciones de la asociación minera APAYLOM) y se encontró 0,003 mg/l, lo que no supera el ECA, sin embargo se encontró una cantidad elevada del mercurio presente en los sedimentos (Mosquera *et al* 2009).

Barbieri (2004) analizó mercurio en agua y sedimentos en 10 puntos de la subcuenca del río Malinosky. Además, de los siguientes parámetros de calidad de agua: temperatura, oxígeno disuelto, conductividad, sólidos totales, pH y sólidos suspendidos. La temperatura del agua

vario ligeramente y fue en promedio 27 °C. De igual forma variaron ligeramente el oxígeno disuelto, los sólidos totales disueltos, la conductividad y el pH. El oxígeno disuelto varió de 6,6 a 7,3 mg/l, los sólidos disueltos de 5 a 11,6 ppm, la conductividad de 11,6 a 16,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el pH de 6,9 a 7,8. El valor que presentó gran variación en los puntos de muestreo fue el de sólidos en suspensión ya que el valor mínimo fue 5 mg/l y el máximo 3342 mg/l, explicado por la gran erosión que se registró en ese punto. En cuanto al análisis de mercurio en sedimentos en todos los puntos muestreados se encontró mercurio por encima del valor guía, con cantidades que varían desde 165 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en el río Pumacahua (cerca de las nacientes del río) hasta 303 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (Asociación APAYLOM). En agua el autor encontró mercurio en cantidades que no superen el estándar. Se concluye que conforme se recorre el río Malinosky, desde su cabecera hasta su desembocadura con el río Tambopata, hay una mayor concentración de mercurio, lo que indica una progresiva y constante acumulación de este metal en los sedimentos. En el Anexo 1 figuran los datos de calidad de agua y el Anexo 2 figuran los valores de mercurio en sedimento.

El ANA (2010b) ha tomado, en setiembre, muestras de puntos representativos y asequibles de las cuencas del Tambopata, Inanbari y Madre de Dios. Los parámetros evaluados fueron pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, coliformes termotolerantes, nutrientes (nitrógeno, fósforo), nitrógeno amoniacal, varios metales (mercurio, cadmio, plomo, cromo, arsénico, níquel, cobre, hierro, manganeso, boro etc.) aceites, grasas, HTP y cianuro libre. En los dos puntos de muestreo ubicados en la cuenca del Tambopata el pH fue cercano a la neutralidad (7,5), la conductividad de 52,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y el oxígeno disuelto de 7,62 mg/l, todos estos valores dentro del ECA. En los análisis de metales pesados en agua no se encontraron valores por encima de los ECA. En el Anexo 3, figuran los valores del estudio.

En la época de estiaje Araujo (2010) evaluó los siguientes parámetros de calidad de agua en la cuenca baja del río Tambopata: color aparente, transparencia, conductividad, pH, temperatura, turbidez y oxígeno disuelto. En caso de la temperatura encontró variaciones en los puntos de muestreo. La temperatura mínima de 26,3 °C fue registrada en el río Távara y la máxima de 31 °C en el río Malinosky. El oxígeno disuelto varió ligeramente de 6,5 mg/l en el río Malinosky hasta 7,7 mg/l en el río La Torre. La conductividad desde 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río Azul hasta 63,6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el río “Alto” Tambopata. Además, se registraron pH homogéneos

y neutros que van desde 7,2 hasta 7,5. Todos estos valores dentro del ECA. Los datos figuran en el Anexo 4.

En otro estudio Cutipa y Araujo (2012) analizaron conductividad, pH, temperatura, transparencia, oxígeno disuelto y coliformes fecales en puntos de muestreo cercanos a la ciudad de Puerto Maldonado (cuenca del río Tambopata). Encontrándose en la quebrada Chonta temperaturas de 25 °C y 26 °C en época seca y lluviosa respectivamente. Valores de oxígeno disuelto de 6,8 mg/l y 7 mg/l, conductividad de 55 µS/cm en época seca y 14 µS/cm en época lluviosa y pH cercano a la neutralidad (6,8) en ambas épocas. La totalidad de estos datos figuran en el Anexo 5.

Asimismo, Araujo *et al* (2013), evaluaron, durante el mes de mayo el pH, la temperatura, la conductividad, el oxígeno disuelto, la transparencia, la presencia de coliformes fecales y de metales pesados en el agua y los sedimento de tres puntos de la subcuenca del río Malinosky. La temperatura varió desde 24 °C aguas arriba de la comunidad de Manuani, hasta 29 °C en el río Malinosky. La conductividad promedio fue de 48 µS/cm, el pH fue neutro y el oxígeno disuelto varió de 6,6 mg/l en el río Manuani hasta 7,4 mg/l en el río Malinosky. En tanto a los metales pesados, el mercurio no fue detectado ni en agua ni en sedimentos, pero si altos niveles de arsénico aunque por debajo del ECA. Los datos de calidad de agua figuran en el Anexo 6.

El Stroud Water Research Center (s.f), citado por Gómez (2012), analizó pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura en dos zonas de la cuenca del río Tambopata una altamente conservada y una zona con alto nivel de contaminación; encontrando parámetros óptimos de pH (7,6), conductividad (8 µS/cm), oxígeno disuelto (7 mg/l) y temperatura en la zona conservada, que corresponde a la zona restringida de la Reserva Nacional Tambopata, en las inmediaciones del albergue ecoturístico, Tambopata Reserch Center. Mientras que en la zona altamente contaminada se observó una disminución en el pH, el oxígeno disuelto y la variedad de macorinvertebrados. En el Anexo 7 se aprecian los datos del estudio.

Diringer *et al* (2014) analizó el contenido de mercurio en agua y sedimentos del río Madre de Dios y sus distintos tributarios, incluido el río Tambopata. En la sección donde se encuentra la desembocadura del río Tambopata con el río Madre de Dios, se observó un incremento de la concentración de mercurio en los sedimentos con un promedio de 31 mg/kg, lo cual es un valor elevado e indica contaminación. En la investigación se señala que el mercurio presente

en los sedimentos se puede transportar e incrementar su concentración en áreas aguas abajo de zonas con una fuerte actividad minera. En tanto a los parámetros de calidad de agua tales como temperatura, pH conductividad y oxígeno disuelto, no variaron considerablemente a lo largo de las estaciones de muestreo y no se encontraron valores que indiquen contaminación en estos aspectos.

Aparicio (2015) ha demostrado la presencia de mercurio en la cuenca del río Tambopata, a través de los niveles de mercurio encontrados en los peces de consumo humano, que ponen en evidencia un riesgo para la salud de los pobladores de la cuenca.

3. LAS ACTIVIDADES MINERA, AGROPECUARIA Y DE CONSERVACIÓN Y SU RELACIÓN CON LA CALIDAD DEL AGUA

3.1. MINERÍA

3.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD MINERA

En Madre de Dios la minería aurífera es la actividad que más aporta al PBI departamental, siendo la actividad económica principal y generadora de muchos puestos de trabajo (Mosquera *et al*, 2009; IIAP y MINAM, 2011). Según cifras del IIAP y el MINAM (2011) se calcula que hay 30 000 mineros operando en la región de Madre de Dios.

La minería que se practica es de tipo aluvial. Esta se realiza en la parte sur del departamento, específicamente en el sector medio y bajo del río Madre de Dios y las cuencas de los ríos Tambopata, Colorado e Inambari (Mosquera *et al*, 2009).

En la cuenca del río Tambopata la actividad minera se desarrolla con menor intensidad que en comparación con otras cuencas del departamento como son la del río Madre de Dios o la del río Inambari. La producción está claramente liderada por la zona de Huepetuhe que generó en el 2007 alrededor del 63 por ciento de la producción del departamento, bastante atrás esta la zona del río Malinowski (cuenca del Tambopata) que sólo produjo el 3 por ciento. (Mosquera *et al*, 2009)

En lo que respecta a la zona de estudio la minería se realiza mayormente en la subcuenca del río Malinosky. En la Figura 6, se aprecia un mapa de la zona de estudio donde se encuentra la ubicación de las concesiones mineras (ver área en naranja).

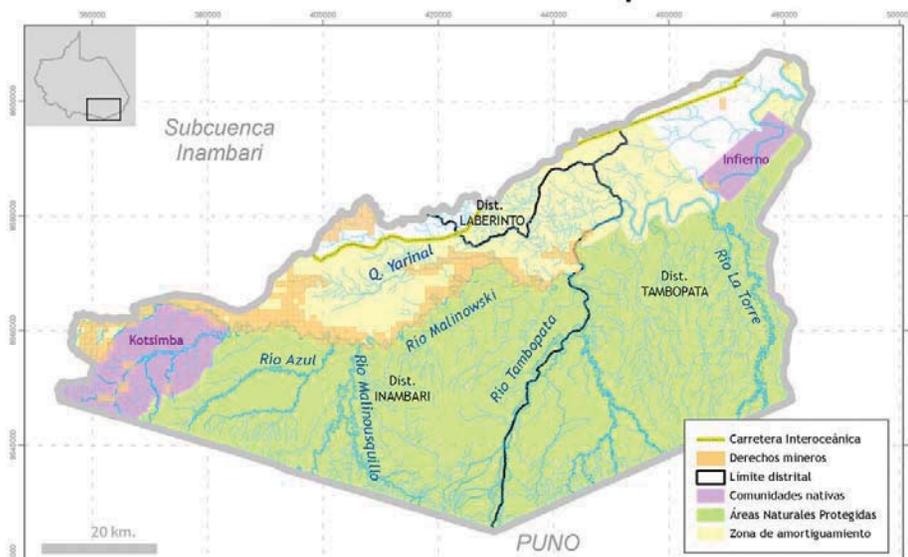


Figura 6: Mapa de actividad minera en la cuenca baja del río Tambopata

FUENTE: Mosquera et al (2009)

En la Reserva Nacional Tambopata (que ocupa gran parte del área de estudio) hay 27 concesiones tituladas y 58 denuncios mineros en trámite y en la zona de amortiguamiento hay 38 concesiones tituladas y 168 concesiones en trámite, principalmente a la largo del río Malinosky (AIDER, 2011). En la actualidad en la cuenca baja del río Tambopata se han otorgado 45 767 hectáreas, considerando concesiones tituladas y en trámite, lo que representa el 3,45 por ciento de este territorio (PEMD, 2012).

La actividad minera en el área se encuentra superpuesta a la zona de amortiguamiento de la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja-Sonene, donde se prohíben este tipo de actividades por lo que la minería se desarrolla en informalidad o ilegalidad.

En el área de estudio las zonas más afectadas por la actividad minera son desde la naciente del río Malinosky hasta su confluencia con el río Azulumayo, sobre todo en sectores como la CCNN de Kotsimba, sector Manuani, sector Dos de Mayo etc. (Mosquera *et al*, 2009). Los

ríos con mayor ocupación minera son el río Dos de Mayo, Quebrada Jayave, cabeceras del río Malinowsky y los ríos Azul, Chocolatillo y Malinowsquillo.



Figura 7: Turbidez elevada en la CCNN Kotsimba

FUENTE: elaboración propia

En general el 99 por ciento de esta actividad es ilegal o informal por lo que no contribuye con impuestos para el desarrollo del departamento o el país. Asimismo, está asociada a problemas de índole social como la trata de personas, la prostitución etc. (IIAP y MINAM 2011) y problemas en la tenencia de tierra (Mosquera *et al* 2009). Además, se caracteriza por la ocupación desorganizada e informal del territorio (Hentschel *et al* 2002, Villegas 2012, citados por Álvarez 2015).

3.1.2. PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo se inicia con un método de extracción, que varía según la tecnología empleada. Se desarrollan técnicas artesanales como la utilización de la carretilla para extraer el material aluvial hasta técnicas mecanizadas como dragas o cargadores frontales. El impacto que generan estos últimos es mayor, ya que pueden procesar 900 m³ de material aluvial. Este proceso se caracteriza por ser itinerante (Mosquera *et al*, 2009).

Después, del proceso de extracción le sigue el lavado gravimétrico del material aluvial, utilizando abundante agua y canaletas para obtener la porción más fina del material, ya que es en ésta donde se encuentra el oro (Mosquera *et al*, 2009).

Luego, le sigue la amalgamación, donde la arenilla se mezcla con mercurio en proporción 2:1 (mercurio: oro) para concentrar el oro. La mezcla se hace con los pies, en algunos casos con máquinas como el “amalgamador”. Finalmente, se realiza la quema de la amalgama para recuperar el oro. Muchas veces la quema se realiza en el mismo campamento y sin el uso de retortas que permitan la recuperación del mercurio (Mosquera *et al*, 2009).

El proceso de extracción del oro se realiza en forma empírica y con desconociendo de criterios técnicos básicos, lo que conlleva a la pérdida de materiales como pueden ser el mercurio, agua e inclusive el propio oro (Mosquera *et al*, 2009). Actualmente se está registrando una preferencia por la maquinaria pesada como cargadores frontales, camiones y dragas (IIAP y MINAM, 2011).



Figura 8: Proceso de lavado del material aluvial

FUENTE: elaboración propia

3.1.3. RELACIÓN DE LA MINERÍA CON EL AMBIENTE

Los principales impactos ambientales producidos por la minería aurífera son los siguientes:

- Deterioro de la calidad del agua y los sedimentos: el deterioro de la calidad del agua se produce por el vertimiento directo de sedimentos y sólidos en suspensión provenientes del

proceso de lavado del material aluvial. Este tipo de contaminación genera gran turbidez, disminución de la transparencia y dificulta el proceso de oxigenación, causando a su vez una disminución de peces (Mosquera *et al*, 2009). El valor de turbidez normal en Madre de Dios es de 100 NTU, pero en las zonas mineras este puede llegar a ser de entre 280 y 1000 NTU (IIAP y MINAM, 2011).

- Se muestra una alta variabilidad en los parámetros de calidad de agua, aguas debajo de zonas mineras auríferas (Dabrowsky, 2013). Las aguas residuales de la actividad minera tienen un alto potencial de acidificación del agua (Richter *et al*, 2013).
- Asimismo, se deteriora la calidad química del agua ya que se genera contaminación por metales pesados como el arsénico y el mercurio (Álvarez *et al*, 2015). Este último puede llegar en su forma líquida al río y se origina principalmente de la pequeña minería artesanal (Armah *et al*, 2010). Cuando se volatiliza puede llegar a depositarse en los alrededores del mismo sitio o bien se puede transportarse varios kilómetros y volver a la superficie terrestre mediante la precipitación, contaminando suelos, ríos y otras cuencas diferentes a las del origen (Bourgoin, 2004). El mercurio puede contaminar 50 kilómetros alrededor del área de emisión (Guimarães *et al*, citado por Bourgoin, 2004). Además, los vapores del mercurio en el proceso de refogado también contaminan la zona (Mosquera *et al*, 2009). Un total de entre el 50 al 60 por ciento del mercurio volatilizado permanece en estado líquido y se dispersa (IIAP y MINAM, 2011).
- Los metales pesados son extremadamente móviles en los residuos generados por la actividad minera y en los sedimentos de las minas aguas de bajo de estas (Salvarredy *et al*, 2008). En los puntos de muestreo asociados a la minería aurífera se muestran las mayores concentraciones de metales pesados en comparación a otros usos de suelo como la agricultura y la industria (Dabrowsky *et al*, 2013).
- En tanto a estudios en la zona de evaluación la DIRESA reporta contaminación de los ríos con metales pesados a consecuencia de la actividad minera. INRENA (2003, citado por Mosquera *et al*, 2009) y Barbieri (2004) reportan alto contenido de mercurio en los sedimentos asociados a la minería del río Malinosky. El ANA (2010b) encontró alto contenido de metales pesados en la cuenca del Inambari, donde se desarrolla la minería a gran escala. Araujo (2013) reportó altos contenidos de arsénico y Diringer *et al* (2014) encontró altos contenido de mercurio en agua y sedimentos de zonas con influencia

minera. En Madre de Dios, la contaminación con mercurio en sedimentos es muy alta triplicando en algunas cuencas los límites máximos permisibles (IIAP y MINAM, 2011).

- En general los problemas de contaminación con metales pesados, sobretodo el mercurio, se generan por un inadecuado manipuleo y almacenamiento lo que genera que vayan a parar a los ríos (Mosquera *et al*, 2009) teniendo en cuenta que el mercurio prácticamente no es recuperado (IIAP y MINAM, 2011). Además, por los trabajos de explotación que generan remoción del suelo y los sedimentos que pueden movilizar trazas geológicas de metales pesados (Araujo, 2013), ya que ambos cuerpos contienen de manera natural estos metales (IIAP y MINAM, 2011).
- Deforestación.: la eliminación de la cobertura vegetal ocasiona pérdida de la biodiversidad, alteración del paisaje y acelera el proceso de degradación del suelo (Mosquera *et al*, 2009). La deforestación por la actividad minera en Madre de Dios al año 2011, fue de 25 690,09 hectáreas. (OSINFOR, 2013).
- Erosión y/o degradación del suelo: se destruye el material orgánico y se genera una gran erosión por el lavado del suelo en la extracción. La pérdida del horizonte orgánico contribuye a la posterior pérdida de fertilidad. En general la degradación dificulta y hace lenta la restauración del ecosistema. (Mosquera *et al*, 2009).
- Disminución de la cantidad de agua superficial: en los últimos años se evidencia una disminución de la cantidad de agua superficial, ya que esta es usada en grandes cantidades para el proceso de lavado del material aluvial. (Mosquera *et al*, 2009)
- Colmatación con sedimentos el cauce de los ríos: los movimientos masivos de tierra generan cambios en la morfología local del río, ya que estos se colmatan a consecuencia del agua que circula cargada de sedimento y tierra provenientes del proceso de extracción del oro. Esto origina además, ensanchamiento del cauce y pérdida de hábitats para la vida acuática, aún por debajo de las zonas de explotación minera. Además, se produce fragmentación de ecosistemas y turbidez elevada (Mosquera *et al*, 2009). El incremento de sedimentos en los ríos no sólo altera la velocidad del agua y por tanto la tasa de erosión y sedimentación, sino también la temperatura del agua, el contenido de oxígeno, nutrientes y de sustancias tóxicas. También, provoca mayores inundaciones al remover y acumular grava y fango de forma irregular, alternado las características limnológicas del río y disminuyendo la capacidad del cauce (IIAP y MINAM, 2011).

- Contaminación por hidrocarburos: las maquinarias y/o artefactos utilizados en el proceso de extracción requieren hidrocarburos y otros aditivos para su funcionamiento. La contaminación se produce por derrames de estos elementos lo que afecta a la calidad del agua, a las plantas, peces y genera proliferación de insectos (Mosquera et al, 2009). La quema del petróleo a su vez puede generar cadmio, plomo y sulfatos los cuales pueden ingresar a las aguas superficiales a través de la precipitación de estos tóxicos (Gómez, 1998; Ritcher et al, 2013). En Madre de Dios, el MINAM (2011) señaló que se usan 175 000 galones de diesel y gasolina, y se derraman aproximadamente 1500 litros de aceite por día proveniente de la maquinaria y embarcaciones.
- Disminución de la biodiversidad: la disminución de la biodiversidad se produce por la destrucción o la alteración del hábitat de las especies. En este sentido, los procesos de deforestación, erosión y alteración de las características geomorfológicas y de la calidad del agua en las cuencas tienen principal importancia (Mosquera et al, 2009).



Figura 9: Deforestación y degradación del suelo en la CCNN Kotsimba

FUENTE: elaboración propia

3.2. ACTIVIDAD AGROPECUARIA

3.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA

La actividad agropecuaria incluye a la actividad agrícola migratoria, la no migratoria, la ganadería extensiva y la crianza de animales menores, la cual se encuentra localizada en las principales carreteras y vías fluviales (Mosquera *et al*, 2009).

