

## METODOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS PRIORITARIAS PARA INTERVENCIONES DEL MECANISMO DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS EN CIUDADES AMAZÓNICAS, PERÚ

## METHODOLOGY FOR IDENTIFICATION OF PRIORITY AREAS FOR INTERVENTIONS OF PAYMENT MECHANISM FOR WATER ECOSYSTEM SERVICES IN AMAZON CITIES, PERU

Julio Magán<sup>1,2</sup>, Adrian Vogl<sup>3</sup>, Marcelo Guevara<sup>4</sup>, Marta Torres<sup>1,5</sup>, Luis Fernández<sup>1,6</sup>, Martín Pillaca<sup>1,7</sup>, Jorge Caballero<sup>8</sup> y Carmen Acho<sup>1,9</sup>

### Resumen

El servicio ecosistémico hídrico (SEH) se identifica como el principal servicio que se debe conservar, proteger y gestionar adecuadamente para asegurar su calidad, cantidad y disposición. El objetivo del presente trabajo fue desarrollar una propuesta metodológica para la identificación de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos (MERESE-H) en el departamento de Madre de Dios, Perú. Se procedió a desarrollar talleres con actores locales claves, para la identificación de actividades humanas actuales que ocasionan cambios de uso de suelo en el área de estudio. Adicionalmente se desarrolló un estudio diagnóstico a nivel socio económico para conocer la situación del servicio de saneamiento de los operadores de agua en las áreas rurales y pequeñas ciudades en la Amazonía de Madre de Dios. Como secuencia metodológica, se utilizó la herramienta “Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs” (InVEST) para calcular el Índice de Servicio Hidrológico (ISH) para las cuencas priorizadas, mostrando el estado actual de sus servicios hídricos. Estos datos fueron usados para contrastar la problemática de administración de operación y el mantenimiento del servicio junto a las deficiencias proyectadas del ISH de las cuencas en estudio; resultando en una seria deficiencia en el servicio a nivel de calidad y cantidad de agua para su uso adecuado como servicio básico. Finalmente, con la metodología propuesta, se han identificado cinco sitios que cumplen con los criterios para un adecuado diseño, implementación y gestión de un MERESE-H. Este resultado se visualiza en una tabla “semáforo” para la intervención en un corto y mediano plazo en áreas rurales y pequeñas ciudades amazónicas. La herramienta InVEST, como parte del proceso de valoración, es recomendada para la evaluación de los servicios hidrológicos de las microcuencas a trabajar; pero para obtener resultados más cercanos a la realidad, es necesario contar con datos actualizados, principalmente sobre el uso de suelo y climatológicos (precipitación y evapotranspiración).

**Palabras clave:** servicios ecosistémicos, índice de servicio hidrológico, Amazonia, MERESE-H, InVEST.

### Abstract

The water ecosystem service (HES) is identified as the main service that must be conserved, protected and properly managed to ensure its quality, quantity and availability. The objective of this work was to develop a methodological proposal for the identification of Payment Mechanisms for Water Ecosystem Services (MERESE-H) in the department of Madre de Dios, Peru. Workshops were held with key local actors to identify current human activities that cause changes in land use in the study area. Additionally, a diagnostic study was developed at the socioeconomic level to learn about the situation of the sanitation service of water operators in rural areas and small cities in the Amazon region of Madre de Dios. As a methodological sequence, the Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs (InVEST) tool was used to calculate the Hydrological Service Index (HSI) for the prioritized basins, showing the current status of their water services. These dates were used to contrast the problem of administration of operation and the maintenance of the service together with the projected deficiencies of the ISH of the basins under study; resulting in a serious deficiency in the service at the level of quality and quantity of water for its adequate use as a basic service. Finally, with the proposed methodology, five sites have been identified that meet the criteria for an adequate design, implementation, and management of a MERESE-H. This result is visualized in a "traffic light" table for intervention in the short and medium term in rural areas and small Amazonian cities. The InVEST tool, as part of the valuation process, is recommended for the evaluation of the hydrological services of the micro-basins to work; but to obtain results closer to reality, it is necessary to have updated data, mainly on land use and weather (precipitation and evapotranspiration).

**Key words:** ecosystem services, hydrological service index, Amazonia, MERESE-H, InVEST.

---

## Introducción

Los Servicios Ecosistémicos (SE) son definidos como los beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas, visibilizando el importante rol del ecosistema y la biodiversidad (Reid *et al.*, 2005; Grizzetti *et al.*, 2016) en la calidad de vida de las poblaciones. El Servicio Ecosistémico Hídrico (SEH) agrupa los beneficios que obtenemos de los ecosistemas de una cuenca hidrográfica. Entre estos se incluye la purificación del agua, su almacenamiento y regulación en época de lluvias, así como su liberación en época de estiaje; y facilitar la recreación asociada con cuerpos del agua (Grizzetti *et al.*, 2016; Cervantes *et al.*, 2021).

El cambio de uso de suelo y la deforestación repercuten en la calidad y cantidad de los SEH. El adecuado balance y regulación hídrica dependen de la cobertura vegetal por su evapotranspiración, y las propiedades físicas del suelo que, por medio de la infiltración, permite almacenar agua en las capas subterráneas (Julian *et al.*, 2018). La continua intervención en los bosques naturales o su conversión a la agricultura, ganadería o minería, cambian la manera de captura y filtrado del agua a través del suelo, así como su desplazamiento en la superficie y subsuelo (Fu *et al.*, 2013; Brando *et al.*, 2014).

Además, la repercusión del cambio climático se manifiesta de forma natural en la desaparición de diversas especies; cuyo impacto es aún más grave, ante el cambio del uso del suelo, afectando gravemente las especies endémica por tratarse de poblaciones reducidas, dispersión limitada y distribución geográfica restringida (Quipuscoa *et al.*, 2019).

En ese contexto, el Gobierno Nacional del Perú, a través del Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), han generado los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos a nivel Hídrico (MERESE-H) para proponer y promover acciones de conservación y recuperación de ecosistemas que dan origen a los SEH (SUNASS, 2019; MINAM, 2020a, 2020b, 2021a; Medina *et al.*, 2022). Para la implementación de un MERESE-H es fundamental conocer la situación actual en la que se encuentran los actores socioeconómicos, los ecosistemas y los SEH en el ámbito de la cuenca objeto del estudio (Paredes-Vilca, 2019; SUNASS, 2019; MINAM, 2020b; Guevara *et al.*, 2020).

En el departamento de Madre de Dios, Perú es todo un reto generar mecanismos que promuevan la restauración, reforestación y protección de las cuencas, principalmente de sus cabeceras, ya que las actividades antrópicas descontroladas están repercutiendo en la calidad de los SE (Moore, 2019; Paredes-Vilca, 2019; Alarcón *et al.*, 2021). A esto se añade el impacto del cambio climático que modifica la temperatura, los patrones de precipitación, así como la intensidad y

frecuencia de los eventos climáticos extremos (Uribe, 2015).

El objetivo del presente estudio fue diseñar una propuesta metodológica para la identificación de los sitios priorizados donde se puede implementar intervenciones de MERESE-H en el departamento de Madre de Dios, Perú. Con esta información se espera aportar en la gestión de la empresa prestadora de servicios (EPS) de Tambopata (EMAPAT), así como las áreas técnicas municipales (ATM) y de las Juntas Administrativas del Servicio de Saneamiento (JASS) para la identificación adecuada y oportuna de la inversión en recursos hídricos en la región.

## Materiales y métodos

### Descripción del área de estudio

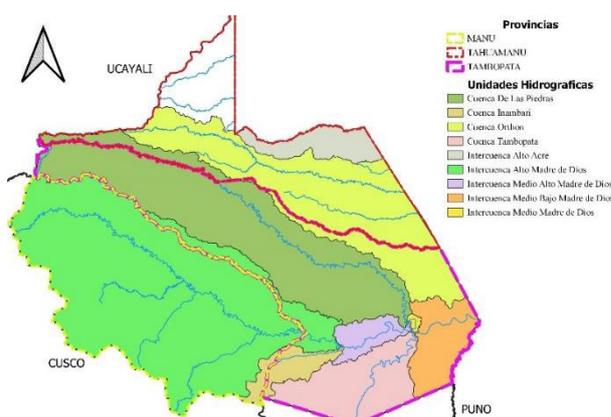
El presente estudio se llevó a cabo en la región amazónica del departamento de Madre de Dios, Perú (10°51'55" y 13°17'27" S, 68°49'10" y 70°53'59" O). Está ubicado en el sureste de la Amazonia peruana, limitando, dentro del mismo país, con los departamentos de Puno (al sur), de Cusco (al oeste), Ucayali (al norte), y con la frontera internacional con Bolivia y Brasil al este y noreste (Figura 1). Madre de Dios comprende una superficie de 85 183.96 Km<sup>2</sup> (6.64% del territorio peruano). El clima es Tropical Cálido y Húmedo, con 2 120 mm de precipitación anual promedio y temperatura promedio de 26.5 °C. La elevación del área de estudio varía entre 200 y 550 msnm (Alarcón *et al.*, 2021).



