Sunass
El regulador del agua potable

2020

GUÍA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE MONITOREO HIDROLÓGICO BÁSICO A ESCALA DE MICROCUENCA

GUÍA PARA DISEÑAR UN SISTEMA DE MONITOREO HIDROLÓGICO BÁSICO A ESCALA DE MICROCUENCA

© Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS)
Calle Bernardo Monteagudo 216, Magdalena del Mar
https://www.sunass.gob.pe/

Se agradece a la cooperación alemana para el desarrollo y la Cooperación Suiza – SECO, implementada por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del proyecto PROAGUA II, el apoyo brindado para la edición y diagramación de este documento.

Apoyo en la revisión técnica por parte de la iniciativa de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos (iMHEA) y al Proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.

Responsables de la Publicación:
Dirección de Ámbito de la Prestación (DAP)

Corrección de estilo y diagramación:
Akut Perú S.A.C

Fotografías:
Archivo fotográfico Sunass

Diseño e Ilustraciones:
Sunass – Fábrica de ideas

Primera edición
Octubre 2020.
Versión digital

PRÓLOGO A LA GUÍA DE MONITOREO:

En las cuencas hidrográficas que tuvimos oportunidad de recorrer, presenciamos, entre otros aspectos, que la dinámica de los flujos de agua (movimiento, volumen y calidad) estaba condicionada por el suelo, por la cobertura vegetal, por la topografía, por el clima y por la actividad humana que en ese espacio se desarrollaba.

La escala de las intervenciones humanas en los ecosistemas y la forma como las personas se relacionan con el medio natural, altera inevitablemente tanto la dinámica como la calidad de los flujos hídricos, así como su aprovechamiento en los diferentes usos. Cuando el uso del agua es inadecuado, se afecta a otros usuarios, pudiéndose generar conflictos que, en muchos casos, pueden evitarse compartiendo información de manera oportuna.

Desde la perspectiva del aprovechamiento de los recursos hídricos por parte de los usuarios poblacionales, es necesario cuantificar y evaluar la medida en que la intervención humana altera la dinámica y la calidad del agua, puesto que todo lo que ocurre en la cuenca de aporte repercute sobre la calidad de los servicios de saneamiento aguas abajo, consecuentemente sobre los costos de su provisión. Al respecto, en tanto se degrada la cuenca de aporte, se incrementa la cantidad de insumos utilizados en la potabilización del agua y aumenta la frecuencia de interrupciones del proceso de producción, en consecuencia, se amplían los costos del servicio.

La SUNASS, como regulador económico de los servicios de saneamiento, promueve los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos (MRSE); de esta forma, induce a los prestadores de los servicios de saneamiento a controlar la cadena de suministro del agua cruda, su principal insumo, con el fin de evitar que se traslade a los usuarios de estos servicios sobrecostos a través de mayores tarifas.

Una herramienta para mejorar la toma de decisiones sobre la gestión de los riesgos asociados al aprovisionamiento de agua cruda por parte de una empresa prestadora de servicios de saneamiento, es el monitoreo hidrológico. Este instrumento permite cuantificar sistemáticamente lo que está ocurriendo en la cuenca de aporte, entender mejor los procesos que permiten la provisión de los servicios ecosistémicos y sustentar técnicamente las propuestas de intervenciones conducentes a la conservación y restauración de los ecosistemas proveedores de agua. El propósito es diseñar y adecuar los sistemas de tratamiento de agua potable y compartir con otros usuarios del recurso hídrico, los costos de la conservación y de restauración de los ecosistemas proveedores de agua. En ese sentido, la guía que presentamos aborda, principalmente, temas elementales para la correcta implementación y operación de sistemas de monitoreo hidrológico.

En el marco de los MRSE, la guía representa una herramienta de apoyo para las Empresas Prestadoras (EP) y otros usuarios afines, para facilitar el proceso de generación de información en el diseño e implementación de los MRSE. De este modo, la guía permitirá entender los procesos hidrológicos que controlan los servicios ecosistémicos (entender nuestro sistema para intervenirlo) y cuantificar el impacto de la implementación de los MRSE (costo efectividad de las intervenciones).

La generación de información permitirá retroalimentar el proceso de implementación de los MRSE, enfocando la toma de decisiones con base en el conocimiento local construido. Como ejemplo, podemos mostrar que el proceso de generación de información le permitirá a la EP SEDACUSCO cuantificar el beneficio obtenido como producto de la implementación de zanjas de infiltración en términos de cantidad de agua; también le permitirá abordar preguntas fundamentales como: ¿es

viable intervenir con zanjas de infiltración para mejorar la regulación hídrica en esta región del país?, ¿otras intervenciones son más costo – efectivas que las zanjas de infiltración en la tarea de mejorar la regulación hídrica en esta región del país?, entre otras. No obstante, la guía de ninguna manera representa un manual de usuario para todas las aristas que encierra esta tarea.

Esta guía es resultado de la sistematización de muchas experiencias de la SUNASS referidas a la instalación de instrumentos de monitoreo hidrológico en las micro cuencas en la que se viene implementando el MRSE, que tuvieron como propósito establecer líneas de base y cuantificar los impactos de las primeras intervenciones que las empresas de agua desarrollaron sobre sus cuencas de aporte. De esta forma, su empleo está respaldado por la propia experiencia y los resultados obtenidos.

Entre las lecciones que nos deja estas experiencias destacamos algunas como: no se debe esperar tener toda la evidencia para iniciar una intervención, no hay forma de controlar todas las respuestas de un ecosistema sino hemos empezado a actuar sobre este, no toda intervención que busca la recuperación de un ecosistema tendrá un efecto positivo sobre este, no todo lo que resulta ser positivo para un sitio será bueno para los demás, la mejor gestión es aquella basada en la evidencia empírica resultado de la experimentación científica y de su periódica corrección y ajuste.

Además, en el contexto de los MRSE, la información generada a escala local, permitirá analizar y comparar el beneficio de la infraestructura natural frente al de la infraestructura gris. Lo cual conlleva a mejorar la priorización de la inversión y muestra a las comunidades asentadas en las fuentes de agua los beneficios del manejo sostenible y equilibrado de los ecosistemas como parte de un proceso en el que todos ganan.

Sin embargo, el proceso de generación de información en el marco de los MRSE requiere de una estrategia mayor que complemente esfuerzos puntuales como el desarrollo de esta guía; estrategia en la que venimos trabajando desde la SUNASS que aspira a unir esfuerzos de diversos actores propios y ajenos al sector saneamiento.

En síntesis, esta guía permitirá al prestador de los servicios de saneamiento medir, actuar y corregir las desviaciones de sus intervenciones con respecto al comportamiento que espera de la dinámica hidrológica. Así como también, contar con la información suficiente para participar de manera activa en la gobernanza de los recursos hídricos en su cuenca de aporte, con el fin de identificar sus riesgos y compartir con los otros usuarios de este recurso, los costos de la conservación y restauración de los ecosistemas que proveen el agua.