De forma diferenciada la actividad agrícola representa alrededor del 70 por ciento del valor de la producción agropecuaria, mientras que la actividad pecuaria solo el 30 por ciento (DRA, 2015). Esta es una de las principales actividades económicas en Madre de Dios y en la cuenca del río Tambopata (Rondón *et al*, 2010).

En términos generales, en Madre de Dios la actividad agropecuaria tiene poco desarrollo, ya que es una agricultura bastante tradicional, dependiente casi exclusivamente del clima y sin mayor tecnología (ANA, 2010a). La agricultura es principalmente de subsistencia, la comercial es limitada y el uso de agroquímicos es raro (Rojas, 2012). Muchos agricultores poseen 2 hectáreas de cultivos anuales y perennes, 9 hectáreas de pastos y 25 hectáreas de bosques secundarios y primarios (Rondón *et al*, 2010). La ganadería también es incipiente la mayoría de los hogares tienen sólo unas pocas cabezas de ganado (Rojas, 2012).

Los principales cultivos en el departamento de Madre de Dios, en orden de importancia son maíz amarillo duro, arroz, plátano, yuca, papaya, copoazú, limón y piña. Cultivos como la piña, el cacao y la papaya vienen incrementado el número de hectáreas de producción (DRA, 2015).

La actividad pecuaria en Madre de Dios, se centra en la producción de aves, leche, huevo y ganado vacuno (DRA, 2015). En su mayoría la crianza de animales menores se realiza en predios donde también se desarrolla la agricultura (Tello, 2002).

En la provincia de Tambopata (donde se encuentra la zona de estudio) se genera más del 75 por ciento de la producción agrícola departamental, por lo que se puede clasificar como la zona más productiva del departamento de Madre de Dios. (DRA, 2015). Sin embargo, en la zona de estudio hay una reducción de la actividad agropecuaria en comparación a otras zonas de la provincia de Tambopata, por ser esta en su mayoría un área natural protegida, donde se da prioridad al uso de conservación. Es por ello, que el área que ocupa este uso son sólo 500,66 hectáreas (AIDER, 2011). En la Figura 10, se aprecia la ubicación de la actividad agropecuaria (ver áreas en celeste).

La agricultura es una de las principales actividades económicas en el río Tambopata. El tipo de agricultura practicada es la migratoria de baja escala (AIDER, 2011). Es así que más del 50 por ciento del predio agropecuario se conserva como bosques. Esta se encuentra sujeta a las características climáticas del medio, al ser básicamente el riego por secano. Además, se usan semillas comunes, la cosecha es manual, se emplea muy poco las maquinarias y el uso

de insumos como fertilizantes y otros agroquímicos es restringido. En general en Madre de Dios, hay una tendencia al alza de agricultores que usan tecnologías adaptadas a la región, como la semilla mejorada, fertilizantes orgánicos, sistemas agroforestales etc. (ANA, 2011a). Los principales cultivos en la zona de estudio son el arroz, maíz, yuca, plátano, cítricos, piña y el cacao (Rondón *et al*, 2010), la mayoría de estos exceptuando parte del maíz, arroz, yuca y cacao son destinados para el autoconsumo. Además, se están produciendo en pequeños volúmenes la papaya, el frejol y la soya (AIDER, 2011).

La ganadería se practica conjuntamente con la agricultura y es efectuada de manera familiar y extensiva. La actividad pecuaria de ganado vacuno se desarrolla principalmente en la zona de la carretera de Puerto Maldonado a Cusco, mientras que en las zonas aledañas a los ríos, se desarrolla básicamente la crianza de animales menores (aves de corral y otros). En dichas zonas, existe muy poca crianza de ganado vacuno y la mayoría de animales son destinados para el autoconsumo. Además, se usan muy pocos los insumos externos como hormonas (SERNANP, 2011). En general los terrenos para la actividad agropecuaria fluctúan de entre una y a cinco hectáreas (ANA, 2010a).

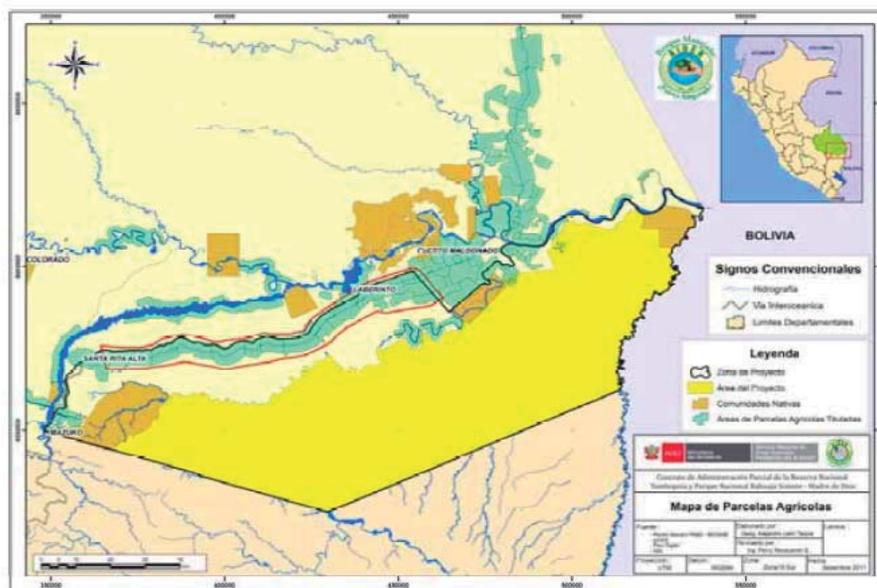


Figura 10: Mapa de actividad agropecuaria en la cuenca baja del río Tambopata

FUENTE: AIDER (2011)

3.2.2. RELACIÓN DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA CON EL AMBIENTE

El sureste de la Amazonía peruana está sujeto a crecientes niveles de deforestación debido a la agricultura (Rojas, 2012). Cuando se tala un bosque tropical para la implementación de la agricultura se experimentan cambios notables como la ruptura del ciclo de nutrientes, la compactación del suelo, la alteración del ciclo hidrológico notándose una alta escorrentía superficial y baja tasa de infiltración, lo que a su vez provoca una alta erosión y pérdida de nutrientes, además de efectos negativos en la calidad del agua (Ruiz, 1986).

La intensificación de la agricultura tiene consecuencias perjudiciales ya que puede conducir a la eutrofización y aumento de concentraciones de contaminantes y metales pesados (Oke, 2013). La escorrentía agrícola, los desechos animales, la erosión del suelo y los agroquímicos son los principales contribuyentes a la contaminación del agua, lo cual representa un riesgo para la vida acuática y la salud humana (Adler, 2013). La disminución de la calidad del agua causada por la actividad agrícola es el resultado del uso excesivo de productos agroquímicos (Shabalala *et al*, 2013).

La agricultura puede reducir la calidad del agua mediante el aumento de la turbidez y la escorrentía (Adler, 2013). Asimismo, ocasiona el aumento de nutrientes y sedimentos en arroyos que reciben el drenaje de las zonas agrícolas (Dukes *et al*, 2006). El aumento de la actividad agrícola puede disminuir el caudal en la época de estiaje, al igual que generar un aumento de los sólidos en suspensión y la concentración de sedimentos. El pH no varía con el incremento de la actividad agrícola, pero si se observan cambios en la conductividad y la temperatura del agua conforme aumenta la intensidad agrícola (Chow *et al*, 2011).

El aumento de la agricultura, eleva la concentración total de metales, incluyendo los metales pesados (Shabalala, 2013). Un factor principal que explica las concentraciones de mercurio es el proceso de erosión favorecido por las pendientes naturales muy fuertes y acelerado por actividades como la agropecuaria y la minería aluvial (Bourgoin, 2001).

La actividad ganadera figura entre los sectores más perjudiciales para los recursos hídricos contribuyendo a la contaminación del agua y su eutrofización. Los principales agentes contaminantes son los desechos animales, los antibióticos, las hormonas, los fertilizantes y pesticidas usados para fumigar los pastos (FAO, 2006). Los contaminantes que se generan pueden ser nitratos, nitritos y elevadas concentraciones de amoníaco (Shabalala, 2013).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el nivel de contaminación depende del tipo de actividad agropecuaria que se realiza. Si está es más rudimentaria como la que se desarrolla en Madre de Dios (Mosquera *et al*, 2009) es menos dependiente del uso de agroquímicos y por tanto tiene un menor nivel de contaminación.

En la zona de estudio no se han realizado investigaciones que señalen a la actividad agropecuaria como causante de contaminación o de una disminución en la calidad del agua y los sedimentos, este potencial es más atribuible a la actividad minera, como lo señalan Araujo (2013), el ANA (2010b), Barbieri (2004) y otros.

3.3. CONSERVACIÓN

3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSERVACIÓN

El sureste de Amazonía peruana está considerado como la zona de mayor biodiversidad de la Amazonía (Myers, Mittermeier, Mittermeier, da Fonseca, y Kent, 2000; Sandoval y Wilson, 1996 y otros; citados por Rojas, 2012). Los bosques de Madre de Dios están entre los bosques mejor conservados del Perú, con el 30 por ciento de su territorio bajo distintas categorías de conservación (AIDER, 2011). Ayuda también a su conservación su ubicación en sitios más remotos y relativamente de más difícil acceso hasta hace pocos años.

Para el presente estudio se consideran como actividades de conservación al ecoturismo, a la recolección de castaña, a la reforestación y la investigación, actividades que no dañan prácticamente la cobertura boscosa.

Madre de Dios, es el departamento con más concesiones de ecoturismo y conservación, con un total de 19 concesiones (DGFFS, 2012). En la zona de la cuenca del río Tambopata hay 10 titulares de concesiones de ecoturismo y conservación.

En Madre de Dios el ecoturismo se ha convertido en una actividad económica de gran importancia (Rojas *et al*, 2012). La industria turística ha crecido enormemente, sobre todo en la década de los 90 gracias a la creación de la Reserva Nacional Tambopata y los estudios

científicos. En cifras absolutas el turismo creció 128,4 por ciento entre los años 1990 y 2001. En el año 2012 se registraron 33 300 turistas (MINCETUR, 2013).

En la cuenca del río Tambopata hay dos albergues ubicados en la Reserva Nacional Tambopata y ocho ubicados en el área de amortiguamiento de esta ANP. La infraestructura tiene una capacidad promedio para 96 360 turistas anuales. La jefatura de la Reserva Nacional Tambopata promueve y facilita las actividades de los operadores turísticos y coordina con la Dirección Regional de Turismo y Comercio Exterior el uso de los atractivos turísticos, permisos de ingreso y otros temas relacionados (AIDER, 2011).

La castaña se encuentra principalmente en la provincia de Tahuamanu (fuera del área de estudio) y en menor medida en la provincia de Tambopata. Alrededor de 100 000 hectáreas, el 4 por ciento, se encuentran en la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene. Al interior de la Reserva Nacional Tambopata hay 85 concesiones, mientras que en el Parque Nacional Bahuaja Sonene hay 13. La castaña se aprovecha con orientación comercial, su producción está siendo más tecnificada y su aprovechamiento más ordenado (AIDER, 2011).

3.3.2. RELACIÓN DE LA CONSERVACIÓN CON EL AMBIENTE

Los bosques se diferencian de otros usos de suelo por su alto nivel de desarrollo aéreo, su extensa red de raíces y su capacidad para generar suelos porosos y de alta capacidad de filtración (Fiquepron *et al*, 2013). Los bosques influyen en procesos como el almacenamiento de agua mediante su mayor capacidad de infiltración y menor escorrentía de aguas pluviales. Además, reducen la cantidad de sedimentos que llegan a los cauces, disminuyen la turbidez y la carga de nutrientes, asociadas a la mayor estabilidad de las riberas; aumentan la recarga de las aguas subterráneas, reducen la contaminación por fuentes no puntuales y mitigan las inundaciones (Matteo *et al*, 2006). Los bosques a través de la sombra que generan moderan y regulan la temperatura del agua en beneficio de la vida acuática (Gundersen *et al*, 2010).

La deforestación a lo largo de los bordes de los cursos de agua genera problemas como la sedimentación y el aumento de la temperatura en el río (Couseiro *et al*, 2006). La tala y la

quema de biomasa pueden causar cambios en la química del agua superficial, a través de la liberación y lixiviación de nutrientes y un incremento de la escorrentía y erosión, causando elevados niveles de exportación de sólidos y solutos (Neill *et al*, 2001). Altos niveles de deforestación disminuyen la concentración del oxígeno disuelto y aumentan la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua (Couseiro *et al*, 2006).

Estudios recientes sugieren que la deforestación conduce a una lixiviación de metales pesados en los suelos amazónicos (Roulet *et al*, 1998; Fostier *et al*, 2000; Farella *et al*, 2001; citados por Mainville *et al*, 2005). Luego, por el proceso de erosión o volatilización del mercurio de las capas superficiales de suelo terminan en los cursos de agua (Mainville *et al*, 2005). La deforestación y la quema del bosque liberan el mercurio contenido naturalmente en los suelos amazónicos y en la vegetación, el cual es arrastrado a los cursos de agua. Estudios en Ecuador (río Napo) y Brasil (río Tapajós) demostraron el incremento del contenido del mercurio en sedimentos, peces y personas asociados a la deforestación (Webb *et al*, 2004; Lebel, 2010; citados por IIAP y MINAM, 2011). La deforestación puede generar mayores flujos de metilmercurio en la zona ribereña (Gundersen *et al*, 2010), comprometer la calidad del agua (Silva *et al*, 2001; Couseiro *et al*, 2006) y reducir la integridad biológica en los ríos (Roy *et al*, 2003). Las zonas forestales explican la buena calidad de sedimento (sin metales pesados) en los sistemas fluviales (Oke, 2013).

En las zonas sin cobertura boscosa a causa de la minería informal hay presencia de metales pesados (arsénico, mercurio, plomo) en el agua. Esto se aprecia en los tributarios del Inambari, que desde la cabecera, por la deforestación, evidencia presencia de mercurio. (ANA, 2010b). La protección de la calidad de agua se mantiene en gran parte por evitar perturbaciones en los bosques y daños en el suelo (Gundersen, 2010).

Los bosques adyacentes a los cursos de agua son una de las más importantes áreas forestales para proteger la calidad del agua (EPA, 1976). Los bosques ribereños son eficaces en la protección de la calidad del agua y la vida acuática y terrestre (Matteo *et al*, 2006). Estos bosques y los de tipo aluvial cumplen un rol purificador ya que su sistema radicular funciona como un filtro para elementos nutritivos y algunos elementos tóxicos (Fiquepron *et al*, 2013). Conservando la vegetación ribereña y reduciendo al mínimo la perturbación del suelo, se puede reducir significativamente el impacto en la calidad del agua a través de mantener un río con sombra y regímenes de temperatura favorables, reducir de la erosión y la posterior sedimentación (EPA, 1976)

Estudios Estados Unidos, han demostrado que los bosques tienen beneficios sustanciales en la calidad y cantidad de agua en las cuencas (Matteo *et al*, 2006). Estudios en Francia confirman la influencia positiva de los bosques en la calidad del agua (Fiquepron, 2013). Dado los múltiples beneficios del bosque, es esencial tenerlos en cuenta de manera conjunta con los recursos hídricos (Newson ,1989; citado por Matteo *et al*, 2006).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo ha sido desarrollado en la cuenca baja del río Tamboapata, exceptuando el área cercana a la ciudad de Puerto Maldonado (50 kilómetros aguas arriba siguiendo el curso del río Tambopata), ya que la evaluación del impacto del uso urbano en la calidad de agua y los sedimentos no está contemplada en el presente estudio. La cuenca baja del río Tambopata se ha delimitado entre las coordenadas Oeste 69° 54' y 69° 1'; y Sur 12° 42' y 13° 22' que abarca el sur de Madre de Dios y el área limítrofe con el departamento de Puno. Esta zona cuenta con una extensión aproximada de 130 600 hectáreas y un rango altitudinal, en el cauce del río principal, que oscila entre los 350 y los 200 m.s.n.m. Más detalles sobre las características del lugar se encuentran en el acápite 1 de la revisión bibliográfica.

2. FECHA DE EJECUCIÓN

La presente investigación se realizó en la temporada de creciente del año 2013, específicamente a finales de los meses de febrero y marzo del mencionado año.

3. MATERIALES Y EQUIPOS

- Balde de plástico de 15 litros de capacidad con tapa
- Recipiente de plástico de boca ancha
- Soguilla

- Rafia
- Paquete de bolsas de plástico auto-sellables
- Cooler
- Icepack
- Veintisiete botellas de plástico de 1 litro de capacidad
- Etiquetas
- Tres plumones indelebles
- Cinco cajas de tecnopor
- Potenciometro digital (Hanna instruments modelo HI 9026)
- Oxímetro (Extech instruments modelo HI 9146) con termómetro digital incluido
- Cinta de embalaje
- Cucharon de plástico
- Balanza de resorte
- GPS
- Imágenes satelitales y mapas de la zona de estudio
- Cámara de fotos
- Computadora
- Software Arcgis 10.0
- Software SPS versión 9.2
- Formatos de campo y cadena de custodia

4. METODOLOGÍA

4.1. SEGREGACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La segregación del área de estudio se realizó en base información secundaria conformada por mapas y estudios como los de Mosquera *et al* (2009), ANA (2010b), MINAM (2010) y AIDER (2011); e información primaria, ya que se recorrió la zona de estudio antes de realizar el trabajo de muestreo de la presente investigación. En este sentido, la subcuenca del río Malinosky fue identificada como zona minera. La zona agropecuaria fue definida como el área aluvial cercana al río Tambopata desde 50 kilómetros de cauce aguas debajo de Puerto Maldonado hasta el Puesto de Control y Vigilancia (PCV) Malinosky, de la Reserva Nacional Tambopata (RNT). La zona de conservación fue definida como el área aguas arriba del PCV Malinosky, ya que este puesto de control separa el área de amortiguamiento de la zona de protección de la RNT. Es a partir de dicha zona donde la actividad agropecuaria está prohibida y se presentan más regulaciones a la actividad ecoturística, por lo que no se encuentra ampliamente visitada por turistas, ni posee poblaciones asentadas. En la Figura 11, se aprecia la segregación de la zona de estudio.

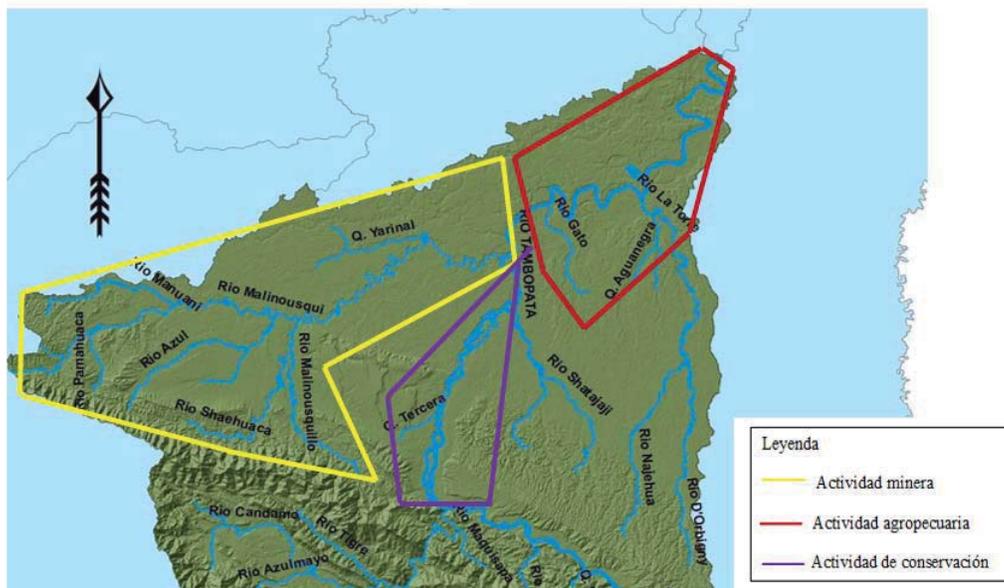


Figura 11: Mapa segregado de la zona de estudio en las tres actividades de evaluación

FUENTE: elaboración propia en base a datos de ANA (2011a)

4.2. DEFINICIÓN DEL NÚMERO DE PUNTOS DE MUESTREO

El número de muestras ha sido determinado teniendo en cuenta consideraciones estadísticas, el número de puntos de muestreo que evalúa el área de salud ambiental de la DIRESA, la accesibilidad y la seguridad.