Figura 1. Área de estudio – Madre de Dios.

Se trabajó en diez áreas rurales y pequeñas ciudades (poblaciones mayores a 2 000 habitantes) de la región amazónica de Madre de Dios (Tabla 1) que han sido identificadas en el marco de la determinación del

ámbito de prestación que realizará la Oficina Desconcentrada de Servicios (ODS) de Madre de Dios, en un mediano a largo plazo (MVCS, 2016). Asimismo, se identificaron los ecosistemas definidos por el MINAM (2019a, 2019b), los cuales han sido considerados para el presente estudio como análisis de los SEH que ofrecen. En la Figura 2 se muestran las nueve unidades hidrográficas que presenta Madre de Dios, de las cuales, seis unidades fueron parte del análisis: (1) Intercuenca Alto Madre de Dios, (2) Intercuenca Alto Acre, (3) cuenca Orthon, (4) Intercuenca Medio Alto Madre de Dios, (5) cuenca Tambopata y (6) cuenca Inambari (ANA, 2010, 2017).



Fuente: ANA (2010, 2017).

**Figura 2.** Unidades hidrográficas de Madre de Dios.

**Tabla 1.** Áreas rurales y pequeñas ciudades.

Provincia	Distrito	Centro poblado o Sector
TAHUAMANU	IBERIA	IBERIA
		ARCA
		PACAHUARA
	TAHUAMANU	ALERTA
TAMBOPATA	LAS PIEDRAS	MAVILA
		ALEGRÍA
		PLANCHÓN
	LABERINTO	PUERTO ROSARIO
	INAMBARI	MAZUKO
MANU	MADRE DE DIOS	BOCA COLORADO
		HUEPETUHE

**Métodos**

Para diseñar la metodología sobre las diez zonas priorizadas, se recopiló información acerca de los riesgos y amenazas existentes en las fuentes de agua. Luego estos datos fueron compilados según uso de suelo, la topografía, la agresividad de la lluvia para generar erosión (erosividad), la susceptibilidad del suelo a la erosión (erodabilidad) (Hernández & Moncaba, 2007), información sobre el clima y los usos del agua; para finalmente, realizar el análisis y compilación del índice de servicios hidrológicos (ISH) (Guevara *et al.*, 2020). Se tomaron como referencia las primeras experiencias desarrolladas en Moyobamba

(MINAM, 2020b) y Urubamba (MINAM, 2020a) sobre los datos requeridos para evaluar y caracterizar las cuencas de interés.

Se revisó y analizó información específica de las zonas de operación de la Empresa Municipal Prestadora de Servicio de Saneamiento de Agua Potable y Alcantarillado de Tambopata S.A. (EMAPAT), constituida en la Municipalidad Provincial Tambopata. Esta empresa prestadora de servicios (EPS), en la actualidad, viene operando en la provincia Tambopata, realizando acciones de tratamiento en planta de potabilización y mantenimiento de la balsa cautiva, ubicada en el río Madre de Dios para abastecer a la ciudad de Puerto Maldonado. Además, como proyección, tienen identificado incorporar a su ámbito de prestación y responsabilidad, a las pequeñas ciudades ubicadas en otros distritos y provincias, en el marco de la Escala Eficiente de la política de integración sectorial. Para ello, deben ser evaluadas por la SUNASS para determinar la viabilidad de la integración. Cuando ésta aun no es viable, se le otorga la prestación a las municipalidades provinciales o distritales (MVCS, 2016). Con esta premisa, se priorizó el análisis de las potenciales pequeñas ciudades que pueden proyectarse al trabajo y servicio de EMAPAT. Este detalle se identificó importante para el diseño e implementación de un potencial MERESE-H en otro distrito.

La compilación de datos se realizó en base a un área de influencia de 10 Km del área de estudio en la región amazónica de Madre de Dios. Las microcuencas, que se encuentran en el ámbito de estudio, fueron seleccionadas para el modelamiento dentro de este radio. La generación de las áreas de interés incluye todas las microcuencas delimitadas por el área de estudio.

Delimitando la zona de estudio se sostuvieron talleres participativos con actores locales clave del Gobierno Regional de Madre de Dios, gobiernos locales e instituciones públicas y privadas. A través de mapas parlantes, se hizo un reconocimiento acerca del uso de suelo y cobertura, luego se identificaron las actividades humanas que más impactan a las áreas priorizadas, especialmente las que amenazan a los SEH (Sharp *et al.*, 2019; Guevara *et al.*, 2020; Ivanova & Marín Arévalo, 2020).

Con esta información sistematizada y digitalizada, se procedió con el análisis y compilación del ISH, a través del software de modelamiento InVEST, creado en el marco del proyecto Capital Natural (NatCap) de la Universidad de Stanford (Sharp *et al.*, 2019), utilizando sus modelos de retención de sedimentos y rendimiento estacional del agua, considerando los siguientes componentes (Guevara *et al.*, 2020):

- **Recarga local**, determinado por las precipitaciones que no escurren como flujo rápido, y no son evapotranspiradas por la vegetación, entonces se infiltra al suelo. La recarga es importante para las áreas rurales, y pues para algunas actividades como la

agricultura, la ganadería y piscicultura es necesario utilizar agua subterránea.

- **Flujo base** (durante la estación seca o estío) refiere a la contribución real de un pixel al flujo base, es decir agua que llega a la corriente y potencialmente, agua potable disponible para áreas rurales y pequeñas ciudades.

- **Flujo rápido** supone la cantidad de lluvia que cae a la superficie de la tierra y escurre rápidamente en lugar de infiltrarse en el suelo. La escorrentía depende de las propiedades del suelo. A mayor cobertura, menor el riesgo por inundaciones.

- **Exportación de sedimentos**, representa la retención natural de sedimentos (donde no interviene la acción humana); siendo de gran interés para los administradores de agua ya que afecta los sistemas de tratamiento del agua potable.

El modelamiento que desarrolla InVEST consistió en cuatro fases. La primera fase, fue la generación de escenarios de uso de suelos, proveniente de la digitalización de los mapas parlantes de los talleres con actores claves. La segunda, la recopilación de información geoespacial, donde se incluyó la información de las modalidades de conservación y sitios prioritarios de Madre de Dios. La tercera fase consistió en el modelamiento de los SE, los que se estimaron usando los promedios de “local recharge” (recarga local – RL), “quickflow” (escorrentía superficial – ES) y “baseflow” (flujo estación seca – FES) del modelo “Seasonal Water Yield” (SWY). Sumado al “Sediment export” (carga de Sedimentos - S) del modelo “Sediment Delivery Ratio” (SDR) (Guevara *et al.*, 2020). Posteriormente, en la cuarta fase, se normalizó cada parámetro dividiéndolo entre el valor máximo del área de estudio. Para S y ES, se invirtió la dirección de los valores normalizados, de modo que los puntajes más altos para esos parámetros corresponden a zonas con las cargas de sedimentos y la escorrentía superficial más bajas. Para la obtención del ISH se realizó el cálculo de sumas ponderadas. Estos resultados fueron reportados por microcuencas para cada escenario modelado. Por último, se sumaron y normalizaron los puntajes de los componentes nuevamente, resultando un ISH final, que va de 0 a 1, donde los puntajes más altos (cercanos a 1 – color azul, Figura 3) representan zonas que proporcionan el nivel

más alto de servicios hidrológicos, y los puntajes cercanos a 0 (color rojo, Figura 3) proporcionan el nivel más bajo. Para evaluar los servicios hidrológicos de las microcuencas se debe de clasificar en percentiles divididos cada 25%. Las microcuencas con percentiles mayores al 75% poseen un alto ISH y los que tienen menos o igual al 25%, tienen bajo ISH. Este índice ayuda a comprender el estado actual de las microcuencas y donde se deben priorizar acciones de reforestación en cabecera de cuenca y conservación del bosque existente en estas zonas (Guevara *et al.*, 2020).