Iván Lucich Larrauri
Presidente Ejecutivo de Sunass

Contenido

01

OBJETIVO DE LA GUÍA 07

ABREVIATURAS 07

I. INTRODUCCIÓN A LA GUÍA 09

1.1. PREGUNTAS CLAVE EN EL CONTEXTO DE LOS MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS EN EL SECTOR SANEAMIENTO 09

1.2. EVALUACIÓN DE IMPACTO EN EL MARCO DE LOS MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS EN EL SECTOR SANEAMIENTO 10

1.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS SEH DE INTERÉS 10

1.4. MONITOREO DE LAS VARIABLES DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE INTERÉS 12

02

II. LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO UN SISTEMA DE MONITOREO BÁSICO EN EL MARCO DE LOS MRSEH 13

2.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS OBJETO DEL ANÁLIS 13

2.2. DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS 13

2.3. MICROCUENCAS COMO UA 13

2.3.1. Criterios generales para identificar Microcuencas como UA 14

2.3.2. Criterios específicos para identificar microcuencas como UA 16

2.4. INFORMACIÓN PRELIMINAR: DESCRIPTORES BIOFÍSICOS DE LA UA 17

2.4.1. Cobertura vegetal y uso del suelo 17

2.4.2. Geomorfología 17

2.4.3. Hidrogeología local 18

2.4.4. Suelo 18

2.5. DEFINICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS Y EQUIPOS DE MONITOREO 18

2.5.1. Variables y equipos para el monitoreo del SEH de regulación hídrica 18

2.5.2. Variables y equipos para el monitoreo del SEH de Control de Sedimentos 22

2.6.DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO 23

2.6.1. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de la Precipitación 24

2.6.2. Distribución espacial de los puntos de monitoreo de Caudal, Turbidez y SST 25

2.7. FRECUENCIA DE TOMA Y DESCARGA DE DATOS 25

2.7.1. Frecuencia de toma y descarga de datos de la variable Precipitación 28

2.7.2. Frecuencia de toma y descarga de datos de las variables Caudal, Turbidez y SST 28

2.8. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 28

03

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 30

OBJETIVO DE LA GUÍA:

Servir como herramienta de carácter básico, en la tarea de orientar a las Empresas Prestadoras (EP) a nivel nacional, en el diseño de sistemas de monitoreo para evaluar el impacto de las acciones a implementarse en sus cuencas de aporte, dentro del marco de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos (MRSEH).

ABREVIATURAS:

DHR: Diagnóstico Hídrico Rápido.

EP: Empresa Prestadora.

IMHEA: Iniciativa de Monitoreo Hidrológico de Ecosistemas Andinos.

MRSE: Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos.

MRSEH: Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos.

SE: Servicios Ecosistémicos.

SEH: Servicios Ecosistémicos Hídricos.

SUNASS: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

UA: Unidad de Análisis

01.
Introducción

Cuando el sector público reconoce la importancia de los servicios que prestan los ecosistemas, surgen varias preguntas que, de ser resueltas, darían soporte y escalamiento a las acciones a implementarse con relación a los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos (MRSEH). Las interrogantes propuestas a continuación tienen como objetivo apoyar a la generación de información en el marco de los MRSEH en el sector saneamiento.

1.1. PREGUNTAS CLAVE EN EL CONTEXTO DE LOS MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS EN EL SECTOR SANEAMIENTO.

A continuación, se plantean dos preguntas de interés: (i) una pregunta central que da origen a la necesidad de obtener información y que se relaciona con el impacto que producirán las acciones a ejecutar en el marco de los MRSEH sobre los Servicios Ecosistémicos Hídricos (SEH) que aprovechan las Empresas Prestadoras. (ii) Una pregunta relacionada a la optimización en el proceso de implementación de acciones dentro del marco de los MRSEH.

Pregunta	Importancia para la sostenibilidad de los MRSE
¿Cuál es el impacto que podría tener la implementación de los MRSEH sobre el estado de los SEH en las cuencas de aporte de las EP?	Avanzar en esta cuestión de carácter complejo permitirá dar pie a valorar los SEH y por lo tanto, al esfuerzo de las EP por promover acciones de conservación o restauración en sus cuencas de aporte, con lo cual se sustentará y promoverá, por ejemplo, la réplica de esta iniciativa, a partir del análisis de costo-efectividad
¿Cuál es la mejor manera de implementar los MRSEH de modo que se optimice el beneficio generado sobre los SEH?	El limitado conocimiento que aún se tiene de los procesos que gobiernan los SEH o, planteado de otro modo, acerca de cómo su funcionamiento genera beneficios hídricos a la población, ocasiona que aún se tenga cierto grado de incertidumbre respecto a la mejor manera de favorecer a los servicios que nos brindan. Un claro ejemplo es la implementación de acciones de reforestación con fines hídricos con especies exóticas (eucaliptos, pinos). El desconocimiento de los efectos de esta acción sobre los ecosistemas ocasionó que, por mucho tiempo, no se obtengan los resultados esperados[2].

Tabla 1: Preguntas clave.
Fuente: Elaboración propia.

1.2. EVALUACIÓN DE IMPACTO EN EL MARCO DE LOS MECANISMOS DE RETRIBUCIÓN POR SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS EN EL SECTOR SANEAMIENTO.

El Banco Mundial define a la Evaluación de Impacto como "método cuyo fin es apoyar las políticas públicas basadas en evidencias, centrándose en la causalidad y la atribución" (Gertler et al., 2017). En el contexto de los MRSEH, la evaluación de impacto está representada en la siguiente pregunta específica de causa y efecto: ¿Cuál es el impacto o efecto causal, de la implementación de los MRSEH? De esta manera, la valoración se concentra únicamente en el impacto o cambios directamente atribuibles a las acciones implementadas en el marco de los MRSEH.

EJEMPLO

La pregunta más adecuada para conocer el impacto positivo de una iniciativa de MRSEH en la EP SEDACUSCO sería: ¿cuál será el impacto de las acciones de conservación que viene implementando en su "cuenca de aporte" la EP SEDACUSCO sobre el volumen de agua que se almacena en la Laguna Piuray?

Entonces, la Evaluación de Impacto dependerá de la generación de información rigurosa para una cuantificación adecuada de los servicios.

1.3. DEFINICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LOS SEH DE INTERÉS

La cuantificación de los SEH es considerada el primer desafío en la Evaluación de Impacto de los MRSEH pues, no existe una sola metodología de levantamiento de información; no se han establecido procedimientos para cada particularidad ni existe un consenso en la forma, periodicidad, equipos, variables y demás aspectos relacionados a la medición de dichos servicios (Mcintyre et al; 2014). El enfoque adoptado en el presente documento considera que para evaluar el impacto de los MRSEH es importante definir una serie de variables hidrológicas que, en primer lugar, permitan una representación cuantitativa adecuada de los SEH y, en consecuencia, sean objeto de un monitoreo continuo para generar la información requerida para este fin.

Figura 1:" Descripción de las estapas para definir las variables".
Fuente: Elaboración Propia

El flujograma mostrado en la Figura 1 representa las etapas que implica la definición de variables hidrológicas para representar cuantitativamente un SEH, las mismas que se detallan a continuación:

a. Definir el Servicio Ecosistémico Hídrico de interés. En todo el proceso de evaluación, el análisis se realiza particularmente para cada SEH priorizado.

b. Establecer qué indicador o indicadores hidrológicos constituyen una buena representación cuantitativa del servicio ecosistémico hídrico. Aunque en el presente documento no se trata esta etapa particularmente, es importante notar su importancia en el proceso de cuantificación de los SEH y, por lo tanto, en el diseño de sistemas de monitoreo hidrológico en este contexto. Para profundizar se sugiere revisar Buytaert et al, 2007; Lara et al, 2009; Crespo et al, 2011a; Roa-García et al, 2011; Bremer et al, 2015; Ochoa-Tocachi et al, 2016b y Cárdenas & Tobón, 2017.

c. Finalmente, habiendo establecido indicadores adecuados (b), se podrá definir las variables que deberán ser objeto de monitoreo (cuantificación). El presente documento aborda directamente particularidades sobre el diseño de sistemas para el monitoreo de las variables en cuestión.

Figura 2: Ejemplo de desarrollo de las etapas para definir las variables a monitorear.
Fuente: Elaboración propia

1.4. MONITOREO DE LAS VARIABLES DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS DE INTERÉS

El monitoreo continuo de las variables hidrológicas definidas constituye la base de información para que posteriormente se realice una evaluación de impacto efectiva de los MRSEH. Esto también implica los diferentes métodos (tecnología a utilizar) para la medición de cada variable en particular. Para efectos del presente documento y teniendo en cuenta el enfoque adoptado, las variables hidrológicas sugeridas en apartados posteriores se consideran las mínimas indispensables a ser consideradas en el diseño de un sistema de monitoreo dado un SEH en particular.