La accesibilidad es un factor limitante ya que la navegación por el río Malinosky no es muy frecuente y el número de embarcaciones es muy limitado. Asimismo, por el desarrollo de la actividad minera informal no se produce el alquiler de embarcaciones a extraños. Instituciones como la DIRESA son permitidas de acceder a esta zona ya que han realizado por muchos años estos muestreos y tienen un prestigio como institución de salud.

La seguridad es otro factor limitante ya que se evidencia un clima hostil y de desconfianza en la población dedicada a la actividad minera a raíz del Decreto de Urgencia N° 012-2010, las políticas de formalización de la actividad minera y la intervención violenta de las fuerzas armadas y policiales en las zonas mineras informales y/o ilegales. Es por ello, que en zonas donde la actividad minera se desarrolla con mayor intensidad y donde es difícil el transporte como la CCNN Kotsimba, el río Dos de Mayo y la cabecera del río Malinosky no se ha podido realizar el muestreo. De igual forma, hay muy pocos puntos de acceso no controlados por los mineros, en los cuáles se puede ingresar hasta un cuerpo de agua.

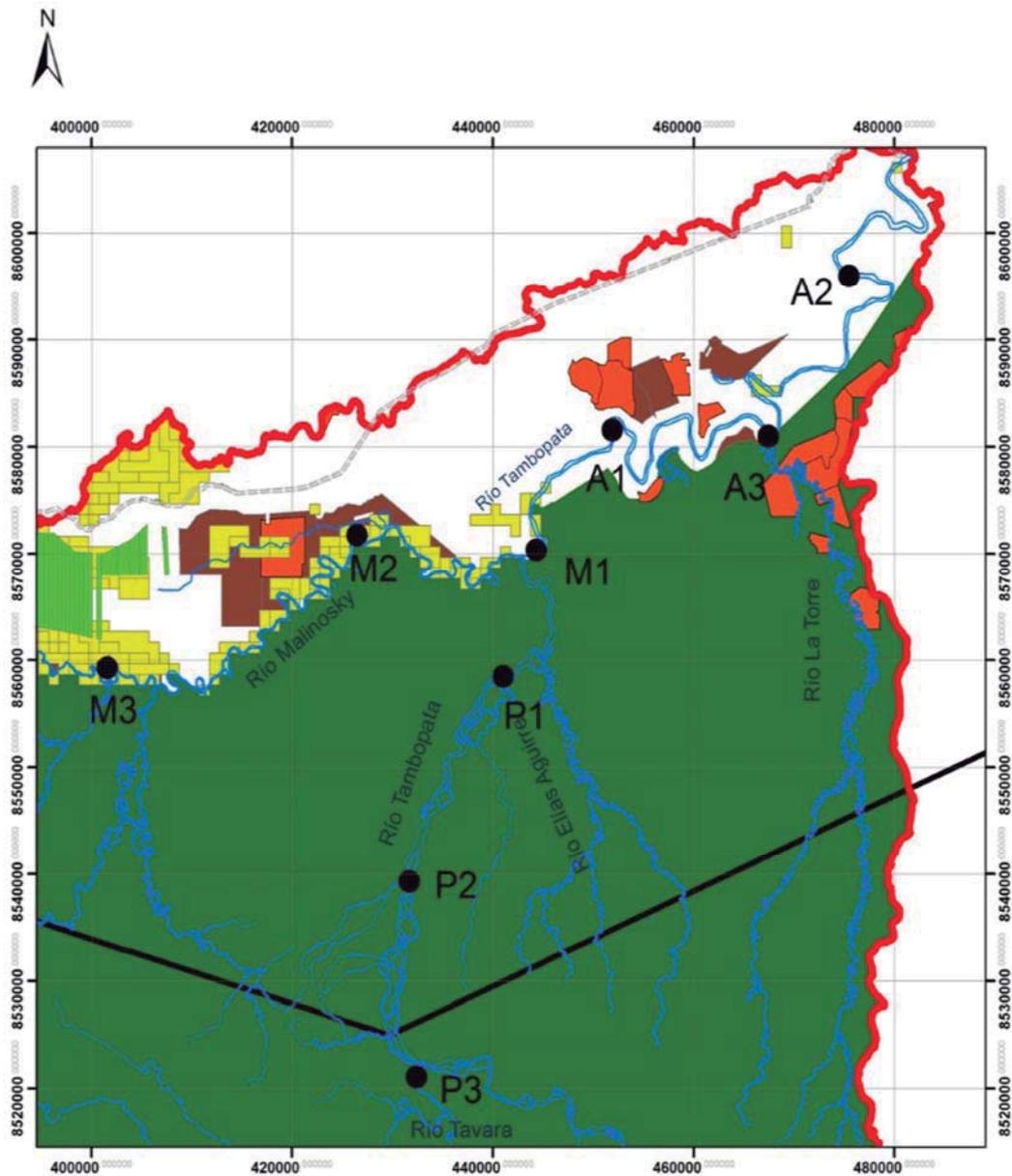
En tanto a la accesibilidad, el río Malinosky presenta un bajo nivel de agua, lo que dificulta la navegabilidad, por esta zona. Por otro lado, el río Tambopata sí presenta buenas condiciones de navegabilidad, con algunos rápidos y zonas de bajo caudal en la zona limítrofe con el departamento de Puno.

Además, se tomó en cuenta un conjunto de 12 puntos de muestreo que evalúa el área de salud ambiental de la DIRESA. Estos representan una muestra de la calidad del agua en zonas con pequeños caseríos o poblaciones asentadas, teniendo en cuenta que en los puntos más alejados a Puerto Maldonado no hay poblaciones asentadas. También, según consideraciones estadísticas se debe de tener un mínimo de tres puntos de muestreo por tratamiento o actividad a evaluar.

En base a todas estas consideraciones es que se han definido nueve puntos de muestreo, tres para cada actividad. Es decir, tres puntos para la actividad minera, tres para la actividad agropecuaria y tres para la actividad de conservación.

4.3. DEFINICIÓN DE LA UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para definir la ubicación de los puntos de muestreo, se tomó en cuenta la accesibilidad, la seguridad, la información secundaria, la segregación del área de estudio y la ubicación de los puntos de muestreo que evalúa la DIRESA y el ANA en el 2010 (ver ANA 2010b), teniendo en cuenta un total de tres puntos de muestreo por cada actividad a evaluar. En la Figura 12 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo.



Escala
1:500,000

Figura 12: Mapa de ubicación de los puntos de muestreo

FUENTE: elaboración propia

Tabla 3: Ubicación de los puntos muestreo

Código	Actividad evaluada	Ubicación
M1	Minería	Tambopata a aproximadamente 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 aproximadamente 3 metros de la confluencia con el río Tambopata, cerca al C.P Chonta
A3		Río Tambopata a aproximadamente 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

FUENTE: elaboración propia

El punto M1 fue escogido para ver si la posible contaminación procedente de la subcuenca del río Malinosky, donde se concentra la actividad minera en el área de estudio, llega al río Tambopata, una zona de gran importancia ecológica ya que constituye el inicio de la zona reservada de la Reserva Nacional de Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene. El punto M2 y M3 se escogieron por ser puntos accesibles donde se desarrolla la minería. El punto A1 por ser un punto cercano al límite con el uso de conservación neta, en donde se desarrolla la actividad agropecuaria a pequeña escala. El punto A2 y A3 por ser puntos donde hay pequeñas poblaciones asentados que desarrollan la actividad agropecuaria. Los puntos P1 y P2 han sido escogidos al azar, y el punto P3 para evaluar al río Távara que es actualmente una zona prístina, descartando la posible fuente de contaminación del río Tambopata en la zona de Puno, donde también se desarrolla la minería.

4.4. DEFINICIÓN DE LA ÉPOCA DE EVALUACIÓN

Los estudios de calidad de agua y sedimentos siempre consideran la evaluación en dos periodos época de estiaje y en época de creciente. Esto con la finalidad de analizar los cambios de la calidad de agua conforme cambia el régimen hidrológico, ya que los contaminantes y

otras características como el pH se pueden ver afectados por el aumento del caudal. Sin embargo, por motivos de accesibilidad en la zona definida como de protección, sólo se evaluó en época de creciente. Además, las investigaciones Araujo (2013) y Diringer *et al* (2014) en la zona de estudio o en cuencas limítrofes señalan que no hay diferencias significativas en los parámetros de calidad de agua y sedimento en ambas épocas de evaluación. La época de creciente fue escogida porque, además, como señala Bourgoin (2001) la concentración de mercurio en los sedimentos aumenta durante la época de creciente por la mayor erosión que se presenta.

La toma de muestras para los análisis de calidad de agua y sedimento se realizó en tres viajes de campo. El primero de ellos fue a finales del mes de febrero del 2013, siguiendo el curso del río Tambopata, evaluándose los puntos P1, P2, P3, M1, A1, A2 y A3. Este primer viaje fue realizado con el apoyo de la DIRESA, que contaba con las condiciones logísticas para entrar a dicha zona y junto con la autora había tramitado la solicitud para entrar al área y realizar el trabajo de muestreo (ver el Anexo 10, donde figura la autorización de ingreso). Posterior a ello, el 29 de marzo, se realizó el muestreo en el punto M2 y dos días después al punto M3.

4.5. DETERMINACIÓN DE INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTOS

Tanto en el agua como en los sedimentos se evaluaron diversos indicadores de calidad ambiental. En el agua se evaluó temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos, sólidos en suspensión, turbidez y nitrógeno amoniacal. Todos ellos escogidos porque son prioritarios y capaces de medir la influencia del uso del suelo en la calidad del agua. Indicadores como la temperatura, el pH, el oxígeno disuelto y otros uegan un papel muy importante en la ecología acuática, ya que condicionan a la vida que se desarrolla en este medio. Por otro lado, parámetros como turbidez, sólidos en suspensión y sólidos disueltos dan una idea de la influencia del uso del suelo y la erosión sobre el ecosistema del río. Estudios como los de Barbieri (2004), Peck (2013) y Cutipa *et al* (2011) los determinaron para medir el impacto de actividades similares a las evaluadas.

Los metales pesados fueron evaluados porque miden el impacto del uso del suelo en los sistemas fluviales de una cuenca. La determinación de estos se hizo en base a su toxicidad, ya que es prioritario evaluarlos por presentar un alto riesgo para la salud humana y la del ecosistema. Se escogieron los metales pesados de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo, los cuales son también priorizados por estudios como los del ANA (2010b), Gómez (1998) y autores como Poch (1999). Además, se tuvo en cuenta que en la zona de estudio se desarrolla la minería aurífera que usa como uno de sus insumos principales al mercurio.

Los metales pesados fueron determinados en sedimento y no en agua porque debido a su elevada densidad, estos tienden a precipitan rápidamente en el ecosistema acuático y acumularse en los sedimentos como lo señalan Lú (2001), IIAP y MINAM (2011) y Araujo (2013). También, varios metales pesados como el mercurio tienen una gran capacidad de adsorción por las partículas más finas y forman enlaces de alta estabilidad con estas como lo señala (Rae y Astón 1982, citados por Bourgoin et al 1999). Es por ello, que autores como Poch (1999), Lú (2001), Barbieri (2004) y Oke (2013) etc. señalan una mayor proporción o la existencia de metales pesados en los sedimentos más que en el agua. Asimismo, es a través de los sedimentos que ingresan a la cadena trófica acumulándose y biomagnificándose para luego ser consumidos por el hombre. De igual forma, los sedimentos en muchos casos son los mayores responsables de la contaminación de los ríos, porque estos pueden viajan grandes distancias llevando la carga tóxica.

4.6. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE INDICADORES

Primero se procedió a una descripción general de los puntos de muestreo, ya que las condiciones de la zona y la actividad desarrollada ejercen una influencia en la calidad de agua y de los sedimentos. Los datos evaluados fueron los siguientes:

- Ubicación, en base a las coordenadas UTM.
- Altura en metros sobre el nivel del mar
- Fecha de evaluación

- Actividad evaluada: la actividad que se desarrolla, el tipo (por ejemplo minería artesanal), la extensión afectada aproximada por el cambio de uso del suelo y observaciones como por ejemplo si se observa algún tipo de maquinaria en la zona
- El tipo de bosque
- El tipo de suelo (textura y color)

En segundo lugar se tomaron muestras y/o se evaluaron los principales indicadores de calidad de agua. De todos los indicadores mencionados anteriormente la temperatura, pH y el oxígeno disuelto fueron evaluados *in-situ* y los otros parámetros en las instalaciones del laboratorio certificado CERPER en Lima.

El primero de los indicadores medidos en campo fue el oxígeno disuelto. Para ello, se usó un oxímetro (Hanna, modelo HI 9026) que se introdujo con un movimiento circular en un aproximado de 6 litros de agua colectada del centro del río o quebrada, como lo señala la Autoridad Nacional del Agua (2011c) en su “Protocolo nacional de monitoreo de la calidad en cuerpos naturales de agua superficial”. La temperatura fue medida directamente usando el termómetro incorporado en el oxímetro. Posteriormente, el pH se evaluó usando un potenciómetro (Extech, modelo HI 9146), el cual midió el pH del agua que ya anteriormente había sido colectada para la determinación del oxígeno disuelto. En todos los puntos de muestreo se hicieron dos medidas de cada uno de los parámetros evaluados en campo y se anotó el promedio de estos en la sección de resultados.

Para la evaluación de los otros parámetros de calidad de agua se colectó nuevamente agua con un balde, tomando el agua que se encuentra en el centro del curso. El agua colectada fue usada para llenar 3 botellas de plástico de 1 litro de capacidad, para el análisis de conductividad eléctrica y sólidos disueltos, sólidos suspendidos y turbidez y una última para el análisis de nitrógeno amoniacal. Las botellas para la determinación del nitrógeno amoniacal, contaban con H₂SO₄ como preservante, mientras que las otras no poseían preservante. Terminada la colección de muestras cada botella fue etiquetada indicando el código del punto de muestreo, fecha, hora de evaluación e indicador a analizar. Para finalizar, las botellas fueron colocadas en una caja de poliestireno expandido, más conocido como “tecnopor” incorporando un refrigerante.

Por otro lado, se determinó la presencia de arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo en los sedimento. Para ello se colectó de las orillas de los cuerpos de agua una muestra mixta (sedimentos procedentes de una franja de aproximadamente 2 metros de largo) de 1,5 kg de sedimento, utilizando una paleta de plástico. Las muestras de sedimento fueron debidamente almacenado en una bolsa de plástico transparente auto-sellable y etiquetadas como las muestras de agua. Estas fueron colocadas junto con las muestras de calidad de agua en la caja de tecnopor. Cabe señalar, que para la colección de las muestras se tuvieron en cuenta las características de la geomorfología fluvial para escoger el lugar específico donde se depositan los sedimentos, como lo señalan Leopold *et al* (1964) y Dunne *et al* (1978).

Por último, se procedió de acuerdo a los protocolos que se deben cumplir para enviar las muestras de acuerdo a los estándares nacionales (cadena de custodia) y se selló la caja de tecnopor con las muestras de agua y de sedimento para su posterior envío a Lima. Se usaron dos cajas diferentes una para las muestras de calidad de agua que fueron analizadas en el laboratorio CERPER y otra caja para las muestras de sedimento que fueron analizadas en el laboratorio ECOLAB, ambos laboratorios certificados.

A continuación a manera de resumen se presentan las Tablas 4, 5 y 6. En los que se detalla el parámetro a analizar, el método empleado para determinarlo y el número de decimales considerados en el análisis.

Tabla 4: Indicadores de calidad de agua y método de análisis

<i>Indicador</i>	<i>Método de análisis</i>	<i>Decimales considerados</i>
Temperatura	<i>in-situ</i> con termómetro	2
pH	<i>in-situ</i> con potenciómetro	1
Oxígeno disuelto	<i>in-situ</i> con oxímetro	1
Conductividad eléctrica	en laboratorio con conductímetro	1
Sólidos disueltos	en laboratorio, sólidos totales disueltos secados a 180° C	
Sólidos suspendidos	en laboratorio, sólidos suspendidos totales secados a 103-105 °C y filtrados con filtro de 0,45 µm.	1
Turbidez	en laboratorio con turbidímetro (método nefelométrico)	1
Nitrógeno Amoniacal	en laboratorio, método selectivo con electrodo	3

FUENTE: elaboración propia en base a los datos proporcionados por CERPER

Tabla 5: Indicadores de calidad de sedimento y método de análisis

Indicador	Límite de detección (mg/kg de masa seca)	Metodología de análisis	
		Pre-tratamiento	Análisis
Arsénico	0,029	EPA 3050B	EPA SW 846 método 7062
Cadmio	0,6	EPA 3050B	EPA SW 846 método 7130
Cromo	1,3	EPA 3050B	EPA SW 846 método 7196 A
Mercurio	0,001	EPA 3050B	EPA 245.5
Plomo	1,1	EPA 3050B	EPA SW 846 método 7420

FUENTE: elaboración propia en base a los datos proporcionados por ECOLAB

Tabla 6: Metodología detallada de los indicadores de calidad de sedimento

Ensayo	Tipo	Título
EPA 3050B	Preparación de muestra	Digestión ácida de sedimentos, lodos y suelo (Reactivos HNO ₃ y H ₂ O ₂)
EPA SW 846 método 7062	Método de análisis	Determinación de antimonio y arsénico por absorción atómica con reducción de borohidruro
EPA SW 846 método 7130	Método de análisis	Determinación de cadmio por absorción atómica de aspiración directa
EPA SW 846 método 7196 A	Método de análisis	Determinación de cromo hexavalente por método colorimétrico
EPA 245.5	Método de análisis	Determinación de mercurio por absorción atómica con arrastre de vapor frío
EPA SW 846 método 7420	Método de análisis	Determinación de plomo por absorción atómica de aspiración directa

FUENTE: elaboración propia en base a datos proporcionados por ECOLAB

4.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

En el presente estudio se hicieron dos tipos de análisis para determinar el impacto de las actividades minera, agropecuaria y de conservación en la calidad de agua y sedimentos. Un primer análisis comparó todos los indicadores medidos tanto en agua como en sedimento con los estándares de calidad ambiental aplicables a estos dos cuerpos. Por otro lado, en un segundo análisis se usó la estadística inferencial para determinar si hay diferencia significativa entre los indicadores de calidad de agua y sedimentos de los usos evaluados.

Los indicadores medidos en el agua (pH, oxígeno disuelto, temperatura, turbidez, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, nitrógeno amoniacal y conductividad eléctrica) fueron

comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (MINAM 2008), escogiéndose la Categoría 1 “Poblacional y recreacional”, clase A1 “Aguas que pueden ser Potabilizadas con Desinfección”. Esto porque los valores de esta categoría se asemejan a los límites máximos permisibles establecidos por la DIGESA (2011). Además, porque en la zona de estudio no hay plantas de tratamiento de agua por lo que si esta se quisiera consumir, solo se podrían emplear técnicas sencillas para su desinfección como el clorado.

Por otro lado, los metales pesados evaluados en sedimento (arsénico, cadmio, cromo, mercurio y plomo) fueron comparados con los estándares de las “Directrices de Calidad Ambiental Canadiense” (EQG), que son específicos para sedimento. Estos fueron escogidos porque en la legislación nacional vigente no se cuenta con estándares de calidad ambiental para contaminantes en sedimento. Asimismo, estos valores han sido usados por instituciones como INRENA, PRODUCE, y el MINAM en sus estudios.