Finalmente, se elaboró el estudio diagnóstico socioeconómico que se realizó paralelamente al modelamiento del ISH. Este diagnóstico recopiló información detallada sobre la situación y función de prestador del servicio de saneamiento, el análisis de sostenibilidad financiera y la percepción sobre el servicio de agua en las diez áreas y pequeñas ciudades priorizadas en el presente estudio. Se aplicó la técnica de encuesta por muestra representativa, utilizando la fórmula de probabilidad para las poblaciones definidas, determinando estadísticamente el tamaño de la muestra (Tabla 2). Para la obtención de la información cuantitativa, se aplicaron un total de 510 encuestas en nueve de las diez áreas priorizadas. A nivel de usuarios del servicio, se aplicó el criterio de generalidad, donde los entrevistados(as) sean beneficiarios o no del servicio de saneamiento. Las entrevistas se aplicaron a los responsables (jefe/a del hogar). Asimismo, se recopiló información de las entidades que se encuentran relacionadas al préstamo del servicio, como las ATM y las JASS (Tabla 2). Las preguntas de la encuesta fueron orientadas principalmente para recoger información de los indicadores identificados como: tipos y usos de viviendas (si es para uso familiar o combinado con negocio), familia, servicios (agua potable continua, tratamiento de excretas y aguas residuales), percepción del pago, usos del agua. En la última parte de la encuesta se han desarrollado tres preguntas relacionadas a la percepción y conocimiento de los SEH, relación de uso y si la población estaría dispuesta a contribuir por la conservación, mantenimiento y la calidad del agua a través de un MERESE-H. La información recopilada fue sistematizada y analizada generando tablas y gráficos estadísticos que ayudaron a comprender y ordenar,

**Tabla 2.** Población, ámbito de intervención y tipo de prestador identificado.

Distrito	Centro poblado	Población censo 2017	Vivienda censo 2017	Muestra	Ámbito	Prestador
Inambari	Mazuko	6 296	2 487	66	Pequeña Ciudad	ATM
Las Piedras	Planchón	1 297	434	59	Rural	ATM
Las Piedras	Mavila	1 454	394	58	Rural	JASS
Las Piedras	Alegría	1 882	594	61	Rural	JASS
Laberinto	Puerto Rosario	3 660	1 425	65	Pequeña Ciudad	ATM
Iberia	Iberia	4 705	1 857	66	Pequeña Ciudad	ATM
Iberia	Pacahuara	816	301	56	Rural	JASS
Tahuamanu	Alerta	1 143	432	59	Rural	JASS
Madre de Dios	Boca Colorado	2 252	671	0*	Pequeña Ciudad	ATM
Huepetuhe	Boca Tocabe	63	28	20	Rural	No cuenta

\*No aplica

según los criterios trabajados en las encuestas, los datos de las áreas rurales y pequeñas ciudades priorizadas para que puedan ser usadas por la EPS EMAPAT y operadores locales en los diseños de los potenciales MERESE-H.

**Resultados**

Se combinaron los análisis del modelamiento, los resultados de los talleres con actores locales, y los resultados del estudio socio económico para conocer el estado de los SEH de las áreas rurales y pequeñas ciudades de región amazónica de Madre de Dios, Perú. A estas consideraciones se sumó la intersección de las zonas priorizadas cercanas o vinculadas a sitios prioritarios para la conservación de Madre de Dios.

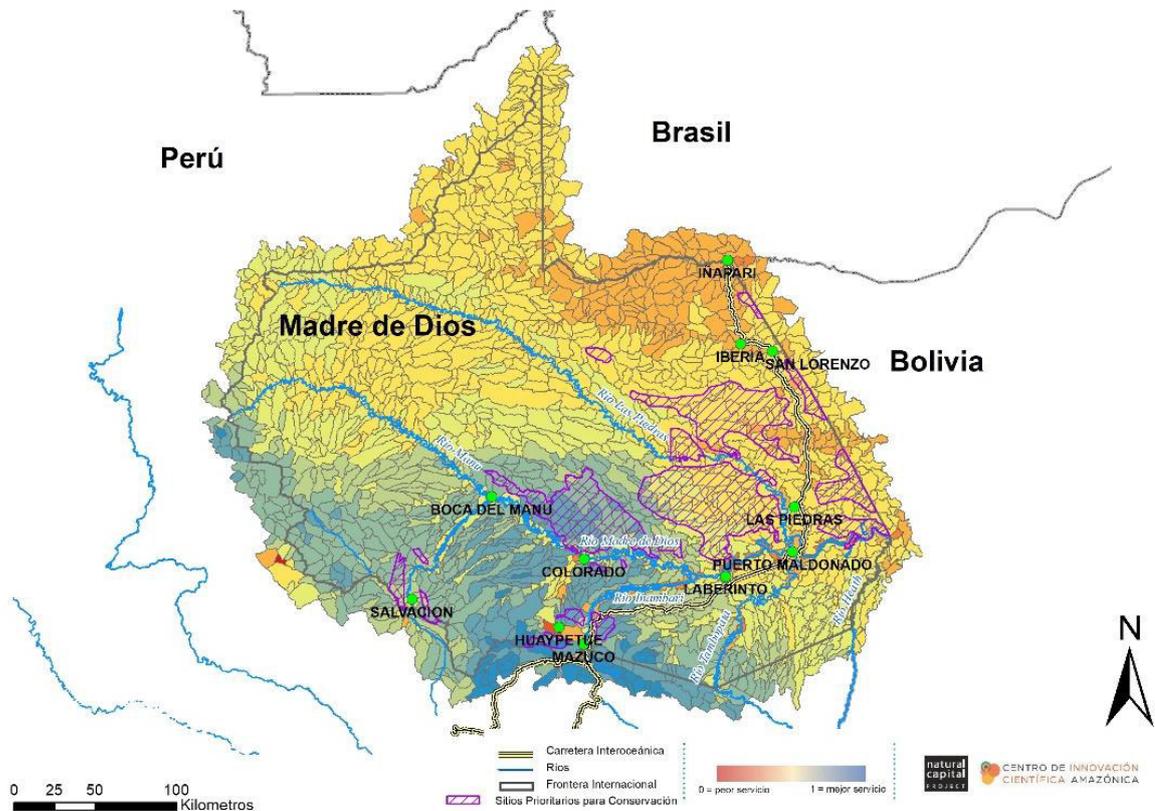
Modelamiento y valores del Índice de Servicio Hidrológico

Los modelamientos en InVEST generaron resultados para cada microcuenca con valores en el rango de 0 a 1, donde 0 es el nivel más bajo de combinación de servicios provistos dentro del área de interés (color rojo – Figura 3), y 1, el nivel más alto de servicios combinados dentro del área de interés (color azul – Figura 3). Las cuencas con valores más cercanos a 1 corresponden a zonas con las cargas de sedimentos y escorrentía superficial más bajas y con mayores recarga y flujo. Es decir, son zonas que proporcionan el nivel más alto de servicios hidrológicos, y viceversa. Asimismo, las microcuencas, que son más afectadas, se

encuentran fuera de las áreas naturales protegidas (ANP), principalmente localizadas en el ámbito del eje carretera de la Interoceánica Sur, como la cuenca del Tahuamanu y en el sector denominado “corredor minero” (entre los ríos Madre de Dios, Colorado e Inambari).

Al modelamiento se incluyó la propuesta de los Sitios Prioritarios para la Conservación realizada el año 2014 por iniciativa de la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Ambiente del Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD, 2014). Estos sitios comprenden algunas iniciativas de aprovechamiento no maderable (“castaña” *Bertholletia excelsa* y “shiringa” *Hevea brasiliensis*), de conservación, de ecoturismo y humedales (aguajales, *Mauritia flexuosa*) fuera de las ANP; comprendiendo algunos criterios como especies amenazadas, endémicas, ecosistemas frágiles, entre otros. Algunas de las áreas identificadas para implementar el MERESE-H coinciden con los sitios prioritarios, lo cual fortalece su importancia y valoración para su intervención y conservación.

Los distritos de Iberia y Tahuamanu (San Lorenzo), ubicados en la provincia Tahuamanu, tienen los ISH más bajos (un promedio de 0.7015) que las otras provincias. Esta información se traduce en una alarma para las pequeñas ciudades Iberia y San Lorenzo, ya que los medios de vida estarían vulnerables por la oferta hídrica, la cual no será suficiente ni de calidad,



**Figura 3.** Índice de Servicio Hidrológico (ISH) – Línea Base y la propuesta de los sitios prioritarios para la conservación en color morado.

afectando a la población de ese sector que dependen directamente del río Tahuamanu. Por su parte, en el distrito Laberinto se muestra que la pequeña ciudad de Puerto Rosario presenta el ISH más bajo de todas las áreas rurales y pequeñas ciudades evaluados (0.658). Ello se puede deber principalmente a la marcada presencia de minería artesanal de oro en la cuenca del río Inambari y al crecimiento demográfico desordenado que impacta en las quebradas y captaciones de agua.