El enfoque metodológico adoptado, asume adicionalmente la importancia de cuantificar otra información complementaria. Esta alude a los descriptores biofísicos (ver apartado 2.4) de las cuencas que generan los SEH que aprovechan las EP, siendo los predilectos:

a. Aquellos necesarios para entender el funcionamiento de las cuencas; por ejemplo, el área, la elevación, la pendiente, etc.

b. Aquellos que de alguna manera afectan el estado de los SEH; por ejemplo, el uso y cobertura de suelo, las intervenciones existentes en la cuenca, etc. (Ochoa-Tocachi et al., 2017).

02.
Lineamientos para el diseño un sistema de monitoreo básico en el marco de los MRSEH.

2.1. SERVICIOS ECOSISTÉMICOS HÍDRICOS OBJETO DEL ANÁLISIS

Dado que el interés del proceso de generación de información al que se alude en el presente documento está relacionado, principalmente, a la evaluación del impacto de los MRSEH y, por lo tanto, las preguntas que se abordan van en ese sentido (Apartado 1.1), una de las primeras condiciones prácticas que se debe definir para diseñar un sistema de monitoreo adecuado, es el Servicio Ecosistémico Hídrico que será objeto de la evaluación. Para el desarrollo de los lineamientos generales que son parte del presente documento se ha tomado en cuenta a dos servicios ecosistémicos: la Regulación Hídrica y el Control de Sedimentos.

2.2. DEFINICIÓN DE LA UNIDAD DE ANÁLISIS

La Unidad de Análisis, en adelante UA, se refiere al espacio geográfico que provee el SEH y representa el área delimitada dentro de la cual se extraerá la información para evaluar el impacto de las acciones ejecutadas en el marco de los MRSEH.

2.3. MICROCUENCAS COMO UA

Célleri et al (2012) considera a las microcuencas (< 10 km^2) como una escala práctica, donde se requiere monitoreo y predicción para generar conocimiento que servirá para evaluar el impacto de las intervenciones, analizar y desarrollar soluciones para problemas hídricos, mejorando así la toma de decisiones. Hacer evaluaciones a escala de microcuenca facilita la generación de información para la construcción de conocimiento en el corto plazo, permitiendo realizar un cálculo más certero de los beneficios obtenidos por parte de las Empresas Prestadoras gracias a la implementación de los MRSEH.

2.3.1. CRITERIOS GENERALES PARA IDENTIFICAR MICROCUENCAS COMO UA

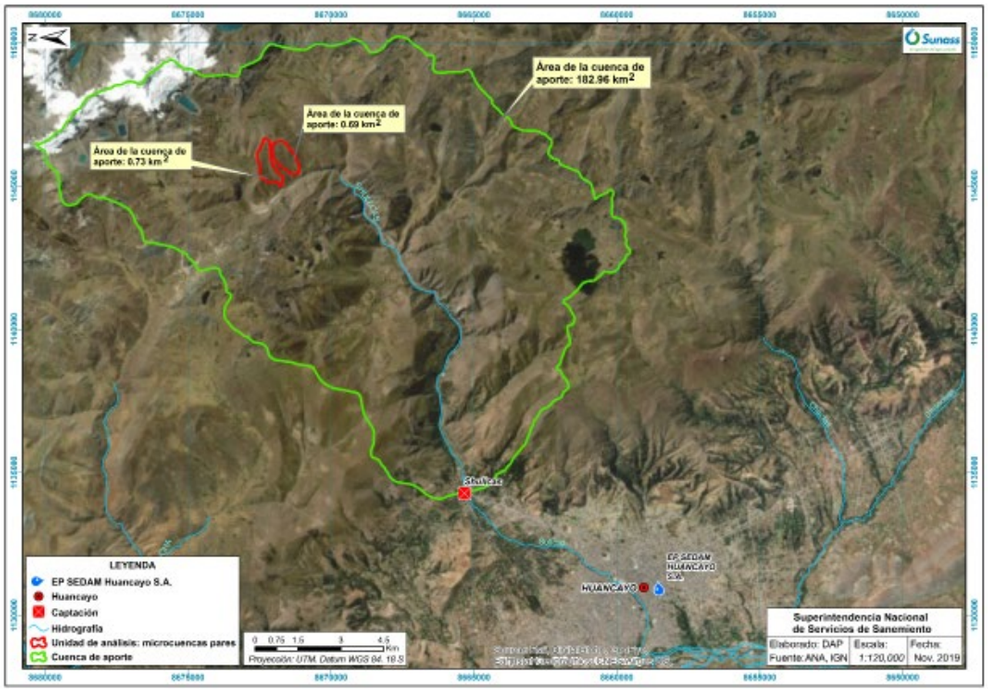

Figura 3: Caso EP SEDAM HUANCAYO S.A.: 2 Microcuencas Paras como Unidades de Análisis.
Fuente: Elaboración propia.

• Las microcuencas que se definan como UA (Polígonos rojos de la Figura previa), estarán dentro de la Cuenca de Aporte de la EP (Polígono verde de la Figura 3); salvo que el área relativa a cada microcuenca seleccionada sea la misma que aquella correspondiente a cada Cuenca de Aporte que posea la EP (Ver figura 4).

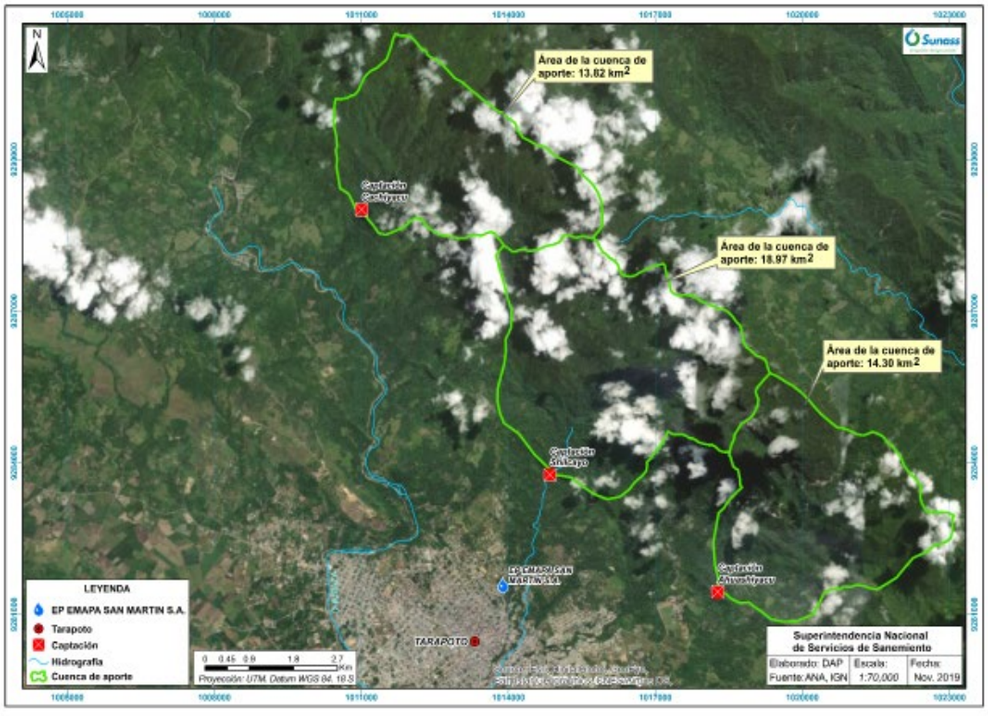

Figura 4: Caso EP EMAPA San Martín: 3 Microcuencas Pares de áreas similares a Cuencas de Aporte, como UA.
Fuente: Elaboración propia.