En el Tabla 7, se presentan el valor de los estándares de calidad de agua y sedimento, que se han usado en la presente investigación.

Tabla 7: Valor de estándares de calidad de agua y sedimento

<i>Indicador y unidad de medida</i>	<i>Valor de estándar</i>	<i>Fuente</i>
Temperatura (°C)	No aplica	MIMAM (2008)
pH	6,5 a 8,5	MIMAM (2008)
Oxígeno disuelto (mg/l)	≥6	MIMAM (2008)
Conductividad eléctrica (uS/cm)	1 500	MIMAM (2008)
Sólidos disueltos (mg/l)	1 000	MIMAM (2008)
Sólidos suspensión (mg/l)	≤25-400	MIMAM (2008)
Turbidez (NTU)	5	MIMAM (2008)
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	1,5	MIMAM (2008)
Arsénico (mg/kg de masa seca)	5,9	Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)
Cadmio (mg/kg de masa seca)	0,6	Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)
Cromo (mg/kg de masa seca)	37,3	Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)
mercurio (mg/kg de masa seca)	0,17	Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)
plomo (mg/kg de masa seca)	35	Canadian Council of Ministers of the Environment (1999)

La comparación con los estándares de calidad de agua y sedimentos se hizo tanto de manera individualizada (usando los datos puntuales obtenidos en cada uno de los puntos de muestreo); como utilizando un valor promedio para cada actividad, es decir un promedio para la actividad minera (M1, M2 y M3), agropecuaria (A1, A2 y A3) y de conservación (P1, P2 y P3). Se consideró como más contaminante y de mayor impacto en la calidad de agua y sedimentos, a la actividad que presentará un mayor número de indicadores que no cumplen con los estándares.

En un segundo análisis se usó la estadística no paramétrica, específicamente la prueba de Kruskal-Wallis, para saber si hay diferencia significativa entre la calidad del agua y sedimentos de las actividades minera, agropecuaria y de conservación, usándose un nivel de significancia $\alpha=0,05$. Los tres tratamientos empleados correspondieron a las tres actividades analizadas, la actividad minera, agropecuaria y de conservación. Se planteó como hipótesis nula (H_0) que no hay diferencia significativa entre los tres tratamientos, mientras que la hipótesis alterna (H_1) fue que si hay diferencia significativa. Cabe señalar, que la prueba de Kruskal-Wallis fue utilizada porque los datos obtenidos no cumplen con la homogeneidad de varianzas, condición indispensable para la aplicación de pruebas paramétricas.

4.8. CORRELACIÓN ENTRE INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO

Además de textos especializados, diversos autores como EPA (1976), Gómez (1998), Poch (1999) y Araujo (2013) mencionan relaciones entre las variables de calidad de agua y sedimento. Por ejemplo se señala sobre la relación inversa entre la temperatura y el oxígeno disuelto, entre la turbidez y el oxígeno disuelto o por el contrario una relación directa entre el pH ácido y mayores concentraciones y/o disponibilidad de metales pesados. Es por ello, que mediante un análisis de correlación de Pearson se determinó si hay relación entre estas variables. Para ello, se comparó un determinado indicador ya sea de agua o sedimento contra los demás indicadores evaluados. En caso de los indicadores que presentaran un nivel de correlación de Pearson significativa (menor o igual a 0,05) se hizo un análisis de regresión lineal, para corroborar la correlación y describir el comportamiento de un indicador con respecto de otro. La correlación se comprobaba si el r cuadrado es mayor o igual a 0,6.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Tabla 8: Características generales de los puntos de muestreo

<i>Punto</i>	<i>Ubicación</i>			<i>Altura m.s.n.m</i>	<i>Tipo de bosque</i>	<i>Suelo</i>	
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Lugar</i>			<i>Textura</i>	<i>Color</i>
M1	444363	8570298	Confluencia Tambopata con Malinosky	188	b.s.o y bosque primario	Arcilla	marrón rojizo
M2	426477	8571559	Río Malinosky puerto de APAYLOM	207	b.s.o	Arena	Marrón
M3	400722	8559072	Río Malinoskillo en el C.P Puerto Azul	211	b.s.o y áreas sin bosque	Arcilla	Marrón
A1	451886	8581515	Río Tambopata en el C.P Baltimori	182	b.s.o y plantación frutal	arcillo-arenoso	marrón rojizo
A2	475464	8595946	Quebrada Chonta	184	b.s.o y plantación frutal	Arcilla	marrón oscuro
A3	467435	8580920	Confluencia río Tambopata con río La Torre	175	b.s.o y parcelas agrícolas	Arcilla	marrón oscuro
P1	441029	8558407	Río Tambopata	273	b.s.o y bosque primario	Arcilla	marrón oscuro
P2	431676	8539261	Río Tambopata sector collpa Colorado	354	b.s.o y bosque primario	Arcilla	marrón oscuro
P3	432376	8521066	Río Távara	361	Bosque primario	Arena	marrón claro

C.P = centro poblado

b.s.o = bosque sucesional de orilla

Tabla 9: Características de la actividad desarrollada en los puntos de muestreo

Punto	Actividad			
	Tipo	Escala	Extensión afectada	Observaciones
M1	Minería	Artesanal		No hay actividad minera en operación. A aprox. 100 m. aguas abajo se observó explotación por el método de carretilla y un pequeño campamento minero.
M2	Minería	Artesanal	1 hectáreas	No hay actividad minera en operación. A aprox. 100 m. se observó una pequeña draga varada. A unos 800 m. se pudo apreciar otra pequeña draga trabajando.
M3	Minería	Artesanal y pequeña escala	5 hectáreas	Se está desarrollando minería y hay un campamento con 20 personas aprox. En la playa e islas hay montículos de tierra y cascajos, que dejan las maquinarias mineras después de operar.
A1	Agrícola	Pequeña escala	5 hectáreas	En la zona hay 2 pequeños fundos donde se siembra plátano, palta y cítricos, así como árboles maderables y no maderables.
A2	Agrícola	Pequeña escala	2 hectáreas	Hay parcelas menores a 1 hectárea con árboles frutales. Aprox. a 1 km hay un pequeño fundo ganadero.
A3	Agrícola	Pequeña escala	3 hectáreas	Hay varias parcelas agrícolas menores a 5 hectáreas con árboles frutales y de otros cultivos. También, se crían animales como gallinas y patos.
P1	Conservación			No se observa actividad agrícola ni minera.
P2	Conservación			Varios kilómetros aguas abajo se aprecia un albergue ecoturístico.
P3	Conservación			El punto muestreado se encuentra fuera del área turística, no se observan otras actividades.

En resumen, en los puntos evaluados no hay diferencia resaltante en el tipo de suelo (textura, color) y el tipo de bosque. Sin embargo, se aprecian un cambio en el tipo de bosque en área del río Távara por estar a una mayor altitud. Además, de mayor deforestación y erosión en el punto con actividad minera, Puerto Azul.

Asimismo, se observa que en las áreas adyacentes a los puntos de muestreo de la asociación APAYLOM (en el río Malinosky), C.P Puerto Azul, C.P Baltimori, Quebrada Chonta y el río La Torre hay degradación o deforestación localizada en extensiones menores a cinco hectáreas a consecuencia de la actividad minera y agropecuaria. Por otro lado, en área de conservación la cobertura boscosa estaba bien preservada.

En la confluencia del río Tambopata con el río Malinosky se observa actividad minera artesanal (método de la caretilla) operando fuera del área del punto de muestreo, a

aproximadamente unos 100 metros. En la asociación minera APAYLOM no se observó actividad minera artesanal en el mismo punto de muestreo, pero si se aprecian dos pequeñas dragas a unos 100 y 800 metros respectivamente. En ambos casos, no se aprecian fuertes daños ambientales. Por otro lado, en el C.P Puerto Azul se observó actividad minera de tipo semi-mecanizada en operación, por lo que se evidencio erosión y deforestación en la orilla y pequeñas islas.



Figura 13: Daños ambientales en el CP Puerto Azul

La actividad agropecuaria encontrada es de pequeña escala (extensiones menores a las 5 hectáreas) y los principales cultivos son el plátano, los cítricos, la papaya y en menor medida otros cultivos como la yuca y el frejol.



Figura 14: Plantación de plátano cerca al río La Torre

2. RESULTADOS DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO Y COMPARACIÓN CON LOS ESTÁNDARES

Tabla 10: Valores de indicadores de calidad de agua en los puntos de muestreo

Punto	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (ppm)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos disueltos (mg/l)	Sólidos susp. (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrógeno amoniacal (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
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
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	26	7,02	8,65	44,2	28,9	131,5	417,3	0,242
Estándar	N.A	6,5-8,5	≥6	1500	1000	400	5	1,5

Tabla 11: Valores promedio por actividad de indicadores de calidad de agua

Actividad	Temperatura (°C)	pH	Oxígeno disuelto (ppm)	Conductividad (uS/cm)	Sólidos disueltos (mg/l)	Sólidos susp. (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitrógeno amoniacal (mg/l)
Minería	27,4	6,16	8,74	26,2	17,7	147,4	523,2	0,129
Agropecuaria	25,8	6,83	8,63	34,17	22,3	110,3	540,4	0,289
Conservación	24,9	7,21	8,64	72,23	46,8	103,1	188,5	0,309
Promedio	26	7,02	8,65	44,2	28,9	151,5	417,3	0,242
Estándar	N.A	6,5-8,5	≥6	1500	1000	400	5	1,5

Cumple con el estándar	
No cumplen con el estándar	

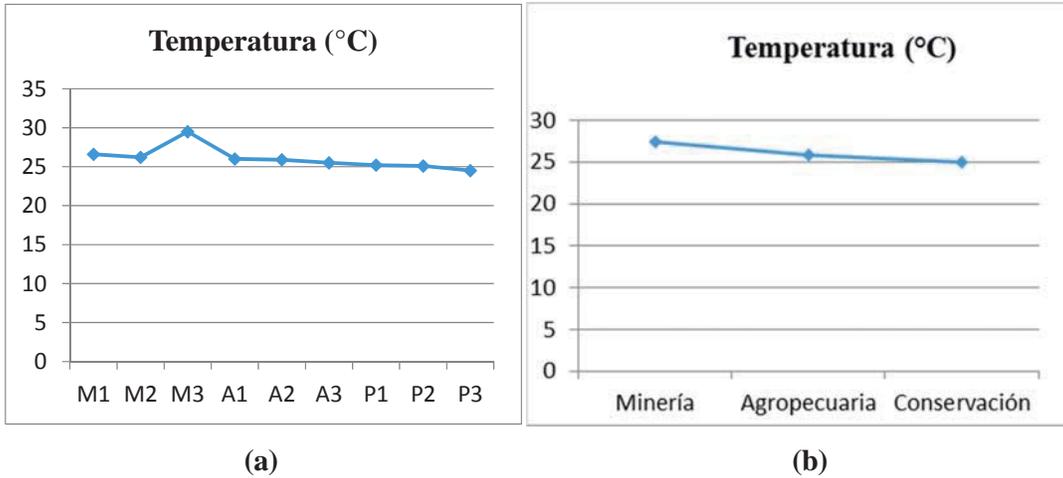


Figura 15: Valores de temperatura

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

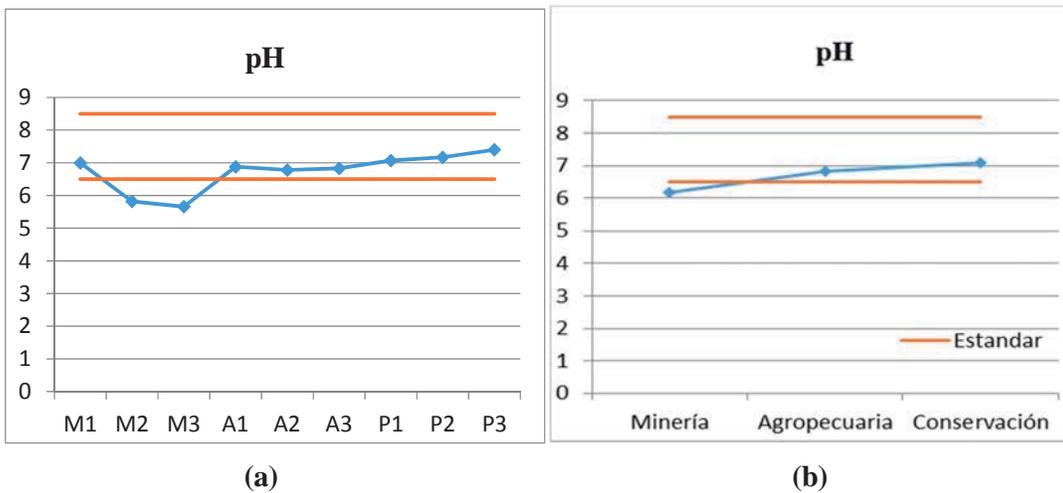


Figura 16: Valores de pH

Dónde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

En base a la Figura 15, se observa que la temperatura del agua es relativamente mayor en los puntos evaluados en la zona minera, sobre todo en el centro poblado Puerto Azul. Esto se debe a que los rayos solares penetran de manera más directa en el agua gracias a la deforestación de la vegetación ribereña, aunque también puede haber una influencia por parte de la hora de evaluación. En general, si bien no hay un estándar para determinar si el agua presenta contaminación desde el punto de vista de la temperatura, este indicador es muy importante ya

que como lo señala Poch (1999) y CEPIS (2004) afecta muchas de las reacciones químicas y biológicas que se desarrollan en el agua. Valores elevados de este parámetro pueden afectar la disponibilidad de oxígeno disuelto para los organismos acuáticos (Poch, 1999 y Araujo, 2010).

En tanto al pH, se observa que no cumple con el estándar de calidad de agua en la zona minera. Esto se evidencia en los puntos de muestreo ubicados en el río Malinosky: en las inmediaciones del puerto de la asociación minera APAYLOM (punto M2) y en el centro poblado Puerto Azul (M3).

El pH es un indicador de la salud del ecosistema y valores que no cumplen con el estándar o se alejan de la neutralidad (pH cercano a 7) indican contaminación antrópica. En este caso la contaminación registrada es de origen minero, ya que en esta zona hay puntos de muestreo que no cumplen con el estándar. El origen de este pH bajo se puede deber al potencial de acidificación de la actividad minera, ya sea por contaminación debido al uso de insumos químicos que luego terminan en la corriente de agua acidificándola, o por la mayor erosión que genera mayor entrada de sólidos y sedimentos potencialmente contaminantes. Actividades como la agropecuaria y la de conservación, que en la zona de estudio no usan o usan de manera muy limitada insumos químicos no generan pH ácidos. Por su parte, autores como Ritcher (2013), señalan que la actividad minera genera aguas con pH ácido, como se encontró en el presente estudio.

El pH ácido es negativo porque daña la calidad del agua para consumo humano y afecta a las comunidades de peces, ya que estos necesitan un rango de pH óptimo para sobrevivir. Por otro lado, valores bajos de pH facilitan la disolución de metales pesados y son catalizadores de reacciones como las de metilación que los hacen más tóxicos.

Por el contrario, estudios de calidad de agua como los de Barbieri (2004) y Araujo (2013), señalan valores neutros de pH en la subcuenca del río Malinosky, lo que difiere de lo encontrado en el presente estudio. Esto se puede explicar por el aumento de la actividad minera desde el año 2005 hasta el año 2013 y por la ubicación de los puntos de muestreo, ya que puede haber una mayor intensidad de la actividad minera en los puntos de muestreo del presente estudio, lo que genera también una mayor contaminación y con ello una disminución del pH.

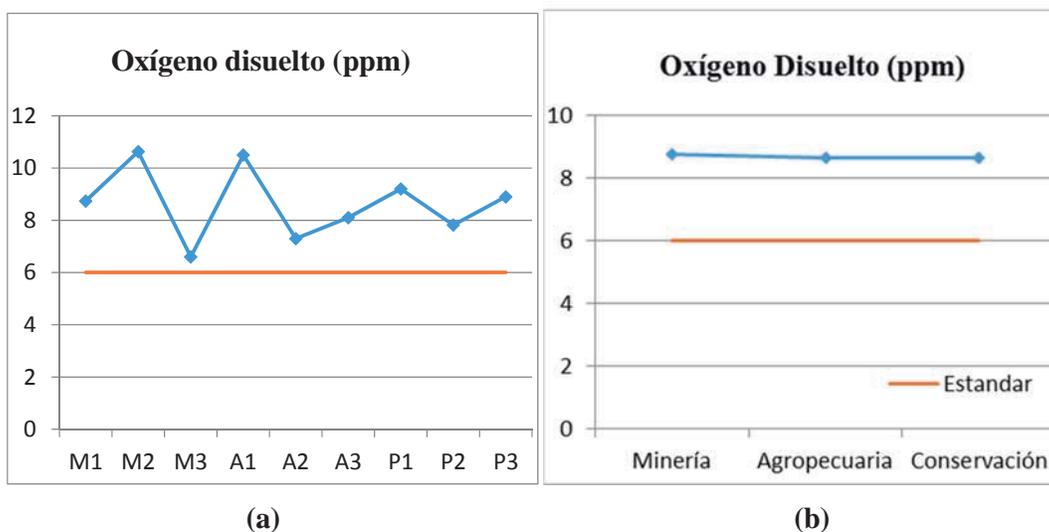


Figura 17: Valores de oxígeno disuelto

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

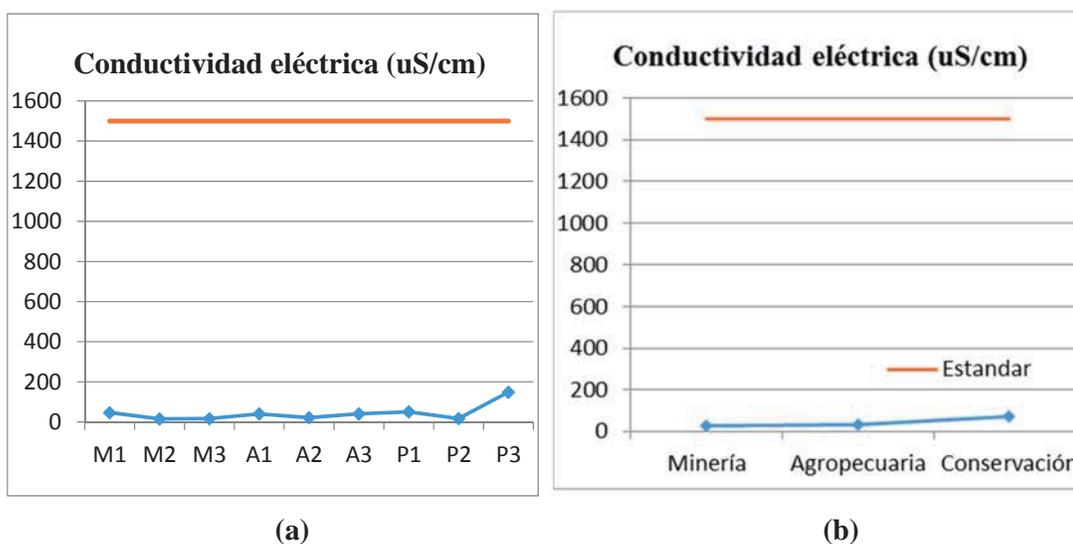


Figura 18: Valores de conductividad eléctrica

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

El oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica cumplen con el estándar de calidad de agua. Sin embargo, el C.P Puerto Azul presenta el menor contenido de oxígeno disuelto, lo que sumando al menor pH registrado, puede estar indicando contaminación. Además, en el río Távara, se presenta el mayor valor de conductividad eléctrica; posiblemente generado porque este punto de muestreo se encontraba a una mayor altitud, lo que puede influir en la geología

del suelo. Por otro lado, el promedio de oxígeno disuelto es un tanto mayor (de 1 a 2 ppm) al encontrado en la bibliografía, lo cual se puede deber a una mayor correntada en el río, que es característico de la época de evaluación; mientras que el promedio de conductividad eléctrica es similar al encontrado en estudios como los de Araujo (2010 y 2013) y el ANA (2010b).