Lo propio ocurre en el distrito de Las Piedras, mostrando un ISH promedio de 0.709, poniendo en alerta las áreas rurales de Alegría y Mavila que obtienen agua de las quebradas y riachuelos. Particular es el caso de Planchón, ya que las poblaciones obtienen el recurso hídrico de un manantial, así como de fuentes subterráneas. De otra parte, en el distrito de Huepetuhe, la cuenca del Tocabe tiene el ISH más alto (0.921) de las evaluadas; esto es debido a que sus cabeceras de cuenca (microcuencas Tigremayo, Tigrechayoc y Tocabe) se encuentran en buen estado, según las evaluaciones en campo en el marco de la consultoría para elaboración de la propuesta del diagnóstico hídrico rápido (DHR) de la cuenca del Tocabe, siendo sus cabeceras de importancia para la población ubicada en el sector. Asimismo, se muestran los resultados del ISH al interior de las ANP, como es el caso de la Reserva Comunal (RC) Amarakaeri, el Parque Nacional (PN) Manu, la Reserva Nacional (RN) Tambopata y el PN Bahuaja Sonene mostrando los índices más altos en sus cabeceras de cuencas. Contrario con los resultados obtenidos en algunas microcuencas, ubicadas en las zonas de amortiguamiento (ZA), que sí muestran afectación, como el caso del río Malinowski en la ZA de la RN Tambopata.

**Resultados del estudio socio-económico**

Sobre la información otorgada por los operadores del servicio, indican sobre el agua continua; es decir, agua garantizada al usuario o familias durante las 24 horas del día, durante los 7 días de la semana se obtuvo un promedio de continuidad del servicio, un total de 15.85 horas/día y de 6.6 días/semana, mostrando una brecha por cubrir de casi 8 horas aproximadamente. Entre los más perjudicados frente al déficit de servicio de agua potable, se muestra el centro poblado (CP) de Puerto Rosario con tan sólo 1.42 horas/día y 5.2 días/semana (Tabla 3).

En cuanto a la Percepción del Valor frente al pago del servicio de agua, existe un 32% de encuestados que percibe como “caro” el servicio de agua potable que recibe: es decir, que el pago que realiza por el servicio excede lo que en realidad recibe en cantidad y calidad. Por otra parte, un 4% considera que el pago del servicio es “bajo”; mientras que un 64% manifiesta realizar un pago “justo” por el servicio que se les otorga. En cuanto a los centros poblados (CP) de Alerta y Mavila, los más afectados por el déficit del servicio de agua potable, la mayoría de los encuestados consideran que el pago o la tarifa son muy altos. Diferentes son los resultados en los sectores con mejor acceso al servicio de agua

potable, como el CP de Iberia quienes manifiestan hasta en un 95% que el pago es “justo” (Figura 4).

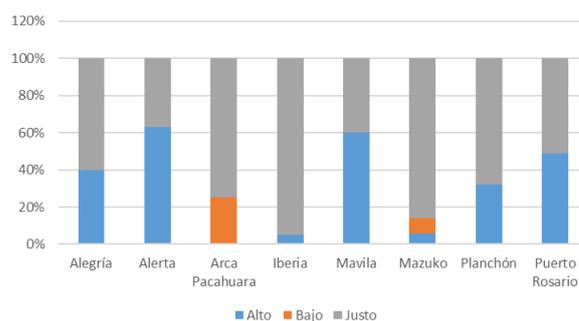
**Tabla 3.** Servicio de agua continua en las áreas rurales y pequeñas ciudades priorizadas.

Localidad	Promedio de horas/día de agua	Promedio de días a la semana de disponibilidad de agua potable en la red pública
Alegría	22.98	7
Alerta	24	7
Arca Pacahuara	24	7
Iberia	3.8	6.8
Mavila	17.31	6.3
Mazuko	9.3	6.9
Planchón	24	6.8
Puerto Rosario	1.42	5.2
Boca Tocabe*	0	0
Boca Colorado**	0	0

\*No cuenta con servicio. \*\*No se desarrollaron encuestas a la población.

En cuanto a la Percepción de la calidad del servicio, los promedios de las áreas encuestadas muestran como resultados que consideran como Buena, un 27%, Mala, un 27% y Regular un 46%. Acerca de los usos del agua, se han recogido los siguientes resultados: Para beber, un 14%, para preparar alimentos, un 22%, para higiene personal, un 21%, para lavar ropa un 21%, para limpieza de vivienda, un 21%, y para el riego, un 1%.

En la última sección de la evaluación respecto del conocimiento, relación de uso y disponibilidad de contribuir a un potencial proyecto de conservación (MERESE-H) sobre los SE y sus beneficios, se evidenció que la población encuestada no tenía conocimiento de los SE; el 93% desconoce qué son y cuál es su significado. Apenas un 7% conoce de qué se trata (Tabla 4).



**Figura 4.** Percepción sobre el pago del servicio del agua.

A nivel de relación de uso, la principal asociación de uso se tiene que la mayoría desconoce con un 59%, un 32% lo relaciona con el servicio de agua, 6% con la instalación de parques y jardines, 2% con actividad de agroforestaría y un 1% con actividad de albergues. Sobre el interés de participación, después de socializar el significado y beneficios de los SE, existe un 90% de

la población con interés en realizar acciones de gestión y participar activamente en implementar los MERESE-H (Tabla 5).

**Tabla 4.** Conocimiento sobre los SEH en las áreas rurales y pequeñas ciudades priorizadas.

Localidad	No	Sí
Alegria	80%	20%
Alerta	100%	0%
Arca Pacahuara	96%	4%
Iberia	100%	0%
Mavila	79%	21%
Mazuko	100%	0%
Planchón	85%	15%
Puerto Rosario	100%	0%
Boca Tocabe	90%	10%
Boca Colorado*	0%	0%

\*No se desarrollaron encuestas a la población.

**Tabla 5.** Interés de gestión y participación en proyectos de conservación de SE.

Centro Poblado	Interés de gestión		Interés de participación	
	No	Si	No	Si
Alegria	5%	95%	15%	85%
Alerta	17%	83%	17%	83%
Arca Pacahuara	13%	88%	7%	93%
Iberia	0%	100%	0%	100%
Mavila	19%	81%	14%	86%
Mazuko	27%	73%	3%	97%
Planchón	10%	90%	15%	85%
Puerto Rosario	0%	100%	17%	83%
Boca Tocabe	0%	100%	0%	100%
Boca Colorado*	0%	0%	0%	0%

\*No se desarrollaron encuestas a la población.

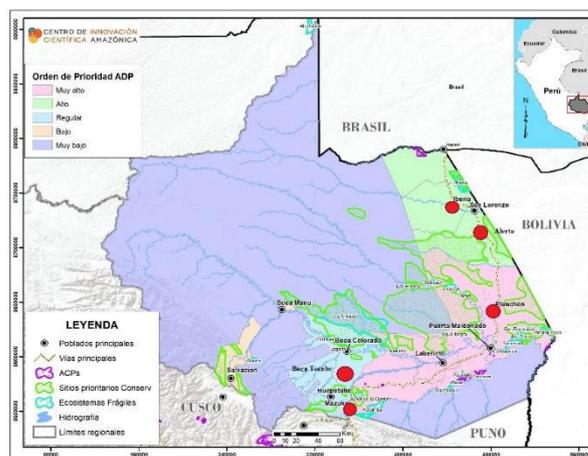
Finalmente, la evaluación acerca de la situación de los operadores del servicio, se cuenta con información sobre la situación y ubicación de las fuentes de captación de agua de las diez áreas identificadas; siendo principalmente de quebradas, como es el caso de las áreas rurales de Tocabe, Alerta, Alegria, Mavila y la pequeña ciudad de Mazuko. Sobre ello se procedió a encuestar a los municipios distritales, donde se obtuvo información acerca de la situación de los operadores del servicio, los análisis de sostenibilidad y el nivel de los SE en las áreas de prestación y captación.