• Por ejemplo, una buena práctica para definir microcuencas pares es realizar una exploración inicial del territorio por medio de la herramienta **Google Earth**. El amplio abanico de posibilidades que posee actualmente dicha aplicación permite analizar el terreno de forma muy precisa, logrando establecer la similitud entre microcuencas mediante el trabajo desde gabinete.

Considerar que …

- Cada microcuenca es considerada una Unidad de Análisis (Polígonos rojos de la Figura 3 o polígonos verdes de la Figura 4).

- Cada microcuenca elegida para este tipo de evaluación debe poseer, en la medida de lo posible, sin ser excluyente, un solo tipo de cobertura del suelo en al menos el 80% del área.

- El área de las microcuencas debe estar comprendida, aproximadamente, entre 1 y 10 km^2.

- La identificación de microcuencas como UA se realiza principalmente en áreas que serán intervenidas con acciones de conservación y/o restauración en el marco de los MRSEH.

2.3.2. CRITERIOS ESPECÍFICOS PARA IDENTIFICAR MICROCUENCAS COMO UA

a. Identificación de Microcuencas Pares

El Método de Cuencas Pares, conocido también como Cuencas Pareadas o Microcuencas Pares, consiste en la identificación de por lo menos, dos cuencas que comparten características físicas (tamaño, topografía, suelos, etc.) y climáticas lo más similares posibles; donde el uso del suelo será la característica diferenciadora, para separar los efectos producidos por los cambios en el uso del suelo (intervenciones antrópicas), de aquellos causados por la variabilidad natural en el clima y fisiografía.

En la Figura 5 se muestran 2 cuencas pares: una con intervención antrópica y sin vegetación (izquierda); la otra en buen estado de conservación (derecha). El hidrograma de la misma figura (zona derecha) detalla la respuesta del caudal de ambas cuencas pares tras la ocurrencia de las lluvias.

Cabe precisar que el término "pares" alude al hecho de realizar comparaciones entre microcuencas, más no se refiere a que tengan que ser dos, únicamente.

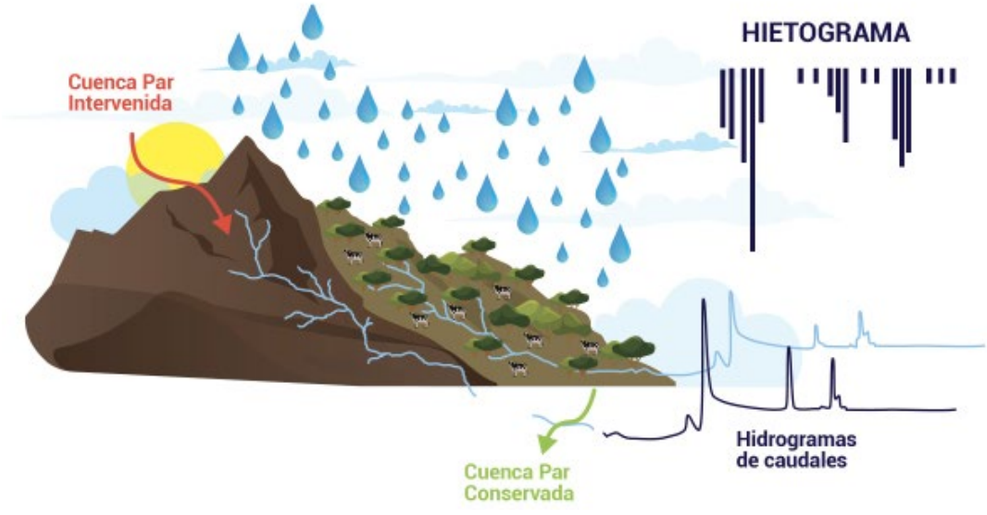

Figura 5: Esquema de Cuencas Pares (Izq. Cuenca intervenida; Der. Cuenca bajo manejo).
Fuente: Adaptado de Bert Bievre en Taller de MRSE en la ciudad de Abancay (2018).

Finalmente, una vez definidas las microcuencas y luego de haber sido corroboradas en una visita de campo, deberán ser monitoreadas por un tiempo definido. El objetivo en esta fase es generar una línea base que permita describir y evaluar el grado de impacto hidrológico de dicha intervención (Ochoa-Tocachi et al., 2018).

b. Identificación de microcuencas individuales

Se identificarán microcuencas individuales cuando no sea factible establecer el diseño de cuencas pares. Por este motivo, la alternativa será identificar microcuencas individuales con áreas menores a 10 km^2 (Ver Sucozhañay et al.; 2018) procurando que estas se encuentren en áreas priorizadas para la intervención con MRSEH.

2.4. INFORMACIÓN PRELIMINAR: DESCRIPTORES BIOFÍSICOS DE LA UA.

La información que se sugiere a continuación, si bien no representa las variables que miden de manera directa a los SEH, son de importancia pues tienen influencia en su producción. Se sugiere levantar esta información en la UA, como paso previo al proceso de monitoreo, contando con el mayor detalle espacial posible. En cuanto a los descriptores de interés, los siguientes aspectos son de importancia:

2.4.1. COBERTURA VEGETAL Y USO DEL SUELO

Los descriptores con relación a la cobertura vegetal y uso de suelo dentro de la UA tienen una gran relevancia sobre los procesos que determinan el estado de los SEH; de aquí el interés en su registro. A continuación, se presenta una serie de sugerencias generales para mapear y caracterizar el área de la UA:

a. Realizar una clasificación del tipo de cobertura vegetal presente en la UA. Para la tipología, se puede tomar como referencia el mapa nacional de cobertura vegetal (MINAM, 2015).

b. Realizar una identificación de zonas sin cobertura vegetal.

c. Realizar una identificación de cuerpos de agua como ríos, quebradas, lagunas, etc.

d. Realizar una clasificación básica de los usos del suelo presentes en la UA. Se debe considerar las diferentes actividades productivas realizadas en el área de interés como, por ejemplo, agricultura, pastoreo, etc.; así como otros usos como el de construcciones.

2.4.2. GEOMORFOLOGÍA

Se refieren a las características netamente físicas de la UA. Entre las principales sugeridas, se tiene: Delimitación de la Divisoria de Cuencas (Parteaguas); Área y perímetro de la UA; Forma de la UA (coeficiente de compacidad; factor de forma); Longitud de los Canales (Tributarios) y del Río Principal; Densidad de la red de drenaje (orden de los cauces; razón de bifurcación); Orientación de la Cuenca; Extensión media de escurrimiento superficial; Declividad de los cauces (pendiente media del cauce principal); Declividad del terreno y Elevación o Rango Altitudinal (altitud mínima; máxima y media).

2.4.3. HIDROGEOLOGÍA LOCAL

Caracterizar la hidrogeología permite entender procesos importantes en el medio subterráneo, de gran interés para el estudio de los SEH. En el país, el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del Perú (INGEMMET), ha levantado información hidrogeológica a escala nacional.

Sin embargo, sería pertinente un mayor detalle de la situación local que posibilite la caracterización de descriptores como: permeabilidad; porosidad; fisuración y, composición química de las rocas que conforman los acuíferos y/o fuentes de agua de interés. Un ejemplo del uso de información hidrogeológica y su influencia en la capacidad de regulación hídrica en cuencas, puede ser revisado en Carlier et al (2018).