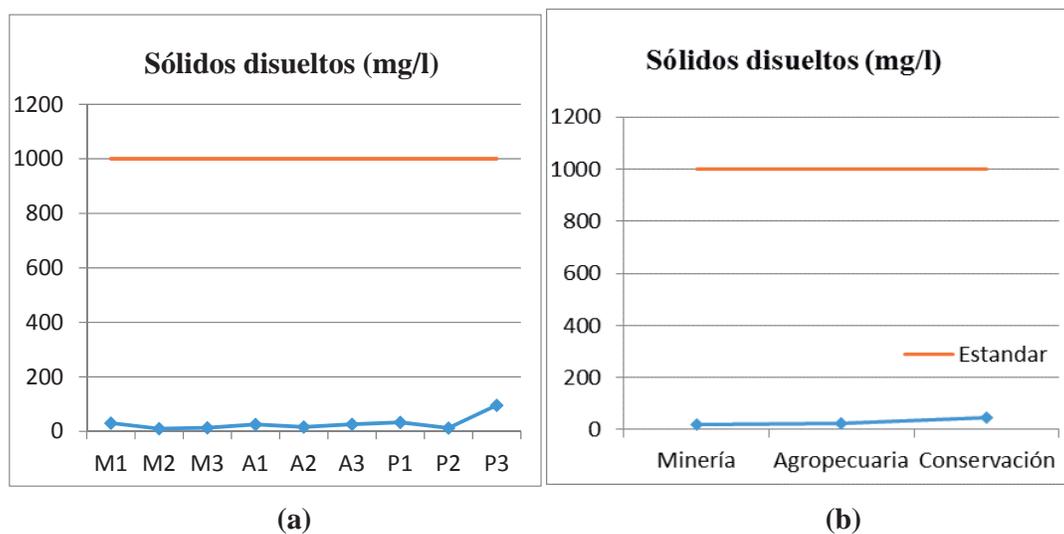


Figura 19: Valores de sólidos disueltos

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

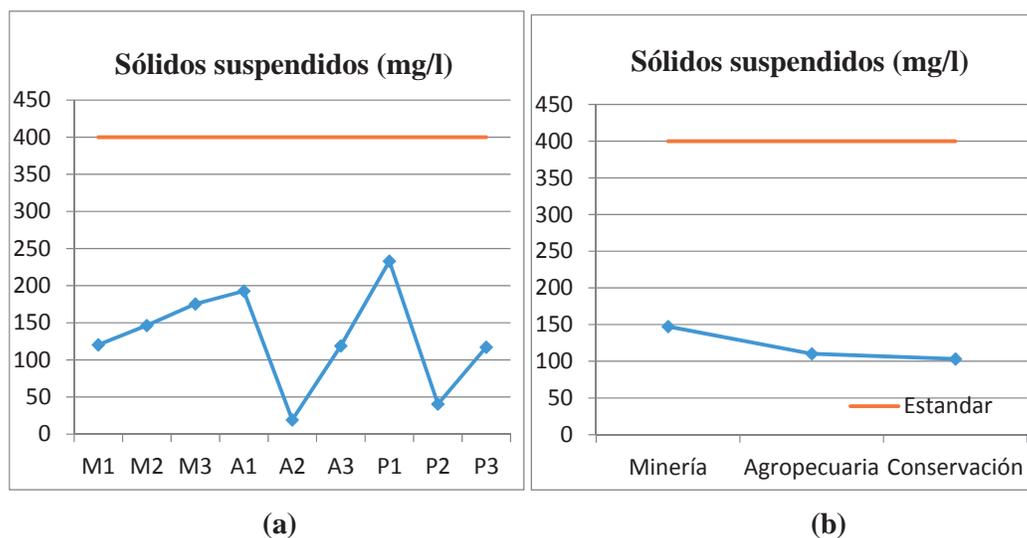


Figura 20: Valores de sólidos suspendidos

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

Se observa que los sólidos disueltos y sólidos suspendidos cumplen con los estándares de calidad de agua; evidenciándose un mayor valor de sólidos disueltos en el punto P3, el cual está influenciado por las mismas características que la conductividad.

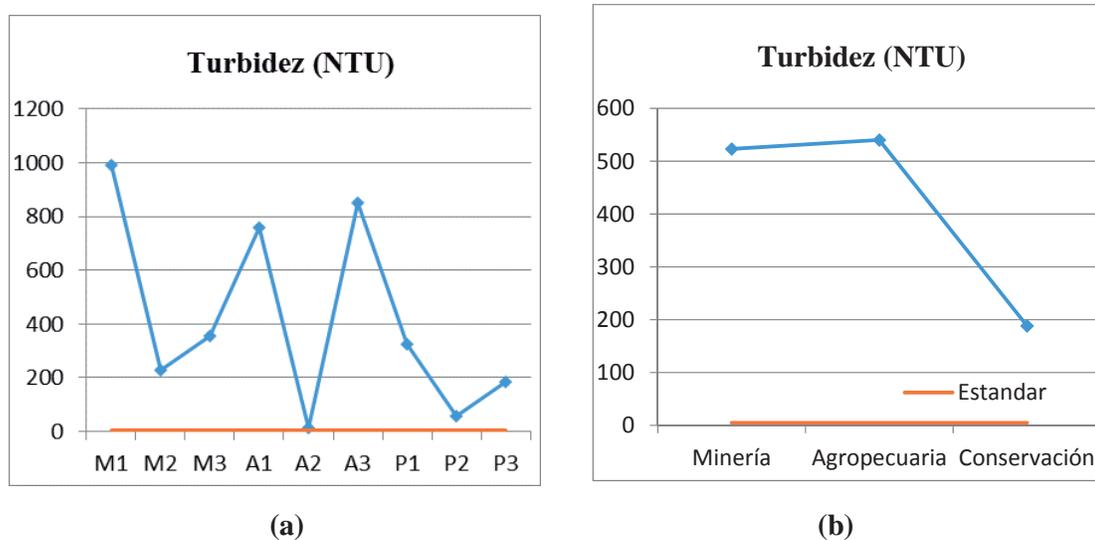


Figura 21: Valores de turbidez

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

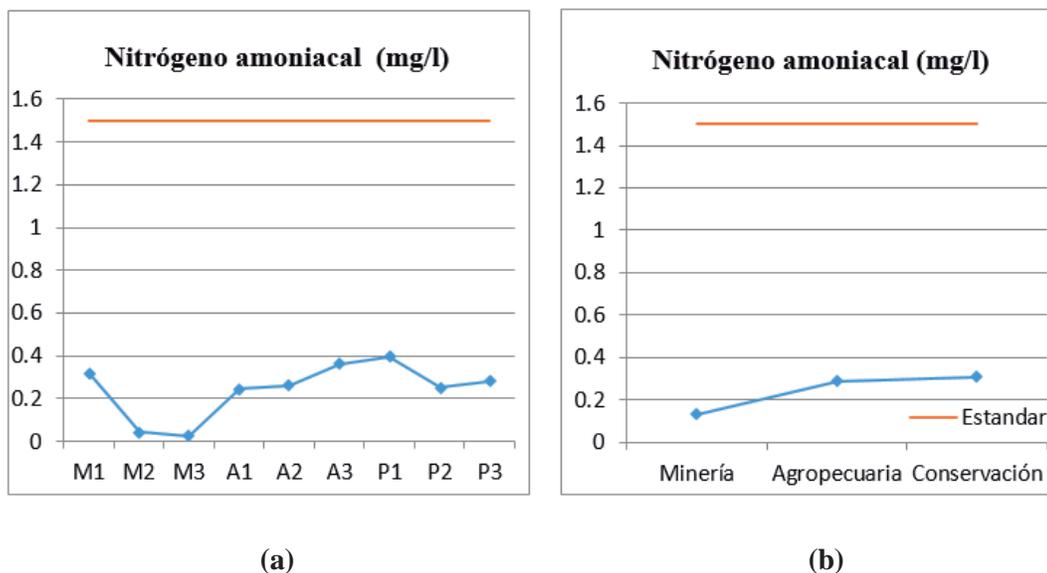


Figura 22: Valores de nitrógeno amoniacal

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

Analizando las Figuras 23 y 24 se aprecia que la turbidez no cumple con el estándar de calidad de agua, mientras que el nitrógeno amoniacal si cumple con el estándar de calidad de agua en todos los usos y puntos evaluados.

La elevada turbidez, que se encuentra muy por encima del ECA en todos los puntos evaluados, induce a pensar que esta es alta en toda la cuenca baja del río Tambopata. Dicha característica es mencionada por Quispe (2013), mientras que el ANA (2010a) menciona un considerable arrastre de sedimento de las partes altas de la cuenca a las partes bajas, lo que influye en la turbidez de toda la cuenca baja. De igual forma, la turbidez elevada es característica de la época de evaluación, ya que en época de creciente el aumento de la precipitación, genera mayor escorrentía superficial y mayor erosión, y con ello una mayor entrada de sólidos y sedimentos en los cuerpos de agua.

Asimismo, se aprecia que las actividades minera y agropecuaria tienen un mayor promedio de turbidez, el cual supera en más de 300 NTU, al promedio de la actividad de conservación. Además, la conservación presenta un promedio de turbidez menor al promedio general registrado. Esto se debe a que las actividades minera y agropecuaria generan remoción de sólidos (suelos) y sedimentos que luego terminan en la corriente de agua aumentando la turbidez; o bien por la generación de riberas inestables que son más susceptibles a la erosión hídrica. Esta mayor turbidez, también se aprecia de manera visual, ya que hay una diferencia significativa en el color del agua del río Tambopata antes y después de la confluencia con el río Malinosky, presentando este último una coloración mucho más oscura y turbia, como también lo señalan el ANA (2010a) y el DIRESA (2013) en sus estudios.

Araujo (2013), Mosquera *et al* (2009), Adler (2013) y Ruiz (1986) señalan que aumenta la turbidez, al aumentar la intervención humana en actividades como la agrícola o minera, lo que coincide con los resultados de la presente investigación.

Por otro lado, la mayor turbidez en la zona agropecuaria y minera también se debe a que estos puntos de muestreo se encuentran a una menor altitud o aguas debajo de los puntos de conservación, lo que hace que se acumulen más sedimentos. Sin embargo, se cree que el desarrollo de actividades que generan deforestación, erosión o remoción de sedimentos son la principal causa de la turbidez elevada.

En general esta turbidez elevada afecta las características estéticas del agua y le confiere un sabor desagradable, así como puede contener microorganismos perjudiciales para la salud o bien proteger estos de los tratamientos de desinfección. Es por ello, que si se quiere mejorar la calidad de agua se debe pensar en técnicas para eliminar la turbidez, sobre todo si que el agua se quiere consumir.

Tabla 12: Valores de metales pesados en sedimento en los puntos de muestreo

Punto	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
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
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	7,26	-	8,9	0,080	12,3
Estándar	5,9	0,6	37,3	0,17	35

ND = no determinado

MS = Masa seca

Tabla 13: Valores promedio por actividad de metales pesados en sedimento

Actividad	Arsénico (mg/kg MS)	Cadmio (mg/kg MS)	Cromo (mg/kg MS)	Mercurio (mg/kg MS)	Plomo (mg/kg MS)
Minería	9,89	ND	9	0,14	15,5
Agropecuaria	7,64	ND	7,7	0,007	12,8
Conservación	4,24	ND	9,9	0,017	8,5
Promedio	7,26	-	8,9	0,080	12,3
Estándar	5,9	0,6	37,3	0,17	35

Cumple con el estándar	
No cumplen con el estándar	

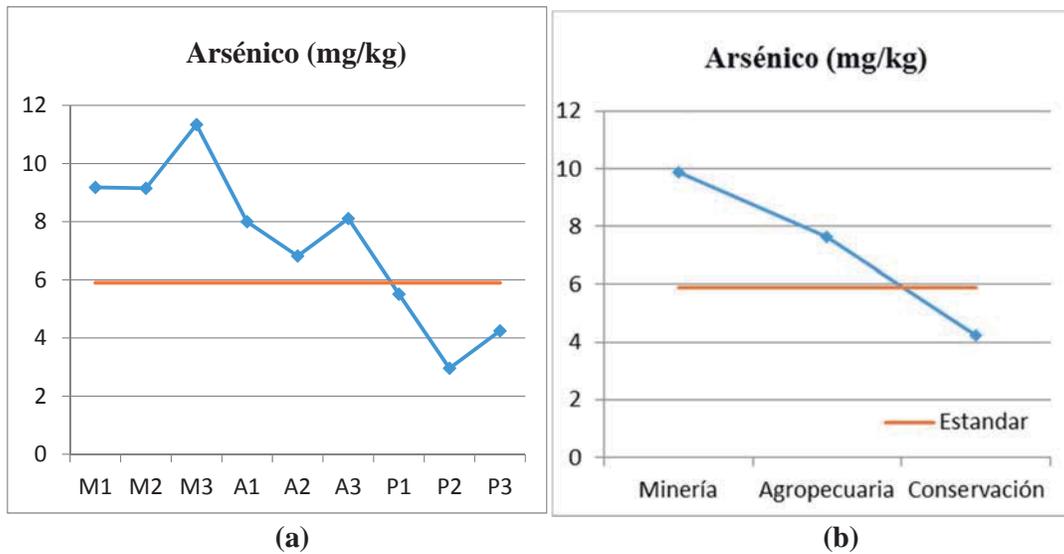


Figura 23: Valores de arsénico

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

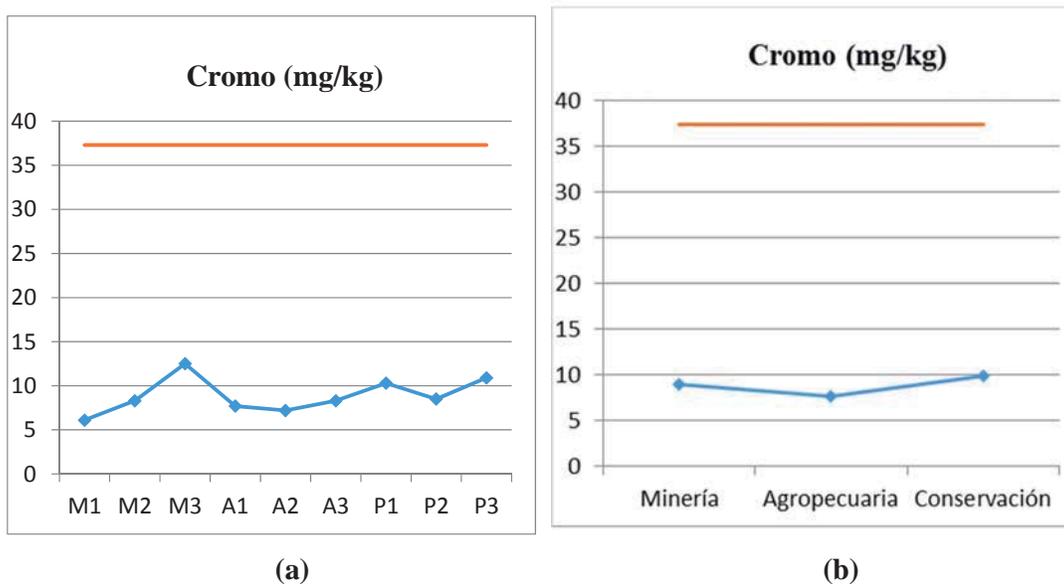


Figura 24: Valores de cromo

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

Tanto el cadmio como el cromo cumplen con el estándar de calidad de sedimento. Por otro lado, el arsénico se encuentra elevado y está por encima del estándar en las zonas con actividad minera y agropecuaria y en el promedio general de la zona de estudio.

El elevado contenido de arsénico se puede deber a que este se encuentra de manera natural en los suelos amazónicos, ya que estudios como los del IIAP y MINAM (2011) señalan que estos suelos contienen de manera natural metales pesados. De igual forma, Salvarredy (2008) señala que el arsénico está asociado a oxihidróxidos de hierro y en la zona de estudio según investigaciones anteriores (Araujo 2013, Quispe 2013) hay elevados contenidos de hierro en el agua y los suelos, lo que puede estar condicionando una mayor presencia de este mineral. A su vez, su concentración se puede incrementar al producirse deforestación y con ello posterior erosión y lixiviación del arsénico que puede estar contenido en el suelo, ya que el contenido de este elemento es menor en las zonas de conservación, donde la cobertura boscosa está bien preservada. También, esta característica se puede deber a que este metal pesado se encuentra en mayor proporción en zonas mineras como lo señala Salvarredy (2008). Además, teniendo en cuenta que el promedio de arsénico en la zona minera es mayor al encontrado en los otros usos de suelo.

En el caso del arsénico se encuentra similitud con los resultados encontrado por Araujo (2013), que señalan elevados contenidos de metal pesado en agua, lo que puede indicar que también hay un alto contenido de éste en los sedimentos. Dicha característica compromete de manera negativa la calidad de sedimentos del ecosistema, ya que el arsénico es un elemento muy tóxico tanto para el hombre como para la fauna.

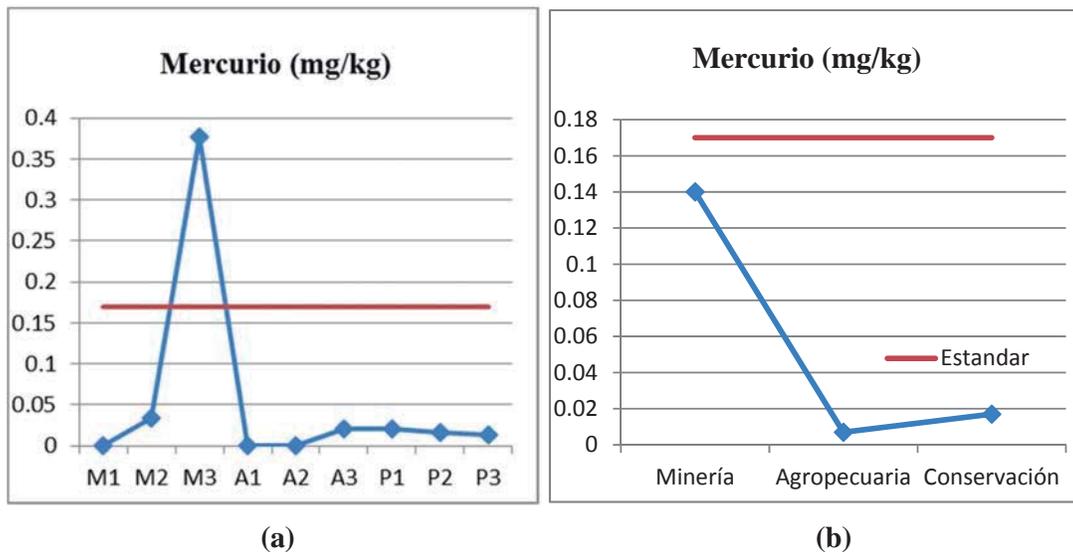


Figura 25: Valores de mercurio

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

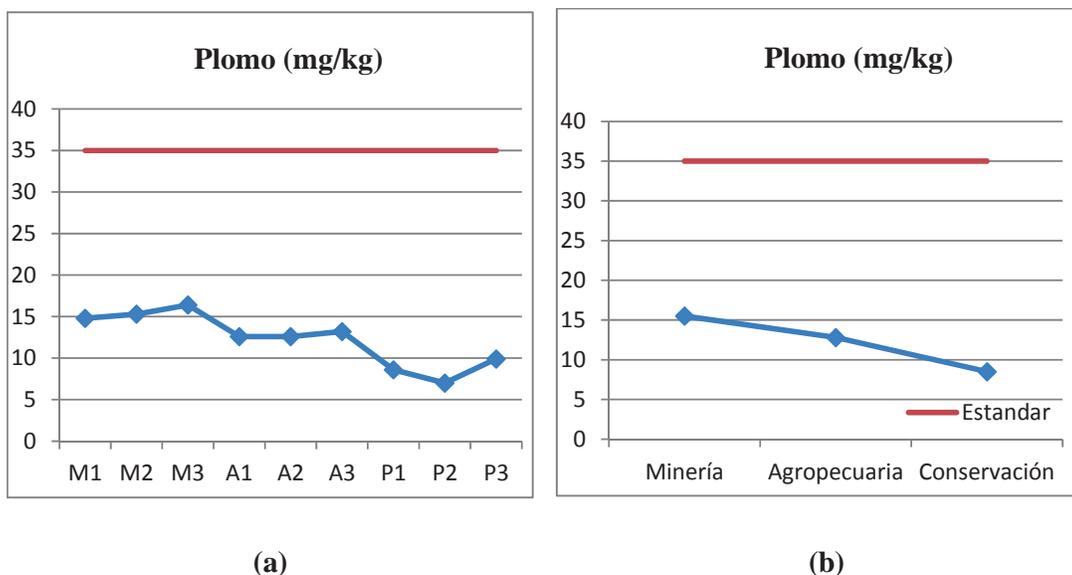


Figura 26: Valores de plomo

En donde (a) en cada uno de los puntos muestreados y (b) promedio por actividad.