#### Compilación de los resultados

Como resultado se ha producido una “tabla semáforo” conteniendo los datos del ISH y el estudio socioeconómico para las localidades que potencialmente se podría diseñar, implementar y gestionar un MERESE-H. Se consideró además las variables de operatividad, sostenibilidad financiera y los SE. Los sitios que mostraron una mejor disposición para el MERESE-H son: Iberia, Alerta, Planchón, Mazuko y Boca Tocabe. Este último sitio viene siendo promovido por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Ambiente (GRRNYGA) del Gobierno Regional de Madre de Dios (GOREMAD), junto con la Asociación de Productores Agropecuarios el Arco Iris del Sector Tigremayo III. Al respecto, el Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA),

en el marco del proyecto PROAgua en su segunda fase, ha desarrollado una propuesta de DHR de las cuencas Tocabe, Tigremayo y Tigrechayoc; utilizando y complementándolo con los datos y resultados de los modelamientos InVEST, sobre el ISH, y de las encuestas socio-económicas aplicadas, las cuales servirán para el diseño e implementación de un potencial MERESE-H gestionado en conjunto con la empresa prestadora de servicio (EPS) EMAPAT S.A y el operador local.

Finalmente, se ha generado información cartográfica para el reconocimiento de áreas donde potencialmente pueda implementarse un mecanismo para la cogestión de los SE junto con otros actores locales claves. Este mapa consigna los cinco sitios priorizados para la implementación de un potencial MERESE-H, complementada con las áreas de prioridad de la EPS EMAPAT S.A., las cuales ya tenían identificado implementar, antes del presente estudio, en un mediano a largo plazo según sus funciones. Importante identificar que en las modalidades de conservación existentes y con la propuesta de sitios prioritarios de Madre de Dios (GOREMAD, 2014), recaen algunas de las propuestas de MERESE-H (Figura 5). Como producto final, sobre la sobreposición de los resultados de los ISH más los del estudio socioeconómico, se evidencian las áreas rurales o pequeñas ciudades donde se puede, potencialmente, diseñar y gestionar un MERESE-H en un corto y mediano plazo (Tabla 6).



ADP: Área de Prestación de Servicios.

**Figura 5.** Zonas priorizadas para la implementación de un MERESE-H.

Es preciso indicar que, en el transcurso del desarrollo del proyecto, se trabajó en conjunto con la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD), con quien se desarrolló el diplomado a nivel de postgrado denominado “Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos a nivel Hídrico (MERESE-H)”, promoviendo que los participantes generen una propuesta de DHR. Una de las propuestas más destacadas es la elaborada por especialistas de la Municipalidad Provincial de Manu.

ÁREAS PRIORITARIAS PARA MERESE-H EN CIUDADES AMAZÓNICAS DE PERÚ

Julio - Diciembre 2023

**Tabla 6.** “Tabla semáforo” para la implementación de una MERESE-H en Madre de Dios.

Provincia	Distrito	Área rural / pequeña ciudad priorizadas	Unidad Hidrográfica	Cuenca	Índice de Servicio Hidrológico (ISH)	Estudio Económico		Tipo de fuente (captación)		Área de Aporte	Análisis de Sostenibilidad
						Ámbito	Prestador	Subterráneo (pozo tubular)	Superficial		
MANU	Manu	Salvación	Intercuenca Alto Madre de Dios	Alto Madre de Dios	No evaluado	Pequeña Ciudad	No encuestado			No encuestado	No encuestado
	Huepetuhe	Boca Tocabe	Intercuenca Alto Madre de Dios	Tocabe	0.921	Rural	No Cuenta		X	Quebradas Tocabe, Tigremayo y Tigrechayoc	No encuestado
	Madre de Dios	Boca Colorado	Intercuenca Alto Madre de Dios	Río Colorado	0.887	Pequeña Ciudad	ATM - Municipalidad	X		Agua subterránea	Negativo
	Fitzcarrald	Boca Manu	Intercuenca Alto Madre de Dios	Alto Madre de Dios	No evaluado	Rural	No encuestado			No encuestado	No encuestado
TAHUAMANU	Iñapari	Iñapari	Intercuenca Alto Acre	Acre	No evaluado	Pequeña Ciudad	No encuestado			No encuestado	No encuestado
	Iberia	Iberia	Cuenca Orthon	Tahuamanu	0.700	Pequeña Ciudad	ATM - Municipalidad	X	X	Rio Tahuamanu / agua subterránea	Positivo
	Iberia	Arca Pacahuara	Cuenca Orthon	Tahuamanu	0.703	Rural	JASS	X		Agua subterránea	Negativo
	Tahuamanu	San Lorenzo	Cuenca Orthon	Tahuamanu	0.703	Rural	No encuestado			No encuestado	No encuestado
	Tahuamanu	Alerta	Cuenca Orthon	Muymanu	0.710	Rural	JASS	X	X	Quebrada de Alerta / agua subterránea	Positivo

Provincia	Distrito	Área rural / pequeña ciudad priorizadas	Unidad Hidrográfica	Cuenca	InVEST		Estudio Económico		Área de Aporte	Análisis de Sostenibilidad	
					Índice de Servicio Hidrológico (ISH)	Ámbito	Prestador	Tipo de fuente (captación)			
						Subterráneo (pozo tubular)	Superficial				
TAMBOPATA	Las Piedras	Mavila	Cuenca Orthon	Manuripe	0.708	Rural	JASS		X	Riachuelo Florida	Negativo
	Las Piedras	Planchón	Cuenca Orthon	Parmichal	0.716	Rural	ATM - Municipalidad	X		Agua de manantial y subterránea con bomba succión	Positivo
	Las Piedras	Alegria	Cuenca Orthon	Reducto Malecón	0.703	Rural	JASS		X	Quebrada Malecón	Negativo
	Tambopata	Puerto Maldonado	Intercuenca Medio Alto Madre de Dios / Cuenca Tambopata	Madre de Dios / Tambopata / Malinowski	0.807*	Ciudad	EPS EMAPAT		X	Río Madre de Dios	Positivo / Línea base
	Laberinto	Puerto Rosario	Intercuenca Medio Alto Madre de Dios	Madre de Dios	0.658	Pequeña Ciudad	ATM - Municipalidad	X		Agua subterránea	Negativo
	Inambari	Mazuko	Cuenca Inambari	Inambari / Quebrada Seca y Mauzko	0.848	Pequeña Ciudad	ATM - Municipalidad		X	Quebrada Seca y Mazuko	Positivo

\*Dato base.

## Discusión

En la presente investigación se ha buscado contribuir con la valoración y función de los SE, principalmente del SEH. Con esta propuesta de identificación se pretende reconocer qué sitios cumplen y son propicios para diseñar, implementar y gestionar un MERESE-H amazónico. Es la primera vez que se elabora una metodología para áreas rurales y pequeñas ciudades amazónicas, probada en Madre de Dios, para la identificación de MERESE-H, utilizando variables socio-económicas y de SE a través de los ISH y el modelamiento con el software InVEST. Esta propuesta mejora, y a la vez complementa, la metodología utilizada para la elaboración del DHR en sus secciones de delimitación de la cuenca de aporte, identificación de los SEH, los ecosistemas de interés para la EPS y la determinación del estado de conservación/degradación de los ecosistemas (SUNASS, 2019). Las primeras experiencias, a nivel nacional, para la identificación y diseño de un MERESE-H (MINAM, 2020b) realizadas en Moyobamba (San Martín) y el Alto Urubamba (Cusco) (MINAM, 2020a), fueron de las que dieron forma y los criterios para la generación de la actual guía para la elaboración del DHR.

Los talleres participativos son de importancia en el proceso, ya que generaron los mapas parlantes que contenían información actualizada y precisa, la cual se digitalizó para ser analizada mediante el software InVEST. El uso de este software, ayudó a evaluar el potencial del servicio ecosistémico hídrico de las quebradas (microcuencas) que comprometen a la cuenca de aporte para las EPS. Para la identificación de los SEH, al ser uno de los principales pasos del DHR, el InVEST ha demostrado ser una herramienta muy eficaz, ya que utiliza datos reales como el del uso del suelo/territorio, amenazas a las microcuencas y el crecimiento demográfico; brindando datos más complejos sobre la sedimentación y escorrentía superficial. Asimismo, el software brinda información sobre la caracterización del estado de los SEH en las microcuencas seleccionadas y priorizada, ponderándolas según la calidad y cantidad del servicio que estarían brindando a la red hídrica. Se identifica que, con la información obtenida a través de la metodología realizada, se complementa adecuadamente a la información solicitada para la generación de los DHR, como parte del diseño de un MERESE-H (SUNASS, 2019), tomando consideración en las áreas rurales y pequeñas ciudades amazónicas. Por tal motivo, es importante evidenciar los resultados e información generada, como base para la selección de las microcuencas donde se puede desarrollar un potencial MERESE-H y su implementación en plazo más inmediato.