2.4.4. SUELO

El suelo es un componente relevante para caracterizar la UA pues este es el responsable de muchos procesos hidrológicos (Célleri et al., 2012). Por esto, es importante reconocer descriptores referidos a los tipos de suelos presentes en la cuenca (mapa de suelos); las propiedades físicas del suelo (densidad, textura, etc.); la profundidad del suelo (mapa de profundidad); las propiedades de retención de agua en el suelo (curvas pF); la cantidad de materia orgánica, entre otros. Una investigación de este tipo se puede revisar en Buytaert et al (2006a). Según Tobón et al (s.f.), los descriptores de los suelos más importantes a ser estudiados con relación a los análisis hidrológicos son: Textura; Densidad Aparente; Porosidad; Curvas pF; Permeabilidad; Conductividad Hidráulica y Contenido de Materia Orgánica.

2.5. DEFINICIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS Y EQUIPOS DE MONITOREO

Luego de identificar las microcuencas, se deberá definir las variables que serán objeto de monitoreo para evaluar el impacto de los MRSEH sobre los SEH, lo cual permitirá identificar los beneficios para la Empresa Prestadora. Se entiende por variables a todas aquellas características de un lugar que se encuentran sujetas a cambios a lo largo del tiempo. En ese sentido, su elección dependerá del SEH que esté siendo evaluado (Apartado 1.3). Es preciso recalcar que las variables hidrológicas que se sugieren a continuación son consideradas indispensables en el diseño de sistemas de monitoreo, con lo cual, se debe tomar en cuenta la posibilidad de incorporar otras complementarias.

2.5.1. VARIABLES Y EQUIPOS PARA EL MONITOREO DEL SEH DE REGULACIÓN HÍDRICA.

a. Variables hidrológicas

En el caso del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica, se han priorizado dos (02) variables, las cuales se encuentran a continuación en la Tabla 2.

Variable	Definición	Unidad Sugerida
Precipitación	Entrada de agua a la cuenca (sea en estado líquido o sólido), la cual estará sujeta a estimación. Según el glosario internacional en hidrología, publicado por OMM (2012), la precipitación representa aquellos elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo, representando la cantidad de precipitación caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo.	milímetros (mm)
Caudal	Es la cantidad de agua que lleva una corriente o que fluye de un manantial o fuente de agua. También se le considera como el volumen de agua que fluye por la sección transversal de un río (o canal) por unidad de tiempo. Esta información se registra a la salida de la UA	litros por segundo (l/s)

Tabla 2: Variables Indispensables del SEH de Regulación Hídrica.
Fuente: Elaboración propia.

b. Equipos sugeridos

La información de las variables sugeridas deberá ser registrada de forma continua y frecuente. Por ello, los equipos a utilizar tendrán que ser de tipo automático, pudiéndose dejar instalados en campo.

A continuación, se plantea una serie de lineamientos elementales para la elección de los equipos a utilizar en el monitoreo de las variables desde el enfoque adoptado.

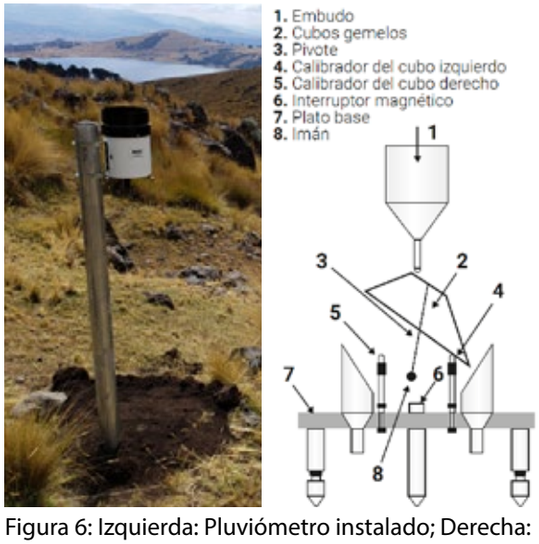

Figura 6: Izquierda: Pluviómetro instalado; Derecha: Sistema Basculante.
Fuente: (León et al., 2013).

• "Monitoreo de la variable precipitación"

Para el monitoreo de esta variable se debe considerar equipos automáticos electrónicos que sean capaces de almacenar información. Específicamente aquellos conocidos como pluviómetros que contienen una memoria denominada **datalogger**. De esta manera, dicha información podrá ser posteriormente descargada por el usuario, según la frecuencia de descarga que se establezca previamente (ver Figura 6).

Debido a una posible avería del equipo electrónico, se recomienda complementar la medición de la precipitación con un "pluviómetro totalizador" (equipo manual, sin capacidad de registro automático). Este posee como única función: acumular agua durante un periodo de tiempo.

Figura 7: Ejemplo de vertedero combinado.
Fuente: Elaboración propia.

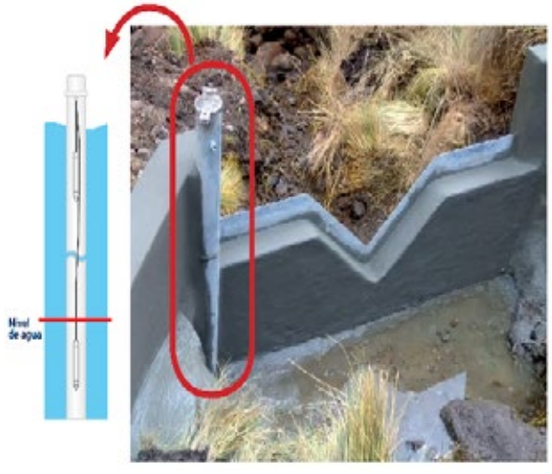

Figura 8: Posicionamiento del Sensor de Nivel de Agua.
Fuente: Elaboración propia.

• Monitoreo de la variable caudal

En el caso de microcuencas (área menor a 10 km^2) la configuración recomendada para monitorear el caudal incluye la construcción de un vertedero a la salida de la UA (en el caso de fuentes superficiales como ríos o quebradas), e instalar un sensor de nivel de agua. Esta configuración permite registrar el caudal de forma adecuada, sin depender de un operador. En cuanto al vertedero, se trata de una sección transversal fijada en el cuerpo de agua. La forma de esta sección deberá ser combinada, es decir, rectangular y triangular (ver Figura 7), de modo que sea posible capturar caudales mínimos durante la época de estiaje (sección triangular) y caudales máximos en avenidas (sección rectangular). La dimensión de la estructura para fijar la sección transversal dependerá de las características del punto elegido para monitorear el cuerpo de agua.

Para complementar la medición del caudal, se deberá utilizar un "transductor de presión" (Sensor de Nivel de Agua) que considere la compensación de la presión atmosférica y la influencia de la temperatura en la precisión de los datos capturados. El uso de este dispositivo automático permite generar información confiable y fácil de descargar. También es una opción para cuantificar el caudal en manantes (tipo de fuente subterránea), en cuyo caso, se deberá adaptar una estructura diferente, según las condiciones del terreno.

Tal como se muestra en la Figura 8, al lado izquierdo, se muestra la manera más usual y recomendable de posicionar el sensor de nivel al momento de trabajar en conjunto con un vertedero. El sensor es introducido en un tubo metálico (lado izquierdo de la imagen), que va adherido y a uno de los lados del vertedero. El objetivo de este recubrimiento es protegerlo de cualquier eventualidad y, permitir que la base de este equipo se mantenga estable, procurando estar al mismo nivel que el vértice inferior de la placa metálica.

Figura 9: Sensor Radárico en río de gran envergadura.
Fuente: https://www.caipos.com/products/sensors/water-level-sensor/

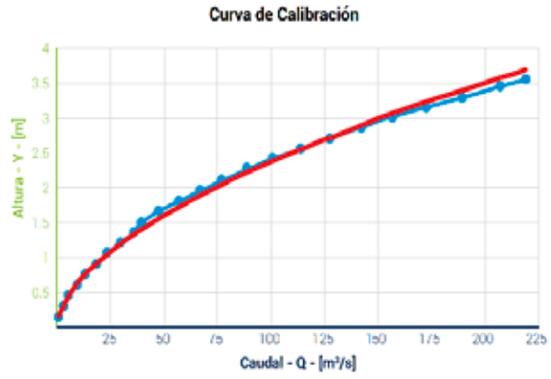

Figura 10: Curva de calibración de caudales.
Fuente: Elaboración propia

Figura 11:: Método de aforo volumétrico con vertedero triangular.
Fuente: Castañeda, (2015)

En casos particulares, como en ríos de gran envergadura, como lo son varios de los ríos amazónicos, se deberán utilizar métodos que incluyan el desarrollo de la "curva de calibración de caudales" para la sección transversal del cauce (particular de cada escenario) y, utilizar sensores que no estén en contacto con el agua, como equipos ultrasónicos o radáricos (ver Figura 9).