En base a las Figuras 27 y 28, se aprecia que el mercurio y plomo cumplen con el estándar de calidad de sedimento.1

Por otro lado, también se observa que el promedio de mercurio es mayor en la zona minera y se encuentra próximo al valor del estándar, característica que no se observa en las otras actividades evaluadas. Esto se debe a la alta concentración de mercurio encontrada en el centro poblado Puerto Azul (M3), donde la actividad minera se encontraba en operación y en donde se apreciaron los mayores daños ambientales. Es por ello, que se cree que en las zonas donde hay daños en el suelo, la actividad minera está en operación y están más próximas a zonas donde la actividad minera se desarrolla con mayor intensidad, como la cabecera del río Malinosky, va a ver un mayor contenido de mercurio en los sedimentos.

No se encontró un incremento de la contaminación por mercurio en áreas aguas abajo de las zonas con mayor intensidad minera como lo señalan las investigaciones de Bourgoïn (2001) y Barbieri (2004). Esto se puede deber a que en la asociación APAYLOM (M2) algunos mineros están practicando una minería responsable ambientalmente y a que el punto M1 se encuentra en el río Tambopata, donde la actividad minera es de mucha menor intensidad y debido al mayor caudal aportado por dicho río se tiene un mayor efecto solvente. Sin embargo, con un mayor número de muestras en la zona minera se podría determinar mejor el comportamiento del transporte del mercurio, pero los presentes resultados parecen indicar que

su expansión no es tan elevada. Por otra parte, si hay coincidencia con investigaciones como las del ANA (2010b) y Diringer (2015), donde los mayores contenidos de mercurio son apreciados en zonas donde hay una mayor intensidad de la actividad minera.

En estudios como los de Diringer et al (2015) y Barbieri (2004) se encontraron mayores contenidos de mercurio en sedimentos a los señalados en el presente estudio. Esto se puede deber a la distinta ubicación de los puntos de muestreo, ya que por ejemplo Diringer evalúa muestras en el río Madre de Dios, donde se desarrolla con mayor intensidad la minería.

Respecto al plomo, también se observa que el promedio en la zona de conservación es menor al de la actividad minera y agropecuaria. Esto se puede deber a la menor erosión que se aprecia en esta zona y que evita la entrada de plomo que se puede encontrar en los suelos. Asimismo, 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.

Cabe señalar que el centro poblado Puerto Azul presenta los mayores contenidos de arsénico, cromo, plomo y mercurio, lo cual se puede deber a la mayor intensidad de la actividad minera. De igual forma, en esta zona se presenta un pH bajo y una elevada temperatura del agua lo que pueden generar un aumento de la metilación del mercurio y otros metales pesados, lo que los hace más tóxicos.

En general la calidad de agua y sedimentos de la cuenca baja del río Tambopata es buena a excepción de tres indicadores: la turbidez elevada, que es característica de la época de evaluación, pero que no supone un gran riesgo para la salud del río; al alto contenido de arsénico en la mayor parte de esta cuenca, que si es una característica negativa; y en menor medida al pH que se encuentra solo afectado en la zona con mayor intensidad minera.

Por otro lado, analizando tanto los indicadores de calidad de agua y sedimento se observa que la actividad minera es la que tiene más indicadores que no cumplen con los estándares, seguida de la actividad agropecuaria y por último la de conservación. La actividad minera posee nueve valores de indicadores evaluados en los puntos de muestreo que no cumplen con los estándares de calidad de agua o sedimento, mientras que la actividad agropecuaria posee seis y la de conservación solo tres. En tanto a los resultados promedios por cada actividad, la minería no cumple con tres estándares turbidez, pH y arsénico, la actividad agropecuaria con dos turbidez y arsénico y la actividad de conservación solo con uno la turbidez. Esto demuestra que la

actividad de conservación es la que posee una mejor calidad de agua y sedimentos, lo cual se puede originar por el no uso de productos contaminantes como el mercurio, la protección del suelo por la cobertura boscosa que genera menor erosión y con ello menor turbidez y entrada de contaminantes en los ríos.

3. ANÁLISIS DE KRUSKALL-WALLIS

Tabla 14: Resumen de la prueba de Kruskal-Wallis

<i>Hipótesis nula</i>	<i>Nivel de significancia</i>	<i>Decisión</i>
La distribución de temperatura (C°) es la misma en los tres tratamientos	0,027	Rechazar la hipótesis nula
La distribución de pH es la misma en los tres tratamientos	0,061	Retener la hipótesis nula
La distribución de oxígeno disuelto (pm) es la misma en los tres tratamientos	0,957	Retener la hipótesis nula
La distribución de conductividad (uS/cm) es la misma en los tres tratamientos	0,329	Retener la hipótesis nula
La distribución de sólidos disueltos (mg/l) es la misma en los tres tratamientos	0,491	Retener la hipótesis nula
La distribución de sólidos suspendidos (mg/l) es la misma en los tres tratamientos	0,733	Retener la hipótesis nula
La distribución de turbidez (NTU) es la misma en los tres tratamientos	0,393	Retener la hipótesis nula
La distribución de nitrógeno amoniacal (mg/l) es la misma en los tres tratamientos	0,393	Retener la hipótesis nula
La distribución de arsénico (mg/kg) es la misma en los tres tratamientos	0,027	Rechazar la hipótesis nula
La distribución de cromo (mg/kg) es la misma en los tres tratamientos	0,225	Retener la hipótesis nula
La distribución de mercurio (mg/kg) es la misma en los tres tratamientos	0,381	Retener la hipótesis nula
La distribución de plomo (mg/kg) es la misma en los tres tratamientos	0,027	Rechazar la hipótesis nula

Nota: no se incluye en el análisis al cadmio porque no se encontró este elemento en ninguno de los puntos de muestreo.

No se rechaza la hipótesis nula	
Se rechaza la hipótesis nula	

En base a la Tabla 14, se puede decir que hay una diferencia significativa en los indicadores de temperatura, arsénico y plomo de las actividades minera agropecuaria y de conservación, considerando un nivel de significancia del 5 por ciento. Es decir, hay una diferente calidad de agua en lo que respecta a la temperatura de las tres actividades evaluadas. La zona de conservación es la que mejor calidad de agua presenta, al tener las temperaturas más frescas, seguida de la actividad agropecuaria. Esta característica puede estar influenciada por dos factores la mayor cantidad de sombra que generan los árboles y que limita la entrada de rayos solares al agua; y por la hora de muestreo, ya que la incidencia de rayos solares varía en el día. La temperatura es uno de los factores físicos más importantes, ya que como lo señalan CEPIS (2004) y Poch (1999), esta influye en los diversos procesos biológicos y reacciones químicas que se desarrollan en el agua, como son la precipitación de compuestos, dentro de los que se encuentran los metales pesados, en la absorción de oxígeno, en la sedimentación, en la respiración etc.

De igual forma, hay una diferente calidad de sedimentos en los que respecta a los indicadores de arsénico y plomo de las tres actividades evaluadas. Asimismo, la actividad de conservación es la que presenta la mejor calidad de sedimentos al tener los menores valores de arsénico y plomo; estando además el arsénico por debajo del límite del estándar, lo que le suma una característica positiva a la calidad de sedimentos. Esta mejor calidad de sedimentos se puede deber al papel que desempeñan los bosques en la disminución de la erosión, evitar la entrada de contaminantes al agua y al no uso de insumos químicos. La segunda actividad que presenta una mejor calidad de sedimentos es la agropecuaria y por último la minera.

Por otra parte, todos los demás indicadores de calidad de agua y sedimentos no muestran diferencias significativas entre las actividades minera, agropecuaria y de conservación. Salvo el pH que presenta un nivel medio de diferencia significativa al tener nivel de significancia de 0,061, cercano al valor de 0,05 (límite para determinar una diferencia significativa). En este sentido, las actividades agropecuaria y de conservación poseen una mejor calidad de agua al tener valores de pH cercanos a la neutralidad, mientras que la actividad minera posee la peor calidad de agua al ser el pH bajo y estar por debajo del estándar.

4. CORRELACIÓN ENTRE INDICADORES DE CALIDAD DE AGUA Y SEDIMENTO

4.1. CORRELACIÓN DE PEARSON

Tabla 15: Correlación de Pearson entre los indicadores

Significancia	Temp.	pH	O. dis.	Conduc.	N. amon.	Sol. sus.	Sol. dis.	Turbidez	Pb	Hg	Cr	As
Temp.		0,01	0,28	0,18	0,04	0,97	0,20	0,68	0,02	0,00	0,39	0,01
pH	0,01		0,82	0,10	0,00	0,97	0,11	0,85	0,02	0,07	0,45	0,01
O. dis.	0,28	0,82		0,67	0,91	0,36	0,72	0,53	0,95	0,10	0,41	0,92
Conduc.	0,18	0,10	0,67		0,33	0,82	0,00	0,99	0,41	0,49	0,46	0,26
N. amon.	0,04	0,00	0,91	0,33		0,57	0,34	0,41	0,10	0,10	0,36	0,14
Sol. Sus.	0,97	0,97	0,36	0,82	0,57		0,83	0,66	0,72	0,91	0,30	0,86
Sol. dis.	0,20	0,11	0,72	0,00	0,34	0,83		0,95	0,40	0,52	0,44	0,26
Turbidez	0,68	0,85	0,53	0,99	0,41	0,66	0,95		0,27	0,82	0,32	0,18
Pb	0,02	0,02	0,95	0,41	0,10	0,72	0,40	0,27		0,23	0,87	0,00
Hg	0,00	0,07	0,10	0,49	0,10	0,91	0,52	0,82	0,23		0,09	0,14
Cr	0,39	0,45	0,41	0,46	0,36	0,30	0,44	0,32	0,87	0,09		0,96
As	0,01	0,01	0,92	0,26	0,14	0,86	0,26	0,18	0,00	0,14	0,96	

Nota: no se incluye en el análisis al cadmio porque no se encontró este elemento en ninguno de los puntos de muestreo.

La correlación no es significativa	
La correlación es significativa	

En la Tabla 15 se aprecia que hay variables de calidad de agua y sedimento que están relacionadas unas con otras. Es decir, que el valor de un indicador ya sea de calidad de agua o sedimento ejerce influencia sobre otro. Estas relaciones son 10 y son las siguientes: temperatura y pH, temperatura y nitrógeno amoniacal, temperatura y plomo, temperatura y mercurio, temperatura y arsénico, pH y nitrógeno amoniacal, pH y plomo, pH y arsénico, conductividad y sólidos disueltos, y plomo y arsénico. Sin embargo, para determinar si hay

una relación verdaderamente significativa entre las variables mencionadas y una relación numérica que explique el comportamiento de un indicador con respecto del otro, es que se efectuó un análisis de regresión lineal.

4.2. ANÁLISIS DE REGRESIÓN LINEAL

Tabla 16: Regresión lineal entre pH y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
1	0,801	0,641	0,590	0,381

Variables predictoras: temperatura

Variable dependiente: pH

En base a un R cuadrado de 0,64 se puede decir que hay una correlación significativa entre el pH y la temperatura. Esta relación se puede deber a que la temperatura influye en muchas de las reacciones químicas que a su vez pueden estar influenciando en el pH.

Tabla 17: Coeficientes de ecuación de regresión lineal de pH y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ.</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	15,369	2,443		6,29	0,000
Temperatura	-0,331	0,094	-0,801	-3,54	0,009

La relación entre las variables es inversa, es decir que a mayor temperatura va a ver un menor pH. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente:

$$\text{pH} = -0,331 t + 15,369$$

Donde: t = temperatura (en grados Celsius)

Tabla 18: Regresión lineal entre nitrógeno amoniacal y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
2	0,681	0,464	0,3878	0,101

Variables predictoras: temperatura

Variable dependiente: nitrógeno amoniacal

En base a un R cuadrado de 0,46 se puede afirmar que no hay una correlación significativa entre el nitrógeno amoniacal y la temperatura.

Tabla 19: Regresión lineal entre plomo y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
3	0,747	0,558	0,495	2,255

Variables predictoras: temperatura

Variable dependiente: plomo

En base a un R cuadrado de 0,56 se puede afirmar que no hay una correlación significativa entre el plomo y la temperatura.

Tabla 20: Regresión lineal entre mercurio y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
4	0,890	0,792	0,762	0,059

Variables predictoras: temperatura

Variable dependiente: mercurio

Con un r cuadrado de 0,79 se puede afirmar que hay una correlación significativa entre el mercurio y la temperatura. Esto se puede deber a que la temperatura influye de manera positiva en la disolución del mercurio, favoreciendo su precipitación, en los sedimentos.

Tabla 21: Coeficientes de ecuación de regresión lineal de mercurio y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ.</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	-1,901	0,379		-5,01	0,002
Temperatura	0,075	0,015	0,890	5,16	0,001

La relación entre las variables es directa. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$Hg = 0,075 t - 1,901.$$

Donde: Hg = mercurio (mg/kg) y t = temperatura (grados celcius)

Tabla 22: Regresión lineal entre arsénico y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
5	0,828	0,685	0,640	1,587

Variables predictor: temperatura

Variable dependiente: arsénico

En base a un r cuadrado de 0,69 se puede afirmar que hay correlación significativa entre el arsénico y la temperatura.

Tabla 23: Coeficientes de ecuación de regresión lineal de arsénico y temperatura

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig.</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ.</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	-32,363	10,171		-3,18	0,015
Temperatura	1,521	0,390	0,828	3,90	0,006

La relación entre las variables es directa, es decir que a mayor temperatura va a ver un mayor contenido de arsénico en los sedimentos. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$As = 1,521 t - 32,363$$

Donde: As = arsénico (mg/kg) y t = temperatura (grados celcius)

Tabla 24: Regresión lineal entre nitrógeno amoniacal y pH

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ. de la estimación</i>
6	0,867	0,751	0,716	0,318

Variables predictor: pH

Variable dependiente: nitrógeno amoniacal

Con un r cuadrado de 0,75 se puede afirmar que hay una correlación significativa entre el nitrógeno amoniacal y el pH. Esto se debe a que el valor del pH afecta a la reacción de amonificación.

Tabla 25: Coeficientes de ecuación de regresión lineal de nitrógeno amoniacal y pH

<i>Modelo</i>	<i>Coeficientes no estandarizados</i>		<i>Coeficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig,</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ,</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	-1,025	0,277		-3,71	0,008
pH	0,188	0,041	0,867	4,60	0,002

La relación entre las variables es directa, es decir que a mayor pH va a ver un mayor contenido de nitrógeno amoniacal en el agua. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$N = 0,188 \text{ pH} - 1,025$$

Donde: N = nitrógeno amoniacal (mg/l)

Tabla 26: Regresión lineal entre plomo y pH

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ, de la estimación</i>
7	0,760	0,567	0,517	2,207

VARIABLES predictoras: pH

VARIABLE dependiente: plomo

En base a un R cuadrado de 0,57 se puede afirmar que no hay una correlación significativa entre el plomo y el pH.

Tabla 27: Regresión lineal entre arsénico y pH

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ, de la estimación</i>
8	0,785	0,616	0,562	1,752

VARIABLES predictoras: pH

VARIABLE dependiente: arsénico

Con un r cuadrado de 0,62 se puede afirmar que hay una correlación significativa entre el arsénico y el pH. Esto se debe a que el valor del pH afecta a la movilidad y disponibilidad de ciertos contaminantes como el arsénico.

Tabla 28: Coeficientes de ecuación de regresión lineal entre arsénico y pH

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig,</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ,</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	30,735	7,026		4,38	0,003
pH	-3,486	1,040	-0,785	-3,35	0,012

La relación entre las variables es inversa, es decir que a mayor pH va a ver un menor contenido de arsénico. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$As = - 3,486 \text{ pH} + 30,735$$

Donde: As = arsénico (mg/kg)

Tabla 29: Regresión lineal entre conductividad y sólidos disueltos

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ, de la estimación</i>
9	0,999	0,999	0,999	1,526

Variables predictor: sólidos disueltos

Variable dependiente: conductividad eléctrica

En base a un R cuadrado de 1 se puede decir que hay una correlación altamente significativa entre los sólidos disueltos y la conductividad. Esta relación se debe a que la conductividad mide el contenido de iones o sales disueltas en el agua.

Tabla 30: Coeficientes de ecuación de regresión lineal de conductividad y sólidos disueltos

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig,</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ,</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	-1,606	0,782		-2,05	0,079
Sólidos disueltos	1,583	0,021	0,999	77,18	0,000

La relación entre las variables es directa, es decir que a mayor conductividad eléctrica va a ver un mayor contenido de sólidos disueltos en el agua. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$C = 1,583 d - 1,606$$

Donde: C = conductividad eléctrica (uS/cm) y d = sólidos disueltos (mg/l)

Tabla 31: Regresión lineal entre plomo y arsénico

<i>Modelo</i>	<i>R</i>	<i>R cuadrado</i>	<i>R cuadrado corregida</i>	<i>Error típ, de la estimación</i>
10	0,961	0,923	0,912	0,783

Variables predictor: arsénico

Variable dependiente: plomo

En base a un R cuadrado de 0,92 se puede decir que hay una correlación significativa entre el plomo y el arsénico. Esta relación se puede deber a que ambos contaminantes provienen de una misma fuente.

Tabla 32: Coeficientes de ecuación lineal de plomo y arsénico

<i>Modelo</i>	<i>Coefficientes no estandarizados</i>		<i>Coefficientes tipificados</i>	<i>T</i>	<i>Sig,</i>
	<i>B</i>	<i>Error típ,</i>	<i>Beta</i>		
(Constante)	-2,567	1,101		-2,33	0,052
Plomo	0,801	0,087	0,961	9,19	0,000

La relación entre las variables es directa, es decir que a mayor plomo en los sedimentos va a ver un mayor contenido de arsénico en los sedimentos. La ecuación de regresión queda expresada de la siguiente manera:

$$As = 0,801 Pb - 2,567$$

As = arsénico (mg/kg)

Pb = plomo (mg/kg)

En resumen hay una correlación significativa y directa entre los parámetros de temperatura y mercurio, temperatura y arsénico, pH y nitrógeno amoniacal, conductividad y sólidos disueltos, y plomo y arsénico. Mientras que hay una correlación significativa e inversa entre los parámetros de pH y temperatura, y pH y arsénico. Además, son la temperatura y el pH las variables que ejercen más influencia sobre los otros indicadores de calidad de agua y sedimentos, al influir sobre otros tres y dos indicadores respectivamente.