A nivel de la percepción que se tiene en las proyecciones a futuro, no son alentadoras. Las regiones con mayor vulnerabilidad al cambio climático para los

años 2050 y 2070 serán Loreto, Ucayali y Madre de Dios. (Laura *et al.*, 2021). A esto se suma el incremento de la mortandad de árboles e incendios forestales, ocasionando riesgos para el almacenamiento de carbono y producción de calidad de agua (MINAM, 2016; SERFOR, 2017). Sobre este detalle, los reportes del SENAMHI (2020 & 2021), del MINAM (2016) y del GOREMAD (2018) resaltan la alteración de los regímenes hídricos provenientes de los glaciares tropicales del país, donde se exhibe un declive en la descarga en estación seca (septiembre, octubre y noviembre), pudiendo desencadenar graves sequías en perjuicio de la productividad del bosque amazónico (Butt *et al.*, 2008) y de la cantidad y calidad del recurso hídrico para consumo humano. En contraposición, la temporada de lluvias (Coello & Calle, 2021) se prevén intensas, pudiendo provocar inundaciones y graves daños personales, como a la salud, y a la infraestructura.

Como importante antecedente recordemos la inundación en febrero 2021. Según el reporte emitido por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2021) se vieron afectadas las tres provincias del departamento, siendo las más afectadas las áreas rurales y pequeñas ciudades de Mazuko, Puerto Rosario, Iberia, boca Tocabe y boca Colorado; priorizadas en el presente estudio.

Sobre este escenario, los operadores del servicio de agua y saneamiento, así como los gobiernos regionales y locales, priorizaron el desarrollo de proyectos de conservación, recuperación, reforestación y protección de las fajas marginales (ANA, 2010) con infraestructura adecuada e implementada para su monitoreo y gestión. Al respecto, cabe resaltar que a la fecha ya son 43, de las 50 EPS a nivel nacional, que cuentan con estudios tarifarios para recaudar fondos a través de los MERESE-H, permitiendo conservar, recuperar o usar sosteniblemente la infraestructura natural de interés hídrico (Medina *et al.*, 2022).

Asimismo, cabe recordar que las cuencas vienen siendo afectadas por diferentes actividades antrópicas, algunas de ellas productivas para Madre de Dios, como el caso de la agricultura y ganadería, que están afectando a las redes hídricas (Moore, 2019; Alarcón *et al.*, 2021), principalmente por las quemadas y la pérdida de la cobertura vegetal (Uribe, 2015; Quipuscoa *et al.*, 2019); incrementando las sequías, reduciendo la resiliencia de los bosques y repercutiendo en la mortandad de árboles (Fu *et al.*, 2013; Brando *et al.*, 2014). Ello se evidencia en la cuenca Tahuamanu, donde se desarrolla la agricultura a gran escala no planificada para la producción de papaya, maíz, arroz, cacao y copoazú; repercutiendo en el servicio, cantidad y calidad del agua en la localidad de Iberia y el área rural San Lorenzo.

El adecuado mantenimiento del servicio depende del conocimiento y conservación de las zonas de captación de agua, así como las cuencas que la

abastecen. En Mazuko, se evidencian algunas microcuencas afectadas por la actividad de minería ilegal cerca al ámbito del punto de captación de agua (quebradas Seca y Mazuko), repercutiendo en la calidad del servicio, por la gran cantidad de sedimentos que se generan (Caballero *et al.*, 2018). A ello se suma la pérdida de la cobertura vegetal, siendo clave para reducir los costos de mantenimiento, tratamiento, purificación y potabilización del agua para consumo humano. Esta problemática viene afectando a las cuencas de los ríos Colorado, Inambari y Madre de Dios en la zona media y baja en perjuicio del sistema de purificación de agua por parte de la EPS EMAPAT S.A. para el abastecimiento de la ciudad de Puerto Maldonado (Grizzetti *et al.*, 2016; Julian *et al.*, 2018; Cervantes *et al.*, 2021; Velasquez *et al.*, 2021; Ibanalopez *et al.*, 2021). Asimismo, es importante tener en cuenta que el flujo base y la escorrentía superficial son necesarias para sostener las demandas hídricas de las poblaciones durante los meses con menores precipitaciones (temporada seca). Esto es clave, principalmente para las localidades de Iberia, Mazuko y Huepetuhe (GOREMAD, 2018) que presentan este problema cada año.

Cabe mencionar que las poblaciones que desean un servicio de acueducto y alcantarillado adecuado, priorizando el interés de conservar las fuentes de captación de agua para calidad y cantidad adecuada, estarían dispuestas a pagar esta compensación (Huerta & Jiménez, 2010; Paredes-Vilca, 2019; MINAM, 2021b; Medina *et al.*, 2022); por tal motivo es necesario establecer tarifas o cuotas familiares adecuadas y mejorar la operatividad de los sistemas con el objetivo de reducir costos. Es importante recalcar que, a la fecha, se está desarrollando la primera experiencia de MERESE-H en el distrito de Inambari, ámbito de la zona de influencia del Bosque Local Señor de La Cumbre, reconocido como Ecosistema Frágil (MINAGRI, 2020). El objetivo de esta experiencia es la de conservar las cabeceras de cuenca del río Jayave, tributario del río Inambari, considerado como cuenca tributaria al río Madre de Dios y que aporta a la ciudad de Puerto Maldonado. Esta primera experiencia se viene implementando por los beneficiarios locales junto con la EPS EMAPAT S.A.

Los modelos del InVEST (Gaspari *et al.*, 2015; Lovera *et al.*, 2019; Sharp *et al.*, 2019) resultan ser indicados para proyectar y generar los valores de los SE, principalmente sobre los ISH de las microcuencas en base a información sobre los usos del suelo, la cual fue recopilada mediante talleres participativos con actores claves que tienen conocimiento sobre las actividades que se vienen desarrollando; ya que sin estos datos complementarios actualizados los resultados en la herramienta no se hubieran acercado a la realidad.

## Conclusiones

La presente investigación presenta un método que complementa y mejora la definida por la guía para la elaboración del DHR, principalmente en las secciones de delimitación de la cuenca de aporte, a la identificación, caracterización y priorización de los SEH para la EPS y de la situación de conservación/degradación de los ecosistemas de interés hídrico de las cuencas delimitadas. Con este método se han identificado los potenciales MERESE-H en Madre de Dios y que pueden ser replicados en la Amazonía. Se reconocen cinco sitios priorizados: Iberia, Alerta, Planchón, Mazuko y Boca Tocabe. Estas áreas rurales y pequeñas ciudades cuentan con las variables adecuadas para el diseño, implementación y gestión de un MERESE-H a un corto y mediano plazo.

Los modelamientos realizados en el InVEST fueron determinantes ya que sirvieron para conocer la situación del servicio hidrológico de las cuencas de interés para las áreas rurales y pequeñas ciudades. La principal limitación del proceso corresponde a la falta de datos actualizados sobre el uso del suelo y datos climáticos (precipitación y evapotranspiración) de la región evaluada. Esto a su vez, ha limitado a que el software arroje resultados más ajustados a la realidad. Al igual que cualquier modelo InVEST, ambos modelos SWY y SDR utilizan un enfoque simplificado para estimar los flujos de agua y no incluyen muchas de las complejidades que se dan cuando el agua se mueve a través del paisaje, por lo que se sugiere no utilizar los valores absolutos, sino los valores relativos en los paisajes. Asimismo, las reuniones técnicas con especialistas locales fueron necesarias en este proceso, porque ayudó, fortaleció y complementó la información local, lo que contribuyó positivamente con la digitalización de los mapas parlantes y modelados en el InVEST. Si no se cuenta con esta información, es una limitante para el modelamiento y resultados en el software aplicado.

Con el método presentado se pretende identificar y diseñar un MERESE-H adecuadamente, según los lineamientos aprobados. Se prioriza la utilización del software InVEST para la evaluación del ISH de las microcuencas, para identificar dónde enfocar inversión y/o implementación de proyectos MERESE-H a nivel nacional. Es importante generar mapas parlantes con la participación de los actores locales para la construcción del mapa base actualizado; si es que no se cuenta con esa información, no podría modelarse adecuadamente el software resultando en datos alejados de la realidad. De esta manera, la participación de la población beneficiaria local, contribuyentes del mecanismo, se prioriza ya que son los que darán la sostenibilidad al proyecto de retribución por servicios ecosistémicos. Si es que no son conscientes del problema y solución, será difícil trabajar adecuadamente. Asimismo, los operadores del servicio, como el caso de la EPS EMAPAT, deben estar implementados con los

especialistas adecuados y preparados en estos novedosos temas, los cuales apliquen el método y puedan iniciar con las propuestas de nuevos mecanismos. Si nuestras autoridades cuentan con esta información podrán tomar decisiones más efectivas y duraderas sobre las inversiones en recursos hidrológicos. Finalmente, las perspectivas sobre el trabajo realizado es la aplicación del método en otras ciudades amazónicas, complementando la información solicitada en el DHR, ayudando en la definición del diseño e implementación de los MERESE-H amazónicos.