La utilidad de la curva de calibración es que permite estimar caudales indirectamente a partir del monitoreo de la altura del agua. Para generar la curva de calibración de caudales en un cauce de gran amplitud el primer paso es realizar aforos periódicos por un periodo de tiempo tal, que permita incluir estadios en los que se presenten los caudales mínimos y máximos de dicho punto del cauce. De esta manera, se asegura un correcto ajuste de la curva de calibración respecto al comportamiento de dicho cauce, formando así una relación entre el nivel o altura del agua y el caudal en un punto específico. Es decir, esta curva permite conocer el caudal por medio del registro del nivel del agua dado en los momentos de aforos (ver Figura 10).

Un aforo es la realización de una medida manual y puntual del caudal en un punto y hora específica por parte del operador, obteniendo así datos de caudal en dicho momento específico, conocido como "Caudal Instantáneo". Realizar aforos periódicos es importante para controlar la calidad de los datos medidos por el equipo previamente establecido para su medición continua, así como para validar y/o construir la curva de calibración de caudales mencionada anteriormente.

Para su ejecución, se debe buscar una sección uniforme y recta del cauce con una pendiente constante a lo largo del curso, evitando realizarlo en secciones curvas, con remolinos, con presencia de aguas muertas o con altas velocidades, o en zonas fangosas o con vegetación. Los métodos de aforo más comunes son: método volumétrico con vertedero; el método químico o de dilución (trazadores radioactivos); con molinete; con flotador; entre otros.

La Figura 11 representa el método de aforo volumétrico utilizando un contenedor (cilindro) de volumen conocido, un vertedero y un cronómetro. Este, consiste en tomar el tiempo que tarda en llenarse el contenedor de volumen conocido en un tiempo determinado. De esta manera, para obtener el caudal (l/s) solo hay que dividir el volumen del recipiente entre el tiempo que tardó en llenarse este.

2.5.2. VARIABLES Y EQUIPOS PARA EL MONITOREO DEL SEH DE CONTROL DE SEDIMENTOS.

a. Variables

Para este SEH, también son variables Indispensables tanto la Precipitación como el Caudal, teniendo en cuenta los lineamientos presentados anteriormente. Asimismo, la Turbidez y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), son aquellas otras Variables Indispensables (propias, necesarias y prioritarias), susceptibles al proceso de monitoreo para poder evaluar de forma básica el impacto de los MRSE sobre este SEH.

La Turbidez o Turbiedad, alude al grado de transparencia que pierde el agua por la presencia de partículas en suspensión. Cuanto mayor sea la cantidad de sedimentos en el agua, será más turbia. Esta variable es priorizada porque las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento la consideran como parte de la información que registran en el proceso de potabilización del agua cruda y su monitoreo es sencillo.

Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) hacen referencia al material particulado que se mantiene en suspensión en las corrientes de agua superficial o residual. Esta variable suele ser asociada a la Turbidez, ya que el grado de transparencia que pierde el agua es una consecuencia de la cantidad de sólidos en suspensión.

b. Equipos sugeridos

Al igual que el SEH de Regulación Hídrica, las variables sugeridas con anterioridad deberán ser monitoreadas de forma continua y a una frecuencia relativamente alta. También se busca la implementación de equipos de tipo automáticos (independientes de operador); con capacidad de memoria o compatibles con memorias externas; adaptable a diferentes frecuencias de toma de data y, resistencia a climas extremos.

- Monitoreo de la variable Turbidez

  Para el monitoreo de esta variable, se sugiere instalar un sensor de turbidez automático con memoria interna o, compatible con una memoria externa, para el registro continuo de la data. La

unidad de medida más usual para el monitoreo de esta variable son las Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU, por sus siglas en inglés).

En la figura 12, se observan detalles de la instalación de un sensor para medir continuamente turbiedad en un río amazónico, una de las cuencas de aporte de EMAPA San Martín.

Figura 12: A la izquierda, la estructura utilizada para sostener y proteger el sensor que está sumergido para efectuar las mediciones. A la derecha, se muestra cómo se ha instalado el datalogger externo que permite registrar la información del sensor.
Fuente: Elaboración propia

• Monitoreo de la variable Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La unidad de medida más usada para la recopilación de datos de esta variable son los miligramos por litro (mg/l). Las mediciones, que representan una acción complementaria al monitoreo continuo de la Turbiedad, deberán realizarse a partir de una toma de muestras de agua en la captación de la cuenca de aporte definida. Se recomienda que estas sean de 500 ml aproximadamente, mismas que serán llevadas a laboratorio para poder determinar el contenido de SST. Se sugiere desarrollar la toma de muestras a la salida de cada Unidad de Análisis, con una frecuencia diaria y por un periodo tal, que permita caracterizar un rango amplio del contenido de sedimentos en el agua.

2.6. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO

Existe una relación interdependiente entre el tamaño del área de estudio y la distribución espacial de los puntos de monitoreo. A continuación, se presentan sugerencias con relación a la ubicación de los puntos de monitoreo dentro de la extensión territorial de la UA que corresponda.

2.6.1. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE LA PRECIPITACIÓN

Respecto a los puntos de monitoreo para cuantificar la precipitación, estos dependerán de las dimensiones de la UA y de su variabilidad en el espacio, la cual se da en cortas distancias y/o pequeñas áreas, básicamente por efecto de la fuerte gradiente altitudinal; topografía accidentada con pendientes pronunciadas y, las áreas de barlovento y sotavento (adaptado de Buytaert et al., 2006b y Célleri et al., 2007).

Considerar lo siguiente …

•El número de puntos de monitoreo para unidades de análisis de entre 1 y 10 km^2 (tipo microcuencas), deberán de ser entre 2 y 4, seleccionando el número exacto según las particularidades de cada caso. De esta manera, si uno de los pluviógrafos dejará de registrar datos por cualquier razón, se asegura la permanencia en el registro.

•En cuanto a su ubicación, se debe buscar cubrir el rango altitudinal y espacial de la UA para así, no perder representatividad. Por ejemplo, para cubrir el rango altitudinal en microcuencas pares, podrían seleccionarse y distribuirse dos puntos de monitoreo por cada una de ellas, uno en la parte más baja y otro en la parte más alta. (Ver puntos verdes de la Figura 13).