V. CONCLUSIONES

- 1) 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.
- 2) La turbidez elevada es una característica de toda la zona de estudio. Sin embargo, la actividad de conservación presentó una mejor calidad de agua al tener el menor promedio de turbidez (188,5 NTU) en comparación a las actividades minera y agropecuaria y al promedio general. Asimismo, el arsénico se encuentra mayormente asociado a las actividades minera y agropecuaria.
- 3) De acuerdo a lo esperado, la 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/kg); 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.
- 4) En la subcuenca del río Malinosky, zona minera del área de estudio, 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 valor de arsénico (9,89 mg/kg).
- 5) En el centro poblado Puerto Azul, donde la minería se desarrolla con mayor intensidad y se observan los mayores daños al ambiente, hay una mayor contaminación en la calidad de agua y sedimentos. Esto se demuestra por el bajo valor de pH (5,66), la alta turbidez (353,3 NTU) y temperatura (29,5 °C), y por los elevados contenidos de arsénico (11,34 mg/kg) y mercurio (0,377 mg/kg).
- 6) En la cuenca baja del río Tambopata, 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. En base a dicha diferencia encontrada, la actividad de conservación presentó una mejor calidad de agua y

sedimentos al tener una temperatura más fresca (24,9 °C) y el menor contenido de arsénico (4,24 mg/kg).

- 7) Se demuestran los beneficios que tienen las áreas de conservación sobre la calidad de agua y sedimentos. Esto se puede deber al papel que desempeñan los bosques en la protección de la erosión, al no uso de elementos tóxicos y por la posible retención de contaminantes en los suelos y/o raíces.
- 8) Hay correlación entre algunos indicadores de calidad de agua y sedimento, siendo la temperatura y el pH, los indicadores que más presentan correlación con otros. La temperatura se correlaciona con tres indicadores, el pH, el mercurio y el arsénico; y el pH se correlaciona con dos indicadores el nitrógeno amoniacal y el arsénico.
- 9) En la zona de evaluación hay un alto nivel de correlación entre el pH y la temperatura (t), expresado según la ecuación: $pH = -0,331t + 15,37$. Entre el mercurio y la temperatura, según la ecuación: $Hg = 0,075t - 1,901$. Entre el arsénico y la temperatura, según la ecuación: $As = 1,521t - 32,363$. Entre el nitrógeno amoniacal (N) y el pH, según la ecuación: $N = 0,188pH - 1,025$. Entre el arsénico y el pH, según la ecuación: $As = -3,486pH + 30,783$. Entre la conductividad (c) y los sólidos disueltos (d), según la ecuación: $c = 1,583d - 1,61$. Y entre el arsénico y el plomo, según la ecuación $As = 0,801pb - 2,567$.
- 10) Es importante indicar que en la zona de estudio los daños ocasionados al ecosistema debido a la minería ilegal, son menores a los que se presentan en otras cuencas del departamento, especialmente en las cuencas de los ríos Inambari y Madre de Dios.

VI. RECOMENDACIONES

- Con la finalidad de disminuir la variabilidad en los datos, se recomienda un mayor número de puntos de muestreo por actividad, teniendo siempre en cuenta los factores de seguridad y logística.
- Se recomienda la determinación de metales pesados en su forma orgánica, como por ejemplo el metil-mercurio, ya que presentan una mayor toxicidad y en algunos casos se encontraron valores elevados de estos elementos en su forma no orgánica
- Complementar los estudios de calidad de agua y sedimentos con estándares biológicos de calidad de agua, como puede ser la biodiversidad de bentos, a fin de tener una idea más global de la salud del ecosistema acuático.
- Realizar estudios de calidad y sedimentos en ambas épocas del ciclo hidrológico (vaciante y creciente), con la finalidad de determinar si la contaminación o la calidad de agua y sedimentos presenta cambios en función del régimen hidrológico.
- Con la finalidad de determinar el mayor impacto de la actividad agropecuaria sobre la calidad del agua y los sedimentos, se recomienda tomar muestras en un área donde dicha actividad se desarrolle con mayor intensidad.
- Llevar a cabo tratamientos para la disminución de la fuerte turbidez y el elevado contenido de arsénico que se encuentran en la zona de estudio.
- Generar y/o hacer cumplir estrictas disposiciones legales que restrinjan las operaciones de mayor impacto de la actividad minera, ya que esta es la que más fuertemente afecta la calidad de agua y sedimentos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, R. 2013. Agriculture and water quality: a climate integrated-perspective. Vermont Law Review 37(847):847-908.
- AIDER (Asociación para la Investigación y Desarrollo Integral, PE). 2011. Reducción de la deforestación y degradación en la Reserva Nacional Tambopata y el Parque Nacional Bahuaja Sonene del ámbito de la región Madre de Dios-Perú. Puerto Maldonado, PE. 269 p.
- Alvarez-Berrios, N; Aide, M. 2015. Global demand for gold is another threat for tropical deforestation (en línea). IOP Science 10(1):1-11. Consultado 19 ene. 2015. Disponible en <http://iopscience.iop.org/1748-9326/10/1/014006/>
- Aparicio, M. 2015. El mercurio en la cuenca del río Tambopata: repercusiones para la salud humana y del ecosistema. Tesis Mag. sc. Conservación de Recursos Forestales. Lima, PE, UNALM. 65 p.
- Araujo, J. 2010. Informe hidrobiológico Reserva Nacional Tambopata y Parque Nacional Bahuaja-Sonene época seca-2010. Puerto Maldonado, PE, AIDER. 116 p.
- _____; Lombardi, F; Hilaire, L. 2013. Determinación del impacto de la actividad minera en la calidad de agua y recursos hidrobiológicos de la comunidad nativa de Puerto Arturo y el sector de Manuani. Puerto Maldonado, PE, s.e. 85 p.
- Asner, G; Llactayo, W; Tupayachi, R; Luna, E. 2013. Elevated rates of gold mining in the Amazon revealed through high-resolution monitoring. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America 110(46):18454–18459.
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). 2009. Mapa de unidades hidrográficas del Perú (en línea). Lima. Esc. 1: 5 500. Color. Consultado 12 ene. 2015. Disponible en http://www.ana.gob.pe/media/327888/unidades_hidrograficas.pdf
- _____. 2010a. Estudio diagnóstico hidrológico de la cuenca de Madre de Dios. Lima, PE. 178 p.

- _____. 2010b. Vigilancia de la calidad del agua en los ríos Tambopata, Malinosky e Inambari: informe técnico n° 176-2010-ANA-DGCRH. Lima, PE. 25 p.
- _____. 2011a. Diagnóstico y plan de gestión de recursos hídricos en la cuenca de Madre de Dios-fase I. Puerto Maldonado, PE. v. 1, t. 1, 246 p.
- _____. 2011b. Protocolo nacional de monitoreo de la calidad en cuerpos naturales de agua superficial. Lima, PE. 42 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, PE, UNALM. 105 p.
- Bourgoin, L. 2001. El mercurio en la Amazonía boliviana: síntesis del conocimiento sobre contaminación por mercurio en agua, sedimento y peces del río Beni y sus tributarios. La Paz, BO, Offset. 75 p.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME, CA). 1999. Canadian sediment quality guidelines for protection of aquatic life (en línea). Canadá. 7 p. Consultado 15 feb. 2013. Disponible en https://www.elaw.org/system/files/sediment_summary_table.pdf
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, PE). 2004. Tratamiento de agua para consumo humano: plantas de filtración. Lima, PE. v. 1, t. 1, 283 p.
- Chang, F. 1998. Fishes of the Tambopata-Candamo reserved zone, Southeastern Peru. *Revista de Biología* 5(1):15-36.
- Chow, L; Xing, Z; Benoy, G; Rees, H; Meng, F; Jiang, A; Daigle, J. 2011. Hydrology and water quality across gradients of agricultural intensity in the Little River watershed area, New Brunswick, Canada. *Soil and Water Conservation* 66 (1):71-84.
- Contreras, J; Mendoza, C; Gómez, A. 2004. Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del río Haina. *Revista Ciencia y Sociedad* 29(1):38-71.
- Couseiro, S; Hamada, N; Luz, S; Fosberg, B; Pena, T. 2006. Deforestation and sewage effects on aquatic macroinvertebrates in urban streams in Manaus, Amazonas, Brazil. *Hydrobiologia* 575:271-284.

- Cutipa, L; Araujo, J. 2012. Calidad de aguas urbanas y periurbanas de Puerto Maldonado Madre de Dios-Perú. Puerto Maldonado, PE, s.e. 95 p.
- Dabrowsky, J; Klerk, L. 2013. An assessment of the impact of different land use activities on water quality in the upper Olifants River catchment. *Water SA* 39(2):231-244.
- DGFFS (Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre, PE). 2012. Perú forestal en números, año 2011 (en línea). Lima, PE, MINAG. 128 p. Consultado 25 oct. 2012. Disponible en http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/anuario_peru_forestal_2012.pdf
- DRA (Dirección Regional de Agricultura de Madre de Dios, PE). 2015. Boletín de producción agropecuaria de enero y febrero. Puerto Maldonado, PE, Oficina de Estadística Agraria e Informática. 4 p. (Boletín enero 2015)
- DIGESA (Dirección General de Salud, PE). 2011. Reglamento de agua para consumo humano (en línea). Lima, MINSA. 44 p. Consultado 24 may. 2014. Disponible en http://www.digesa.minsa.gob.pe/publicaciones/descargas/reglamento_calidad_agua.pdf
- DIRESA (Dirección Regional de Salud de Madre de Dios, PE). 2013. Resumen de análisis físico-químicos de aguas superficiales de Madre de Dios. Puerto Maldonado, PE. Sin publicar.
- Diringer, S; Feingold, B; Ortiz, E; Gallis, J; Araujo, J; Berky, A; Pan, W; Hsu, H. 2014. River transport of mercury from artisanal and small-scale gold mining and risks for dietary mercury exposure in Madre de Dios, Peru (en línea). *Environmental Science Processes and Impacts* 17(2):478-487. Consultado 26 ene. 2015. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1039/c4em00567h>.
- Dukes, M.; Evas, R. 2006. Impact of agriculture on water quality in the North Carolina middle coastal plain. *Irrigation and Drainage Engineering* 132(3):250-262.
- Dunne, T; Leopold, L. 1978. *Water in environmental planning*. San Francisco, US, W.H Freeman. 818 p.
- EPA (Environmental Protection Agency, US). 1976. *Forest harvest, residue treatment, reforestation and protection of water quality*. Seattle, US, National Technical Information Service. 273 p.

- _____; USAID (United States Agency for the International Development, NI). 2001. Protección de fuentes de agua: manual de capacitación para comunidades. Managua, Horsley and Witten. 51 p.
- _____. 2007. SW-846 test methods (en línea). 6 ed. Estados Unidos. 15 p. Consultado 25 feb. 2014. disponible en:<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/toc.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization, IT). 2006. La ganadería amenaza el medio ambiente (en línea). Roma, IT. 2 p. Consultado 16 jun. 2013. Disponible en <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2006/1000448/>
- Fiquepron, J; Garcia, S; Stenger, A. 2013. Land use impact on water quality: valuing forest services in terms of the water supply sector. *Environmental Management* 126:113-121.
- Galán, E; Romero, A. 2004. Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía* no.10:48-60.
- Gómez, G. 2012. Evaluación de escenarios alternativos en sistemas social ecológicos afectados por la minería aluvial en Madre de Dios. Tesis Mag. sc. *Ecología Aplicada*. Lima, PE, UNALM. 526 p.
- Gómez, R. 1998. Contaminación urbana de los cuerpos de agua en la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*. 9(2):219-240.
- Gundersen, P; Laurén, A; Finér, L; Ring, E; Koivusalo, H; Laine, J; Sætersdal, M; Weslien, J; Sigurdsson, B; Högbom, L; Hansen, K. 2010. Environmental services provided from riparian forests in the Nordic countries (en línea). *Royal Swedish Academy of Science* 39:555-566. Consultado 3 dic. 2014. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3357678/>
- IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, PE); MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2011. Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio: una bomba de tiempo. Lima, PE, MINAM. 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, NL, Wageningen University. 157 p.

- López, S; Nevels, D; Kading, T. s.f. Análisis de calidad de agua en los ríos Pacayacu y Sacha en la Amazonía ecuatoriana (en línea). s.n.t. 19 p. Consultado 25 set. 2013. Disponible en http://www.clinicambiental.org/docs/estudios_comunitarios/informe_uw_accecol_040412.pdf.
- Leopold, L; Wolman, G; Miller, J. 1964. Fluvial processes in geomorphology. San Francisco, US, W.H Freeman. 522 p.
- Lú, M. 2001. Manual para el manejo de evidencia en casos de contaminación hídrica. Panamá, PA. Roda. 34 p.
- Quispe, C. 2013. Características físico-químicas de los ríos del departamento de Madre de Dios (entrevista). Puerto Maldonado, PE, Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarrillado de Tambopata.
- Mainville, N; Webb, J; Lucotte, M; Davidson, R; Betancourt, O; Cueva, E; Mergler, D. 2005. Decrease of soil fertility and release of mercury following deforestation in the Andean Amazon, Napo River Valley, Ecuador. *Science of the Total Environment* 368(1):88-98.
- Matteo, M; Randhir, T; Bloniarz, D. 2006. Watershed-scale impacts of forest buffers on water and runoff in urbanizing environment. *Water Resources Planning and Management* 132(3):142-152.
- McClain, M; Llerena, C. 1998. El manejo de cuencas en la selva: de los andes a la Amazonía. *Agua y Riego* 11:11-13.
- MINAM (Ministerio del Ambiente, PE). 2010. Estudio línea base ambiental de la cuenca del río Madre de Dios. Lima, PE. 139 p.
- _____. 2008. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. *El Peruano*, Lima, PE, Jul. 31:377222-377227.
- _____. 2005. Ley General del Ambiente: ley 28611 (en línea). Lima, PE. 168 p. consultado 5 jun. 2015. Disponible en <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/06/ley-general-del-ambiente.pdf>.

- MINCETUR (Ministerio de Turismo y Comercio Exterior, PE). 2013. Madre de Dios: llegada de visitantes a la Reserva Nacional Tambopata (en línea). Lima, PE. 8 p. Consultado 9 mar. 2013. Disponible en <http://www.mincetur.gob.pe/newweb/Default.aspx?tabid=3459>
- Mosquera, C; Cháves, M; Pachas, H; Moschella, P. 2009. Estudio diagnóstico de la actividad minera artesanal en Madre de Dios. Lima, PE, FCI. 76 p.
- Neill, C; Deegan L; Thomas, S; Cerri, C. 2001. Deforestation for pastures alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecological Applications* 11:1817-1828.
- Oke, A; Sangodoyin, A; Are, K; Adelana, A. 2013. Spatial variation of dissolved nutrient and heavy metal concentrations in river bed sediments as influenced by land-use patterns in Ogun-Osun River basin, Nigeria (en línea). *Journal of Environmental Protection* 4(11):1203-1212. Consultado 15 set. 2013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.411138>
- OMS (Organización Mundial de la Salud, CH). 2006. Guía para la calidad del agua potable. 3 ed. Ginebra, CH. v. 1, 408 p.
- OSINFOR (Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre). 2013. Evaluación de áreas deforestadas y humedales en los departamentos de Loreto, Ucayali y Madre de Dios al año 2011. Lima, PE. 119 p.
- Peck, T; Rohasliney, H. 2013. Status of water quality subject to sand mining in the Kelantan River, Kelantan. *Tropical Life Sciences Research* 24(1):19-34.
- Poch, M. 1999. Las calidades del agua. Barcelona, ES, Rubes. 159 p.
- PEMD (Proyecto Especial Madre de Dios, PE). 2012. Concesiones mineras en la cuenca del río Inambari y Tambopata. Iberia, PE, Gerencia de Desarrollo Fronterizo y Cooperación Técnica Internacional. 12 p.
- Ritcher, P; Pecharová, E. 2013. Effects of mining activities on river water quality. *Polution Environmental Studies* 22(4):1269-1276.
- Roche, M. 1989. Investigación para la preservación y recuperación para la calidad de agua. La Paz, BO, s.e. 16 p.

- Rojas, R. 2012. Agricultural expansion along productive forests in the Southern Peruvian Amazon. Environmental Economics Ph. D. Thesis. Gainesville, US, University of Florida. 146 p.
- Rondón, X; Cossio, R. 2010. Impactos de la pavimentación de la carretera Inter-Oceánica, Madre de Dios, Perú: resultados del estudio socio-económico de las encuestas a nivel de familia. Gainesville, US, s.e. 23 p.
- Ruiz, R. 1986. Evaluación de las influencias del bosque de protección en la conservación del suelo y agua, Oxapampa-Perú. Tesis Mag. sc. Conservación de Recursos Forestales. Lima, PE, UNALM. 158 p.
- Salvarredy, M; Probst, A; Roulet, M; Isaure, M. 2008. Contamination of surface waters by mining wastes in the Milluni Valley, cordillera Real, Bolivia: mineralogical and hydrological influences. Applied Geochemistry 23(5):1299-1324.
- Salvat, ES. 2004. La enciclopedia. Madrid, ES. v. 1, 800 p.
- Sánchez, E. 1995. Control de la contaminación de las aguas. Sao paulo, BR, UNESCO. v. 1, 281 p.
- SERNANP (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado, PE). 2011. Plan maestro 2011-2016 Reserva Nacional Tambopata. Lima, PE. 137 p.
- Shabalala, A; Combrinck, L; McCrindle, R. 2013. Effect of farming activities on seasonal variation of water quality of Bonsma dam, Kwazulu-Natal (en línea). Sudafrica Journal of Science 109(8):1-7. Consultado 8 nov. 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1590/sajs.2013/20120052>.
- Sociedad Geográfica Lima, PE. 1905. Reseña histórica-geográfica de los ríos Inambari, Tacuatiamanu, Tambopata y Heath. Lima, PE. p. 139-149 (Boletín de la Sociedad Geográfica de Lima, t. 17, año 15)
- Tello S. 2002. Situación actual de la pesca y la acuicultura en Madre de Dios: reporte de viaje. Puerto Maldonado, PE, IIAP. 22 p.
- Xiang, H; Sillanpää, M; Gjessing, E; Peräniemi, S; Vogt, R. 2010. Environmental impact of mining activities on the surface water quality in Tibet: Gyama Valley. Science of the Total Environment 408(19):4177-4188.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1

DATOS DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN BARBIERI

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en la subcuenca del río Malinosky, según Barbieri (2004).

Parámetro/ punto de muestreo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Temperatura (°C)	28,6	27,6	27,6	28	28	27,3	27,6	27	27,3	26
Oxígeno disuelto	7,1	7,3	7,2	6,8	6,6	6,8	7	6,9	7	6,6
Conductividad (µC/cm)	14,4	13,3	13,7	13,8	11,6	16,6	13,5	16,6	16	15,4
Sólidos disueltos (ppm)	5	6,6	6,6	10	8,3	11,6	8,3	8,3	11,6	8,5
pH	7,7	7,8	7,7	6,9	7	7	7,4	7,8	7,2	6,9
Sólidos suspendidos (mg/l)	103	13,3	70,3	159	85	143	992	581	99	304

FUENTE: Barbieri (2004)

Donde:

- A Cabecera del río Malinosky
- B Río Pumacahua
- C Confluencia del río Malinosky con el río Pumacahua
- D Río Malinosky medio
- E Río Malinoskillo
- F Confluencia del río Malinosky con el río Malinoskillo
- G Asentamiento Apaylon
- H Boca del río Malinosky
- I Río Tambopata
- J Confluencia del río Tambopata con el río Malinosky

ANEXO 2

CONTENIDO DE MERCURIO EN LOS SEDIMENTOS SEGÚN BARBIERI

La tabla a continuación presenta el contenido de mercurio en los sedimentos del río Malinosky, según Barbieri (2004).