### Agradecimientos

Se recibió financiamiento del Premio Nacional Cultura del Agua 2021 - H2O Investigaciones mediante un convenio de cooperación entre la Autoridad Nacional del Agua, Perú y Forest Trends Association en representación del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica. El Proyecto es financiado gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá. Los contenidos son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID, ni del Gobierno de los Estados Unidos de América, ni del Gobierno de Canadá. Asimismo, agradecer al proyecto Natural Capital (NatCap) de la Universidad de Stanford- California y a la institución Centro de Innovación Científica Amazónica (CINCIA) por la gestión del proyecto PROAgua en su fase 2 y a la financiación por parte de la Fundación Gordon and Betty Moore. A la empresa prestadora de servicios, EMAPAT S.A. por brindar los datos y la disponibilidad de trabajar en conjunto. A las instituciones públicas, SUNASS y ANA por la disponibilidad de compartir, brindar información y asesoramiento. A la UNAMAD por ser parte del fortalecimiento institucional sobre MERESE-H en Madre de Dios.

### Literatura citada

Alarcón G., Canahuire R., Guevara F., Rodríguez L., Gallegos C. & Garate-Quispe J. 2021. Dinámica de la Pérdida de Bosques en el Sureste de la Amazonía Peruana: un estudio caso en Madre de Dios. *Ecosistemas*, 30(2): 2175. DOI: 10.7818/ECOS.2175.

ANA. 2010. Estudio Diagnóstico Hidrológico de la Cuenca de Madre de Dios. Ministerio de Agricultura, Perú. [https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/diagnostico\\_hidrologico\\_madre\\_de\\_dios\\_0.pdf](https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/diagnostico_hidrologico_madre_de_dios_0.pdf).

ANA. 2017. Autoridad Administrativo del Agua - Madre de Dios (organos-desconcentrado). Ministerio de Agricultura, Perú. <https://www.ana.gob.pe/organos-desconcentrados/autoridad-administrativo-del-agua-madre-de-dios>.

Brando P.M., Balch J.K., Nepstad D.C., Morton D.C., Putz F.E., Coe M.T., Silvério D., Macedo M.N., Davidson E.A., Nóbrega C.C., Alencar A. & Soares-Filho B.S. 2014. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. *PNAS*, 111(17): 6347-6352. DOI: 10.1073/pnas.1305499111.

Butt N., Mahli Y., Phillips O. & New M. 2008. Floristic and functional affiliations of woody plants with climate in western Amazonia. *Journal of Biogeography*, 35: 939-950. <https://forestplots.net/upload/publication-store/2008/Butt/Butt%20N%20et%20al%20JB%202008.pdf>.

Caballero J., Messinger M., Román-Dañobeytia F., Ascorra C., Fernandez L. & Silman M. 2018. Deforestation and Forest Degradation Due Gold Mining in the Peruvian Amazon: A 34-Years Perspective. *Remote Sens*, 10(12): 1903. DOI: 10.3390/rs10121903.

Cervantes R., Sánchez J.M., Alegre J., Rendón E., Baiker J., Locatelli B. & Bonnesoeur V. 2021. Contribución de los Ecosistemas Altoandinos en la Provisión del Servicio Ecosistémicos de Regulación Hídrica. *Ecología Aplicada*, 20(2). DOI: 10.21704/rea.v20i2.1804.

Coello J.C. & Calle V. 2021. Efecto de la Corriente en Chorro en Bajos Niveles en la Ocurrencia de Precipitación en la Selva de Perú. *Ecología Aplicada*, 20(2). DOI: 10.21704/rea.v20i2.1805.

Fu R., Yin L., Arias P., Dickinson R., Huang L., Chakraborti S., Fernandes K., Liebmann B., Fisher R. & Myneni R. 2013. Increased dry-season length over southern Amazonia in recent decades and its implication for future climate projection. *PNAS*, 110(45): 18110-18115. DOI: 10.1073/pnas.1302584110.

Gaspari F.J., Diaz A.R., Delgado M.I. & Senisterra G.E. 2015. Evaluación del Servicio Ambiental de provisión hídrica en cuencas hidrográficas del sudeste bonaerense, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 114(Núm. Esp.1): 214-221. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/48783>.

GOREMAD. 2014. Estrategia Regional de Diversidad Biológica de Madre de Dios y su Plan de Acción al 2021: Plan de Acción 2014-2021. GOREMAD (Gobierno Regional de Madre de Dios) / Perú. <https://www.gob.pe/institucion/regionmadrededios/informes-publicaciones/2028967-estrategia-regional-de-diversidad-biologica-de-madre-de-dios-al-2021>.

GOREMAD. 2018. Estrategia Regional de Cambio Climático de Madre de Dios 2017-2021. Gobierno Regional de Madre de Dios, Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2027323/ERCC.pdf.pdf>.

Guevara M., Torres M. & Vogl A. 2020. PROAgua. Proyecto de Resiliencia y Ordenamiento Territorial del Agua y Servicios Ecosistémicos en la Amazonía de Perú, Bolivia y Brasil. Centro de Innovación Científica Amazónica, Natural Capital Project – Stanford University. DOI: 10.25740/mx682ny6097.

Huerta G. & Jiménez F. 2010. Una guía de diagnóstico rápido para determinar el potencial de pago por servicios ecosistémicos hídricos en microcuencas hidrográficas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 40(2): 34-43. DOI: 10.15359/rca.40-2.4.