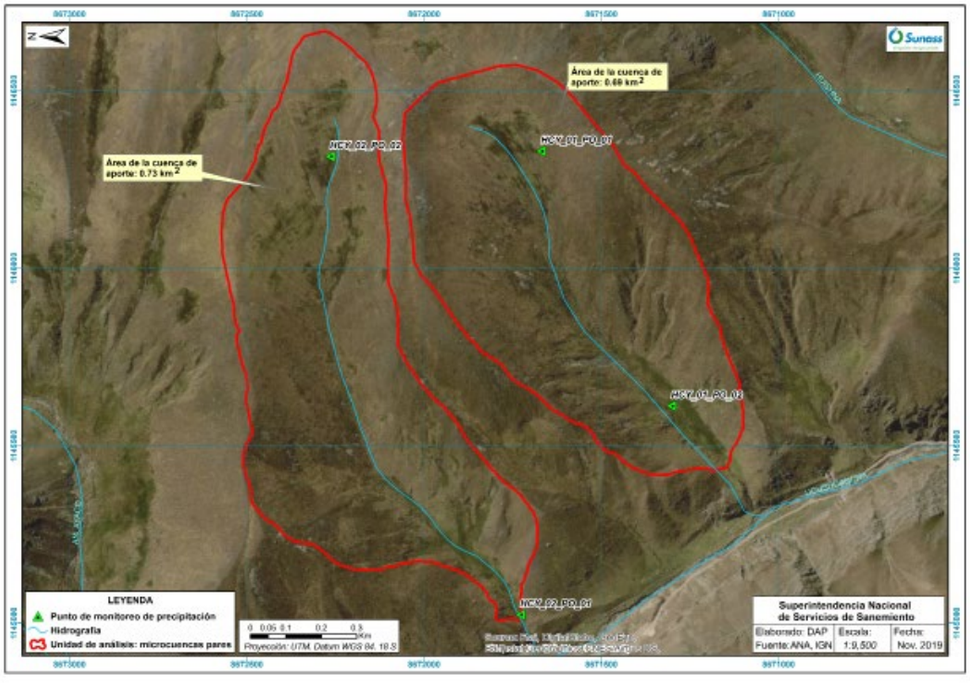

Figura 13 Puntos de monitoreo de la precipitación en 2 Microcuencas Pares como Unidades de Análisis.
Fuente: Elaboración propia.

2.6.2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS PUNTOS DE MONITOREO DE CAUDAL, TURBIDEZ Y SST.

En el caso de las variables Caudal, Turbidez y SST, el punto de monitoreo se ubicará a la salida de la UA (ver Figura 14).

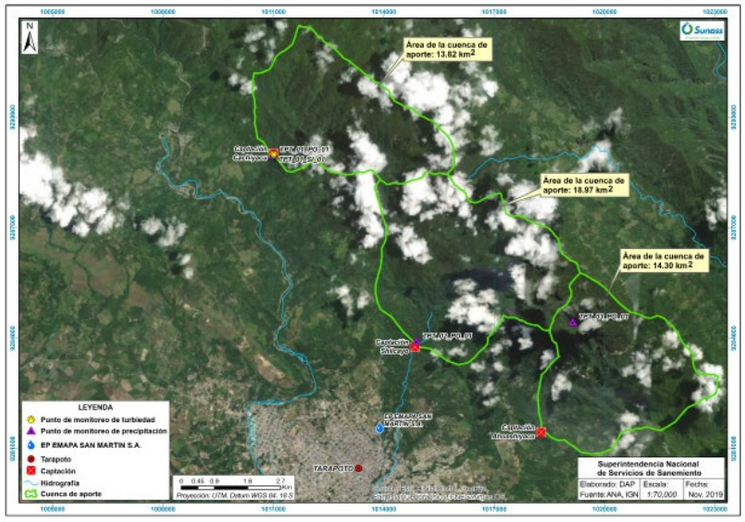

Figura 14 Distribución espacial de los puntos de monitoreo de las variables Turbidez y SST: Salida de cada Unidad de Análisis. Fuente: Elaboración propia.

2.7. FRECUENCIA DE TOMA Y DESCARGA DE DATOS

Las variables que se han establecido deberán monitorearse de manera continua, con frecuencias cortas en la toma de datos. Este formato, se adopta debido a: i) la alta variabilidad temporal de las variables de interés en áreas pequeñas y ii) la necesidad de conseguir una alta fiabilidad en la información que se genere.

En la Figura 15, se puede apreciar la alta variabilidad en la apreciación de los registros de Turbidez de un mismo equipo electrónico ubicado en una microcuenca amazónica, cuando estos son analizados bajo distintas frecuencias de tiempo: por ejemplo, comparando datos tomados cada 5 minutos, con datos tomados cada 3 horas, dentro de un periodo de 24 horas.

Si bien el comportamiento de la turbidez (línea de tendencia de ambas gráficas de la Figura 15), dentro de dicho periodo de tiempo (24 horas), para ambas frecuencias de registro (cada 3 horas y cada 5 minutos) es similar, se aprecia que cuando no se opta por trabajar bajo altas frecuencias de registro (5 minutos) los resultados no son representativos, pudiendo originar errores de interpretación durante el análisis.

Para evaluar el impacto de distintas acciones y/o mecanismos, se busca una frecuencia de toma de datos relativamente alta, teniendo presente las características del enfoque práctico propuesto para valorar los SEH en las cuencas de interés de las Empresas Prestadoras, tales como: (i) La necesidad de información en el corto plazo; (ii) la escala de tipo local; (iii) el monitoreo continuo y (iv) el uso de equipos automáticos.

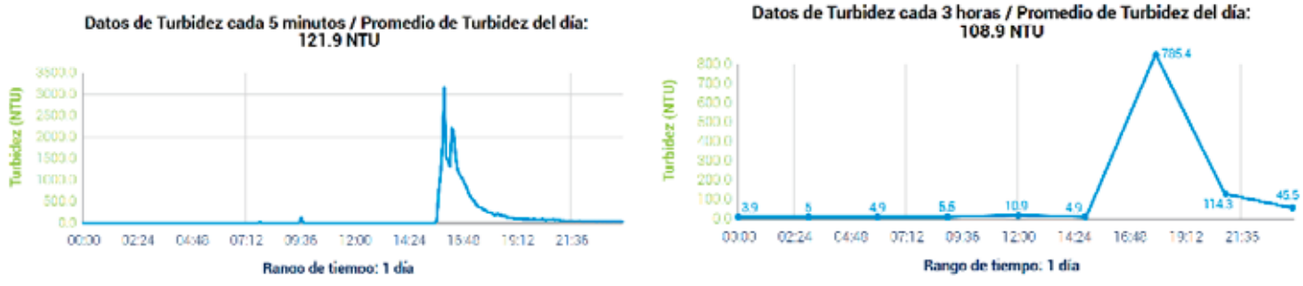

Figura 15 Ejemplo de recojo de datos de Turbidez.
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 16 se muestra un formato de bitácora, hoja de trabajo que deberá ser llenada durante cada visita al punto de monitoreo para la descarga de información, registrando información general sobre las condiciones en las que se lleva a cabo la actividad.

ESTACIÓN HIDROMÉTRICA	
Información general	
Sitio	
Código del punto de monitoreo	
Altitud del punto de monitoreo (m.s.n.m)	
Responsable	
Fecha	
Hora lectura del equipo (parado)	
Hora de reinicio del equipo	
Tiempo (soleado, nublado, lluvioso, etc.)	
Equipo 1 (marca/modelo del sensor de nivel/código)	
Coordenadas del punto de monitoreo (UTM)	
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	
Antes de lectura del equipo	**Después de reinicio del equipo**
Sedimentación sobre el sensor de nivel	Sí/No
Condiciones de la estructura (vertedero)	
Otras observaciones en campo (presencia antrópica, ganado, etc.)	
ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA	
Sitio	
Código del punto de monitoreo	
Altitud del punto de monitoreo (m.s.n.m)	
Responsable	
Fecha	
Hora lectura del equipo (parado)	
Hora de reinicio del equipo	
Tiempo (soleado, nublado, lluvioso, etc.)	
Equipo (marca/modelo/código)	
Coordenadas del punto de monitoreo (UTM)	
Observaciones	
Cambio de pilas	Sí/No
Cambio de desecantes	Sí/No
Nivel de pilas del equipo (%)	
Limpieza del balancín	Sí/No
Condiciones del equipo y otras observaciones en campo	

Figura 16 Bitácora para el proceso de descarga de información
Fuente: Elaboración propia.