<i>Puntos de muestreo</i>	<i>Concentración de mercurio (ug/kg)</i>
A	198
B	165
C	225
D	208
E	168
F	208
G	303
H	242
I	230
J	290

FUENTE: Barbieri (2004)

Donde:

- A Cabecera del río Malinosky
- B Río Pumacahua
- C Confluencia del río Malinosky con el río Pumacahua
- D Río Malinosky medio
- E Río Malinoskillo
- F Confluencia del río Malinosky con el río Malinoskillo
- G Asentamiento Apaylon
- H Boca del río Malinosky
- I Río Tambopata
- J Confluencia del río Tambopata con el río Malinosky

ANEXO 3

DATOS DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN ANA

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en la cuenca del río Tambopata, según ANA (2010b).

Parámetro	Río Malinosky (a 100 metros aguas arriba de confluencia con río Tambopata)	Río Tambopata (Río Tambopata 100 m. aguas arriba de confluencia con Malinosky)
pH	7,3	7,5
Conductividad ($\mu\text{C}/\text{cm}$)	38,1	67,7
Oxígeno disuelto (mg/l)	7,6	7,6
Temperatura	30,5	32,3
Arsénico	$\leq 0,004$	$\leq 0,004$
Mercurio	$\leq 0,0001$	$\leq 0,0001$
Plomo	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$
Cromo	0,00027	0,00176

FUENTE: ANA (2010b)

ANEXO 4

DATOS DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN ARAUJO

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en la cuenca del río Tambopata, según Araujo (2010).

Parámetro	Número de muestras	Temperatura (°C)	Conductividad (µc/cm)	pH	Oxígeno disuelto
Távvara	2	26,3	40	7,2	7,5
Azul	1	28,6	6	7,3	7,2
Malinosky	4	31	28,3	7,3	6,5
Alto Tambopata	5	28,9	63,6	7,5	7,5
Medio Tambopata	9	28	57,1	7,1	6,7
La Torre	2	27,6	51	7,1	7,7

FUENTE: Araujo (2010)

ANEXO 5

DATOS DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN CUTIPA Y ARAUJO

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en la quebrada Chonta según Cutipa y Araujo (2012).

<i>Parámetro</i>	<i>Quebrada Chonta</i>	
	<i>Estación seca</i>	<i>Estación lluviosa</i>
Temperatura (°C)	26,9	25,3
Conductividad (µc/cm)	55	14
pH	6,85	7
Oxígeno disuelto	6,8	6,72

FUENTE: Cutipa y Araujo (2012)

ANEXO 6

DATOS DE CALIDAD DE AGUA EN MANUANI SEGÚN ARAUJO

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en Manuani (subcuenca del río Malinosky) según Araujo (2013).

Parámetro	Malinosky	Manuani, arriba confluencia Malinosky.	Manuani, abajo confluencia Malinosky.
Temperatura (°C)	29,2	25	24,6
Conductividad (µc/cm)	43	52	49
pH	7,2	6,8	6,9
Oxígeno disuelto	7,4	6,6	7

FUENTE: Araujo (2013)

ANEXO 7

DATOS DE CALIDAD DE AGUA SEGÚN STROUND WATER RESEARCH

La tabla a continuación presenta los datos de calidad de agua en el río Tambopata según Strond Water Research en el río Tambopata.

Parámetro	Río Tambopata (Inmediaciones de Tambopata Reserch Center)	Río Tambopata (La Joya)
pH	7,6	6,6
Conductividad ($\mu\text{C}/\text{cm}$)	8	224
Oxígeno disuelto	7	0,009
Temperatura	23,9	22
Diversidad de macroinvertebrados (individuos)	323	62

FUENTE: Stround Water Research (s.f) citado por Gómez (2012)

ANEXO 8

CARACTERISTICAS GENERALES DE LOS PUNTOS DE MUESTREO E INDICADORES EVALUADOS *IN-SITU*

<i>PUNTO</i>	<i>M1</i>	
UBICACIÓN	Río Tambopata a 50 metros aguas abajo de la confluencia con el río Malinosky, cerca al puesto de control del SERNANP Malinosky	
FECHA	26/02/13	
HORA	11:47	
COORDENADAS	X	444363
	Y	8570298
ALTURA (m.s.n.m)	188	
ACTIVIDAD	Minería	
Escala	Minería artesanal	
Extensión	No se observa directamente minería en la zona evaluada	
Descripción	En el río Malinosky cerca a la confluencia con el río Tambopata se desarrolla actividad minera artesanal por comunidades como APAYLON y otras.	
	Aproximadamente a 100 metros de distancia del punto, aguas abajo (en el río Tambopata) se observó explotación de oro por el método de carretilla. En la orilla del frente se apreció un pequeño campamento minero.	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orillas y bosque primario (este último por detrás del bosque sucesional)	
Especies	<i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Iriartea deltoidea</i> (huacaprona), <i>Ficus insípida</i> (Oje), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava), <i>Senna reticulata</i> (Gramalote), <i>Ochroma pyramidale</i> (Topa)	
SUELO		
Textura	Arcilloso	
Color	Marrón rojizo	

PUNTO	M2	
UBICACIÓN	Río Malinosky cerca al puerto del C.P minero APAYLON	
FECHA	31/03/13	
HORA	9:56	
ALTURA (m.s.n.m)	207	
COORDENADAS	X	426477
	Y	8571559
ACTIVIDAD	Minería	
Escala	Minería artesanal	
Extensión	La extensión aproximada es de 1 ha.	
	<p>En la misma zona de muestreo no se apreció actividad minera en operación, sin embargo se pudo observar 1 pequeña traca varada en la orilla del río a unos 100 metros del lugar donde se tomó la muestra. Además, a unos 800 metros se pudo apreciar otra pequeña traca.</p> <p>Al pasar por la Comunidad se observó que algunos pobladores estaban transportando combustible (petróleo) en cilindros, se cree que es para alimentar las maquinarias mineras.</p>	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orillas	
Especies	<i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava", <i>Ficus insípida</i> (Oje), <i>Senna reticulata</i> (Gramalote).	
SUELO		
Textura	Arenoso	
Color	Marrón	

PUNTO	M3
UBICACIÓN	Río Malinoskillo aguas arriba del río Azul en el C.P Puerto Azul
FECHA	29/03/13
HORA	1:22
ALTURA (m.s.n.m)	211
COORDENADAS	X 400722
	Y 8559072
ACTIVIDAD	Minería
Escala	Minería artesanal y pequeña escala
Extensión	Extensión aproximada de 5 ha
Descripción	En la zona se apreció actividad minera en operación y un campamento minero de unas 20 personas aproximadamente, muchas con parecían ser foráneas (de la sierra). El campamento son casas sencillas con varias habitaciones.
	En la zona de playa o islas se pudieron apreciar montículos de tierra y cascajos, que dejan las maquinarias como las carrancheras, tracas o carretillas y canaletas luego de que se lava el oro. En el río se observó restos de un motor.
	En el poblado se pudieron apreciar algunas casas y en la tienda hay una balanza para pesar oro.
COBERTURA	
Tipo	Bosque sucesional de orillas y áreas sin bosque
Especies	<i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Guadua sp.</i> (Paca), <i>Senna reticulata</i> (Gramalote), <i>Acacia sp.</i>
SUELO	
Textura	Arcilloso
Color	Marrón

PUNTO	A1	
UBICACIÓN	Río Tambopata en el C.P Baltimori	
FECHA	26/02/13	
HORA	15:45	
COORDENADAS	X	451886
	Y	8581515
ALTURA (m.s.n.m)	182	
ACTIVIDAD	Actividad agrícola y forestal (reforestación)	
Escala	Actividad agrícola de pequeña escala sin uso de agroquímicos y en otros casos de subsistencia, hay también actividad de reforestación en pequeña escala.	
Extensión	Aproximadamente 5 has entre parcelas agrícolas y de reforestación.	
Descripción	En la zona se observa 2 fundos con actividad agrícola de pequeña escala donde se cultivan árboles frutales.	
	En la zona se observa una concesión de reforestación "Camino verde" en la que se reforesta con árboles y palmeras nativas maderables, medicinales o alimenticias. Además, tiene una pequeña área donde hay cultivos agrícolas (plátano, palta, cítricos etc.) para subsistencia.	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orillas y parcelas de árboles frutales, por detrás de estas se observa bosque primario.	
Especies	<p>Natural: <i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava), <i>Ochroma pyramidale</i> (Topa), <i>Couratari</i> sp. (Misa), <i>Schyzolobium amazonicum</i> (pashaco blanco), <i>Couma macrocarpa</i> (Leche-leche), <i>Inga</i> sp. (Shimibillo)</p> <p>Plantada: <i>Croton lecheri</i> (Sangre de drago), <i>Ficus</i> (Ojé), <i>Bertholletia excelsa</i> (Castaña), <i>Dypterix</i> sp (Shihuahuaco), <i>Swietenia macrophylla</i> (Caoba), <i>Cedrela odorata</i> (Cedro) , <i>Brosimun</i> sp. (Mashonaste) etc.</p> <p>Musa paradisiaca (Plátano), <i>Citrus nobilis</i> (Mandarina), <i>Carica papaya</i> (Papaya), <i>Theobroma cacao</i> (Cacao), <i>Persea americana</i> (Palta), <i>Citrus sinensis</i> (Naranja), <i>Citrus limonum</i> (Limón), <i>Yucca filamentosa</i> (Yuca).</p>	
SUELO		
Textura	Arena y arcilla	
Color	Marrón rojizo	

PUNTO	A2	
UBICACIÓN	Quebrada Chonta a aproximadamente 3 metros del encuentro con el río Tambopata.	
FECHA	26/02/13	
HORA	10:28	
ALTURA (m.s.n.m)	184	
COORDENADAS	X	475464
	Y	8595946
ACTIVIDAD	Actividad agrícola	
Escala	Actividad agrícola de pequeña escala	
Extensión	Se observan pequeñas parcelas agrícolas donde se siembran árboles frutales. Estas son menores a 1 ha ubicadas en la ribera de la quebrada	
	A aproximadamente 1 km se observó un pequeño fundo ganadero.	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orilla y parcelas frutales	
Especies	Natural: (<i>Gramalote</i>), <i>Ochroma pyramidae</i> (Topa), <i>Genipa americana</i> (Huito), <i>Ceiba sp.</i> (Huimba), <i>Ficus sp.</i> (Oje), <i>Attalea butyraceae</i> (Shapaja), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava) etc.	
	Plantada: <i>Musa paradisiaca</i> (Plátano), <i>Carica papaya</i> (Papaya) (Naranja) <i>Citrus sinensis</i> , <i>Citrus aurantifolia</i> (Lima), <i>Yucca filamentosa</i> (Yuca) etc.	
SUELO		
Textura	Arcilloso	
Color	Marrón oscuro	

PUNTO	A3	
UBICACIÓN	Río Tambopata a 100 metros aguas arriba de la confluencia con el río La Torre.	
FECHA	26/02/13	
HORA	9:05	
COORDENADAS	X	467435
	Y	8580920
ALTURA (m.s.n.m)	175	
ACTIVIDAD	Agropecuaria	
Escala	Actividad agrícola de pequeña escala y subsistencia	
Extensión	Se observan cerca de la zona varias parcelas agrícolas, menores a 5 ha. El área afectada es de 3 ha.	
Descripción	En la zona se desarrolla la actividad agrícola a pequeña escala, se siembran árboles frutales y otros cultivos. En algunas chacras o pequeños fundos se crían animales menores como gallinas y patos, pero en un nivel que es de autoconsumo	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orilla y parcelas agrícolas	
Especies	<p>Natural: <i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Ochroma pyramidale</i> (Topa), <i>Schyzolobium amazonicum</i> (Pashaco), <i>Inga sp.</i> (Shimbillo), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava), <i>Ficus sp.</i> (Oje), <i>Socratea exorrhiza</i> (Cashapona), <i>Spondias mombin</i> (Ubos), (Zapote)</p> <p>Plantadas: <i>Musa paradisiaca</i> (Plátano), <i>Carica papaya</i> (Papaya), <i>Citrus limonum</i> (Limón), <i>Citrus sinensis</i> (Lima), <i>Citrus nobilis</i> (Mandarina), <i>Solanum Sessiliflorum</i> (Cocona) <i>Phaseolus vulgaris</i> (Frijol), <i>Yucca filamentosa</i> (Yuca), <i>Averrhoa carambola</i> (Carambola), dominando el plátano y la papaya.</p>	
SUELO		
Textura	Arcilloso	
Color	Marrón oscuro	

PUNTO	P1	
UBICACIÓN	Río Tambopata a aproximadamente 2.5 kilómetros aguas arriba de la confluencia con el río Elías Aguirre.	
FECHA	26/02/13	
HORA	10:22	
ALTURA (m.s.n.m)	273	
COORDENADAS	X	441029
	Y	8558407
ACTIVIDAD	Conservación	
Escala	-	
Extensión	-	
Descripción	En esta zona está la Reserva Nacional Tambopata (RNT), aquí no permite la actividad agrícola, ni minera, por lo que no se observaron estas dos actividades.	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orillas y bosque primario (este último por detrás del bosque sucesional)	
Especies	<i>Cecropia membranaceae</i> (Cetico), <i>Guadua weberbaueri</i> (Paca), <i>Ochroma pyramidale</i> (Topa), <i>Salix humboldtiana</i> (Sauce), <i>Ficus insipida</i> (Oje), <i>Guarea</i> sp. (Requía)	
SUELO		
Textura	Arcilla	
Color	Marrón oscuro	

PUNTO	P2	
UBICACIÓN	Río Tambopata en el sector Collpa Colorado.	
FECHA	26/02/13	
HORA	9:20	
COORDENADAS	X	431676
	Y	8539261
ALTURA (m.s.n.m)	354	
ACTIVIDAD	Conservación	
Escala	-	
Extensión	-	
Descripción	En esta zona está la Reserva Nacional Tambopata (RNT), aquí no permite la actividad agrícola, ni minera, por lo que no se observaron estas dos actividades.	
	Sin embargo, en la RNT si se pueden desarrollar otras actividades como el ecoturismo. Es por eso, que se observa un albergue turístico de la empresa Rainforest Expedition "TRC".	
COBERTURA		
Tipo	Bosque sucesional de orillas y bosque primario (este último por detrás del bosque sucesional)	
Especies	<i>Cecropia membranacea</i> (Cético), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava), <i>Ficus insípida</i> (Oje), <i>Inga sp.</i> (Shimbillo)	
SUELO		
Textura	Arcilla	
Color	Marrón oscuro	

PUNTO	P3	
UBICACIÓN	Río Távara a 100 metros aguas arriba de la confluencia con el río Tambopata.	
FECHA	26/02/13	
HORA	7:03	
COORDENADAS	X	432376
	Y	8521066
ALTURA (m.s.n.m)	361	
ACTIVIDAD	Protección	
Escala	-	
Extensión	-	
Descripción	La zona es netamente destinada a la conservación, se encuentra fuera de la zona turística.	
COBERTURA		
Tipo	Bosque primario	
Especies	Natural: <i>Cecropia membranacea</i> (Cetico), <i>Guarea sp.</i> (Requía), <i>Gynerium sagittatum</i> (Caña brava), <i>Inga sp.</i> (Shimbillo), <i>Socratea exorrhiza</i> (Cashapona)	
SUELO		
Textura	Arenoso	
Color	Marrón claro	

ANEXO 9

VALORES DE INDICADORES EVALUADOS *IN-SITU* Y SU PROMEDIO

La tabla a continuación presenta los valores obtenidos en la presente investigación de los indicadores evaluados in-situ (temperatura, pH y oxígeno disuelto) y el valor promedio de cada uno de estos parámetros

Puntos de muestreo	T1	T2	T. Promedio	pH1	pH2	pH. Promedio	O1	O2	O. Promedio
M1	26,2	27	26,6	7,2	6,8	7	8,9	8,58	8,74
M2	25,8	26,6	26,2	5,91	5,73	5,82	10,42	10,84	10,63
M3	29,4	29,6	29,5	5,78	5,54	5,66	6,7	6,5	6,6
A1	26,4	25,6	26	6,73	7,03	6,88	10,82	10,18	10,5
A2	26,3	25,5	25,9	6,86	6,7	6,78	7,12	7,48	7,3
A3	25,3	25,7	25,5	6,9	6,76	6,83	8,34	7,86	8,1
P1	25,8	24,6	25,2	7,12	7,02	7,07	9,52	8,88	9,2
P2	25,4	24,8	25,1	7,01	7,33	7,17	7,6	8,04	7,82
P3	24,1	24,9	24,5	7,22	7,58	7,4	9,27	8,53	8,9

Donde:

T1 = primera temperatura registrada; T2 = segunda temperatura registrada; T = temperatura

pH 1 = primer Ph registrado; pH 2= segundo pH registrado

O1 =primer registro de oxígeno disuelto; O2 = segundo registro de oxígeno disuelto y O = oxígeno disuelto

ANEXO 10

AUTORIZACIÓN DE INGRESO A LA RERVA NACIONAL TAMBOPATA



PERÚ	Ministerio del Ambiente	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado	Reserva Nacional Tambopata
------	-------------------------	---	----------------------------

*Año de la Inversión para el Desarrollo Rural y la Seguridad Alimentaria
"Madre de Dios Capital de la Biodiversidad del Perú"*

Puerto Maldonado, 22 de febrero del 2013

REGISTRO DE TRANSITO N° 001-2013-SERNANP-JRNTAMB

Por el presente documento, según lo solicitado por la Dirección Regional de Salud, con Oficio N° 340-2013-GOREMAD/DRS-DESA-MDD, con N° de registro 320, en cumplimiento con la normatividad de Áreas Naturales protegidas, la siguiente persona, que se acreditarán con sus respectivos documentos en el Puesto de Control correspondiente.

Queda Autorizado para transitar exclusivamente por el Rio Tambopata de la RNTAMB, desde el Puesto de Control La Torre hasta el Puesto de Control Malinowsky. El presente documento tiene validez únicamente para los días del 25 hasta el 28 de febrero del 2013.

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	NACIONALIDAD	DOCUMENTO DE IDENTIDAD	Profesión
1	Nestor Cutipa Perreira	Peruana	04807820	Tripulante
2	Carlos matines Rojas	Peruano	04811793	Tripulante
3	Ricardo Tananta Pizango	Peruana	04804412	Tripulante
4	Tania Guitierrez La Torre	Peruana	45312624	Tripulante
5	Nelly Melgarejo Salas	Peruano	18086322	Tripulante

Durante su estadía, la persona autorizada se compromete a cumplir con lo siguiente:

- Portar el presente documento y registrarse en el PCV La Torre y PCV MALINOWSKY, tanto al ingresar como al salir del ANP.
- Respetar las regulaciones del ANP con respecto a la no colecta de especímenes de flora y fauna silvestre, durante su estadía sin la debida autorización.
- No portar armas de fuego
- Respetar las disposiciones de la Jefatura y del personal Guadaparque del área
- Colaborar con **NO** arrojar desperdicios, durante su estadía ni tampoco durante el transito al destino final.
- No transitar por trochas no autorizadas.
- El autorizado no podrá desarrollar actividades diferentes a las descritas en el documento de solicitud de ingreso.
- La Reserva Nacional Tambopata y su personal no se responsabiliza por accidentes o daños sufridos a la persona autorizada a desarrollar la actividad solicitada.
- El presente registro tiene validez en el periodo comprendido, debiendo ser renovado antes del siguiente periodo de ingreso si fuera necesario.
- Comunicar cualquier eventualidad ocurrida durante su estadía y tránsito o el ANP o en la Zona de Amortiguamiento
- El incumplimiento de los compromisos adquiridos así como cualquier daño al patrimonio natural será causal de denegatoria de futuras autorizaciones a nivel institucional, así como las sanciones a que hubiera lugar.

Es todo cuanto se le recomienda para cumplimiento.

Atentamente,

Ministerio del Ambiente
SERNANP
Ing. Ernesto John Flores Leiva
Reserva Nacional Tambopata