- Ibana-Lopez K., Sihuay-Perales M., Garate-Quispe J., Araújo-Flores J., Herrera-Machaca M., Alarcón G. & Rodríguez-Achata L. 2021. Contaminación de Agua Superficial de la Periferia Urbana de Puerto Maldonado, al sureste de la Amazonia Peruana. *Revista de Investigación Veterinaria Perú*, 32(6): e20365. DOI: 10.15381/rivep.v32i6.20365.
- INDECI. 2021. Informe de Emergencia N°1093-23/7/2021/COEN-INDICE: Inundación en el Departamento de Madre de Dios. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), Perú. <https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/05/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-1093-23JUL2021-INUNDACION-C3%93N-EN-EL-DEPARTAMENTO-DE-MADRE-DE-DIOS-26.pdf>.
- Ivanova Y. & Marín-Arévalo L. 2020. Estudio de Afectación del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica por Actividades de Agricultura en la Cuenca del río Gachaneca I, páramo Rabanal. *Gestión y Ambiente*, 23(2): 193-202. DOI: 10.15446/ga.v23n2.88051.
- Julian C., Nahuelhual L., Mazzorana B. & Aguayo M. 2018. Evaluación del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica ante escenarios de Conservación de Vegetación Nativa y Expansión de Plantaciones Forestales en el Centro-Sur de Chile. *Bosque*, 39(2): 227-289. DOI: 10.4067/S0717-92002018000200277.
- Laura F., Moreano V. & Sencie A. 2021. Cambio Climático. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. SERFOR (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre). Perú. <http://repositorio.serfor.gob.pe/bitstream/SERFOR/908/7/7-CAMBIO%20CLIMATICO.pdf>.
- Lovera V., Roldán I., Robles J. & Torres P. 2018. Evaluación del Servicio Ecosistémico del Rendimiento Hídrico entre los años de 1994 y 2016 en el Municipio de Valle Bravo, Estado de México. *Papeles de Geografía*, 64: 93-113. DOI: 10.6018/geografia/2018/322931.
- Medina G., Gamarra J. & Cifuentes L. 2022. Manual para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Infraestructura Natural en el marco del Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos para las empresas prestadoras de servicio de saneamiento en Perú. *Forest Trends Association*, Perú. <https://www.forest-trends.org/publications/manual-para-la-formulacion-y-evaluacion-de-proyectos-de-inversion-en-infraestructura-natural/?fbclid=IwAR0EodyiRAD49Nz-srpV1MaoUgqY2HKoHEuKZHoTBsktZgwFS8CuWSg7Du>.
- MINAGRI. 2020. RESOLUCIÓN DE DIRECCIÓN EJECUTIVA N° D000133-2020-MIDAGRI-SERFOR-DE. Aprueban la incorporación de veinticuatro ecosistemas identificados en el departamento de Madre de Dios a la "Lista Sectorial de Ecosistemas Frágiles" [Lista Sectorial de Ecosistemas Frágiles de Madre de Dios. SERFOR, Perú]. *El Peruano (Normas Legales)*, XXXVII(15793): 12-13. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/aprueban-la-incorporacion-de-veinticuatro-ecosistemas-identificados-en-el-departamento-de-madre-de-dios-a-la-lista-sectorial-de-ecosistemas-fragiles>.
- MINAM. 2016. La Contribución Nacional del Perú – INDC: agenda para un desarrollo climáticamente responsable. MINAM (Ministerio del Ambiente). Perú. <https://www.minam.gob.pe/cambioclimatico/wp-content/uploads/sites/11/2015/12/LA-CONTRIBUCION-C3%93N-NACIONAL-DEL-PERU-C3%9A1.pdf>.
- MINAM. 2019a. Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>.
- MINAM. 2019b. Memoria Descriptiva del Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/mapas/mapa-nacional-ecosistemas-peru>.
- MINAM. 2020a. Diagnóstico de Servicios Ecosistémicos en la cuenca Alto Urubamba para la implementación de un Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos. Ministerio del Ambiente (MINAM), Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-servicios-ecosistemas-cuenca-alto-urubamba>.
- MINAM. 2020b. Sistematización de Aprendizajes del Diseño e Implementación del Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos de Moyobamba: periodo 2007-2014. Ministerio del Ambiente (MINAM), Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1678116/7.%20Moyobamba.pdf.pdf>.
- MINAM. 2021a. Análisis Económico de la Relación del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica y los Ingresos en la Población Rural a través de la Disponibilidad de Agua para Riego. Documento de Trabajo n.º 1. Ministerio del Ambiente (MINAM), Perú. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1814918/An%C3%A1lisis%20econ%C3%B3mico%20.pdf>.
- MINAM. 2021b. Lineamientos para la Valoración Económica de la Diversidad Forestal y Fauna Silvestre. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/lineamientos-valoracion-economica-diversidad-forestal-fauna-silvestre>.
- Moore T. 2019. Deforestation in Madre de Dios, its Implications for First People. *En: Chirif A. (Ed) Peru: Deforestation in Times of Climate Change*. Perú. 201-235. [https://www.academia.edu/41596393/Moore\\_2019\\_Deforestation\\_in\\_Madre\\_de\\_Dios\\_its\\_implications\\_for\\_first\\_peoples](https://www.academia.edu/41596393/Moore_2019_Deforestation_in_Madre_de_Dios_its_implications_for_first_peoples).
- MVCS. 2016. Decreto Legislativo N°1280 que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento. *El Peruano (Normas Legales)*, XXXIII(13916): 608948- 608967. Jueves 29 de diciembre de 2016. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-marco-de-la-gestion-y-decreto-legislativo-n-1280-1468461-1>.
- Paredes-Vilca O.J. 2019. Pago por servicios ecosistémicos de los recursos hídricos y su valoración económica. *Manglar*, 16(1): 71-79. DOI: 10.17268/manglar.2019.010.

- Quipuscoa V., Dillon M., Treviño I., Balvín M., Mejía A., Ramos D., Durand K. & Montesinos D. 2019. Impacto de los Cambios Climáticos y uso del Suelo, en la distribución de las especies de géneros endémicos de Asteraceae de Arequipa. *Arnaldoa*, 26(1): 71-96. DOI: 10.22497/arnaldoa.261.26105.
- Reid W.V., Mooney H.A., Cropper A., Capistrano D., Carpenter S., Chopra K., Dasgupta P., Dietz T., Duraiappah A., Hassan R., Kasperson R., Leemans R., May R., McMichael T., Pingali P., Samper C., Scholes R., Watson R., Zarkri A., Shidong Z., Ash N., Benn T.J. & Zurek M. 2005. Ecosystem and Humans well-being. Synthesis. A Report of the Millenium ecosystem assesment. Island Press, Washington, DC. <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>.
- SENAMHI. 2020. Reporte de Condiciones Secas y Húmedas en el Perú durante el año hidrológico 2019-2020. SENAMHI (Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Perú). <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/reportes-condiciones-secas-2019-2020%20DMA-DHI-DAM.pdf>.
- SENAMHI. 2021. Reporte de Condiciones Secas y Húmedas en el Perú durante el año hidrológico 2020-2021. SENAMHI (Servicio Nacional de Metereología e Hidrología del Perú). <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/reportes-condiciones-secas-2020-2021-DAM.pdf>.
- SERFOR. 2017. Mapa de Vulnerabilidad de Ecosistemas y Hábitats Críticos frente al Cambio Climático de la Amazonía Peruana. Informe Naional. Departamentos de: Loreto, Amazonas, San Martín, Ucayali, Madre de Dios, Huánuco, Junín y Pasco. Programa Forestal. SEINNOVA. Perú. [http://www.serfor.gob.pe/programaforestal/wp-content/uploads/2018/10/1\\_INFORME-NACIONAL\\_MAPA-DE-VULNERABILIDAD-DE-ECOSITEMAS.pdf](http://www.serfor.gob.pe/programaforestal/wp-content/uploads/2018/10/1_INFORME-NACIONAL_MAPA-DE-VULNERABILIDAD-DE-ECOSITEMAS.pdf).
- Sharp R., Tallis H.T., Ricketts T., Guerry A., Wood S.A., Chaplin-Kramer R., Nelson E., Ennaanay D., Wolny S., Olwero N., Vigerstol K., Lonsdorf E., Kennedy E., Verutes G., Kim C.K., Guannel G., Papefufus M., Tolf J., Marsik M., Bernhardt J., Griffin R., G.D.D & D.J. 2019. InVEST 3.7.0. NatCap (Natural Capital) Project, Stanford University. USA. traducción parcial al español de la versión original en inglés del manual de los modelos InVEST. [https://naturalcapitalproject.stanford.edu/sites/default/files/invest\\_version\\_en\\_espanol\\_oct\\_2019.pdf](https://naturalcapitalproject.stanford.edu/sites/default/files/invest_version_en_espanol_oct_2019.pdf).
- SUNASS. 2019. Resolución de Consejo Directivo RCD-039-2019-SUNASS-CD: Directiva de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos Implementados por las Empresas Prestadoras de Servicio de Saneamiento – RCD-039-2019-SUNASS-CD. El Peruano (Normas Legales), Separata Especial: 1-16. Miércoles 20 de noviembre de 2019. <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/resolucion-de-consejo-directivo-que-aprueba-la-nueva-direct-resolucion-no-039-2019-sunass-cd-1828191-1>. [https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/RCD-039\\_2019cd.pdf](https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/RCD-039_2019cd.pdf).
- Uribe E. 2015. El Cambio Climático y sus Efectos en la Biodiversidad en América Latina. Estudios del cambio climático en América Latina. Naciones Unidas – CEPAL, Santiago. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295\\_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/39855/S1501295_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Velasquez M.G., Vega C., Corvera R., Pillaca M., Thomas E., Steward P.M., Gamarra L.A., Román F., Guerrero J.A., Chinen M., Vasquez J., Silman M., Fernández L., Ascorra C. & Del Castillo D. 2021. Mercury in soils impactec by alluvial gold minning in the peruvian amazon. *Journal of Environmental Management*, 288(2021): 112364. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112364.

---

<sup>1</sup> Proyecto Iniciativa PROAgua / Asociación Centro de Innovación Científica Amazónica – CINCIA.

<sup>2</sup> Autor de correspondencia: [maganje@wfu.edu](mailto:maganje@wfu.edu) / [jumaroe@gmail.com](mailto:jumaroe@gmail.com). ORCID: 0000-0003-1303-3285.

<sup>3</sup> Universidad de Stanford \ Natural Capital Project. ORCID: 0000-0001-9369-1071.

<sup>4</sup> Anterior, Investigador de la Universidad de Stanford \ Natural Capital Project. Actualmente con Andes Amazon Found. ORCID: 0000-0002-5982-4923.

<sup>5</sup> ORCID: 0009-0006-0323-9502.

<sup>6</sup> ORCID: 0000-0003-3879-1445.

<sup>7</sup> ORCID: 0000-0003-3134-6277.

<sup>8</sup> Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP) / MINAM, Perú. ORCID: 0000-0002-8020-6900.

<sup>9</sup> ORCID: 0009-0003-1860-7898.