2.7.1. FRECUENCIA DE TOMA Y DESCARGA DE DATOS DE LA VARIABLE PRECIPITACIÓN.

Se recomiendan equipos electrónicos que funcionan a partir de un sistema de cubeta basculante, que permite que la toma de datos no se lleve a cabo por medio de un intervalo de tiempo programado por el operador (Ej. cada 5 minutos), sino más bien "por evento". Es decir, si el equipo cuenta con una resolución de 0,2 mm, esto quiere decir que cada 0,2 mm de precipitación acumulada en el sistema basculante se realizará un registro (toma de dato).

Asimismo, se recomienda descargar la información preferentemente como mínimo en periodos mensuales o de ser posible en periodos más cortos. Considerando que todo equipo electrónico está condicionado por:

- Posibles desperfectos por factores ambientales o de otra naturaleza (obstrucción por suciedad, bolsas desecantes inoperativas, etc.), necesitando mantenimiento periódico.
- Dispone de batería interna, que debe ser monitoreada constantemente, estando sujeto a menor durabilidad mientras mayor sea la frecuencia de registro como en época de lluvias.
- Es probable que pueda ocurrir un infortunio, como realizarse una incorrecta descarga por parte del operador o equivocarse al momento de reiniciar el equipo luego de una descarga, perdiendo así un máximo de datos equivalente a un mes.
- Prevenir que los sitios remotos en los que usualmente se instalan estos equipos, corren cierto grado de peligro frente a actos vandálicos.

2.7.2. FRECUENCIA DE TOMA Y DESCARGA DE DATOS DE LAS VARIABLES CAUDAL, TURBIDEZ Y SST

La frecuencia para recoger la data de cualquiera de estas tres variables depende de lo siguiente: (i) la determinación fiable de las fluctuaciones periódicas;(ii) la estimación del valor medio representativo y; (iii) del estudio de las tendencias.

Para cuencas de entre 1 y 10 km^2, la frecuencia de toma de datos debe de ser cada 5 minutos a un máximo de 30 min (Llambí et al., 2012). Con respecto al intervalo de tiempo para la descarga de datos, este será similar al propuesto en la sección previa, para cualquiera de las tres variables tratadas aquí.

2.8. ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

La información de interés se obtendrá a partir de equipos electrónicos, con lo cual, los datos podrán ser recuperados en algún archivo de formato digital bajo alguna extensión definida por el fabricante. Estos archivos deberán ser exportados a otro formato compatible con softwares de hojas de cálculo para poder manipular la información. Por lo tanto, por cada variable monitoreada en cada punto se obtendrán dos archivos en cada descarga, uno original y otro en formato hoja de datos. Los datos serán administrados de forma organizada para contar con información continua (sin vacíos). Algunas sugerencias para el almacenamiento son:

2.8.1. CARPETAS DE SITIO

Se debe generar una carpeta de archivos para almacenar la información que se va a generar durante el tiempo de monitoreo. La carpeta será nombrada de la siguiente manera: identificador para Empresa Prestadora – identificador para el sitio. Por ejemplo: EMAPA_TPT; donde el identificador de la Empresa Prestadora deberá ser una palabra y el del sitio, tres letras que representen al nombre común de la zona (en el caso del ejemplo, Tarapoto).

2.8.2. CARPETA DE UNIDAD DE ANÁLISIS (UA)

Dentro de la "carpeta de sitio", se debe organizar la información que se vaya generando a medida que transcurre el tiempo de monitoreo. El siguiente nivel de la organización de la información tiene que ver con las unidades de análisis. Entonces, se deberán generan tantas carpetas como UA se hayan definido para el monitoreo. El nombre de estas carpetas se representará con el identificador para el sitio más la numeración que representará a cada Unidad de Análisis. Así, por ejemplo: TPT_01 (para la primera UA); TPT_02 (para la segunda UA); etc.

2.8.3. CARPETAS DE VARIABLE

Dentro de la carpeta para cada Unidad de Análisis, se crearán otras carpetas que representen la información por cada variable que se esté midiendo en cada sistema de monitoreo dispuesto. Se nombrarán de la siguiente manera: (i) "Estaciones pluviométricas" para la información de lluvia y; (ii) "Estaciones hidrométricas" para la información de caudal; etc. Dentro de estas carpetas, se crearán a su vez, subcarpetas para cada equipo instalado en campo destinado a medir una variable en particular. Es decir, una carpeta para cada equipo que mida lluvia, una para cada equipo que estime el caudal, etc. El nombre de cada una de estas carpetas representará al equipo instalado y se definirá de la siguiente manera:

<identificador sitio>_<N° UA>_<identificador variable>_<N° equipo >

Para definir el identificador de la variable se utilizará dos letras, de modo que la primera indicará el tipo de variable (se sugiere "P" para precipitación y "H" para caudal), mientras que la segunda indicará la marca del equipo utilizado (ver ejemplos en Ochoa – Tocachi et al., 2018).

2.8.4. CARPETA DE ARCHIVOS

Dentro de la carpeta generada para cada equipo instalado, se generarán dos subcarpetas: (i) una para los archivos originales extraídos directamente de los equipos instalados y; (ii) otra para los archivos exportados en formato compatible con softwares de hoja de cálculo. Finalmente, para nombrar a los archivos que estarán dentro de cada una de estas carpetas se hará lo siguiente:

<identificador sitio>_<N° UA>_<identificador variable>_<N° equipo>_D_<fecha de descarga>

La primera parte tiene que ver con el nombre definido para cada equipo, se le ha adicionado la letra "D" de descarga y la fecha, misma que deberá tener el formato AAAA-MM-DD.

03. Referencias Bibliográficas

Buytaert, W; Iñiguez, V; Célleri, R; De Biévre, B; Wyseure, G; Deckers, J. 2006b. Analysis of the water balance of small páramo catchments in south Ecuador. Environmental role of wetlands in headwaters, 271-281 p.

Buytaert, W; Célleri, R; Willems, P; De Biévre, B; Wyseure, G. 2006a. Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes. Journal of Hydrology.

Buytaert, W; Iñiguez, V; De Bievre, B. 2007. The effects of afforestation and cultivation on water yield in the Andean páramo. Forest Ecology and Management. FORECO-10499; No pages 9.

Buytaert et al, 2007; Lara et al, 2009; Crespo et al, 2011a; Roa-García et al, 2011; Bremer et al, 2015.

Carlier, C., Wirth, S. B., Cochand, F., Hunkeler, D., & Brunner, P. (2018). Geology controls streamflow dynamics. Journal of Hydrology, 566, 756-769.

Célleri, R; De Biévre, B; Ochoa, B. 2012. Guía metodológica para el monitoreo hidrológico de ecosistemas andinos – Iniciativa MHEA. 17p.

Gertler, PJ; Martínez, S; Premand, P; Rawlings, LB; Vermeersch, CMJ. 2017. La evaluación de impacto en la práctica: Segunda Edición. 405 p. 03.

León, AJ; Hernández, A; Garrido, M; Andalía, AI. 2013. Captación de lluvias con pluviógrafos de cubeta y su post procesamiento. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, Vol XXXIV, N°2, 73-87p.

Llambí, LD; Soto, A; Célleri, R; De Bievre, B; Ochoa, B; Borja, P. 2012. Ecología, Hiodrología y Suelos de Páramos. Proyecto Páramo Andino. ResearchGate. 281 p.

MINAM. 2015. Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva.

Ochoa-Tocachi et al, 2016b y Cárdenas & Tobón, 2017.

OMM-Organización Meteorológica Mundial (2012). International Glossary of Hydrology (OMM-N° 385). Ginebra 2, Su. 469 p.

Tobón, C.; Bruijnzeel, L.; Frumau, K. (s.f.). Changes in soil physical properties after conversion of tropical montane cloud forest to pasture in northern Costa Rica. 14 p.

Con el apoyo de:

Implementada por

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Departamento Federal de Economía,
Formación e Investigación DEFI
Secretaría de Estado para Asuntos Económicos SECC