

Lineamientos técnicos orientados a la generación y uso de la información hidrológica en la gestión territorial



Nota técnica N° 01-2024/SENAMHI/DHI

Dirección de Hidrología

Septiembre 2024



PERÚ

Ministerio del Ambiente



BICENTENARIO PERÚ 2024



— ENANDES —

LINEAMIENTOS TÉCNICOS

orientados a la generación y uso
de la información hidrológica en
la gestión territorial

2024



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



— ENANDES —

LINEAMIENTOS TÉCNICOS ORIENTADOS A LA GENERACIÓN Y USO DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA EN LA GESTIÓN TERRITORIAL

MINISTRO DEL AMBIENTE

Juan Castro Vargas

PRESIDENTE EJECUTIVO DEL SENAMHI

Gabriela Teófila Rosas Benancio

DIRECTOR DE HIDROLOGIA

Oscar Gustavo Felipe Obando

EQUIPO TECNICO RESPONSABLE

Evelin Sabino Rojas

Waldo Lavado Casimiro

Oscar Gustavo Felipe Obando

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Cristian Montesinos Cáceres

Primera edición: septiembre de 2024

Depósito Legal N° 2024-08878

Nota técnica disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12542/3619>

© Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Jr. Cahuide N°785, Jesús María, Lima – Perú.

Teléfono: (01) 614-1414

www.gob.pe/senamhi

Publicación realizada por el Proyecto de “Mejora de la capacidad adaptativa de las comunidades andinas a través de los servicios climáticos” (ENANDES), que busca fortalecer la capacidad de la sociedad y las comunidades de Chile, Colombia y Perú para adaptarse a la variabilidad y el cambio climático. Esta intervención del 2021 al 2025, está financiada por el Fondo de Adaptación e implementada por la OMM en asociación con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú – SENAMHI, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM, la Dirección Meteorológica de Chile – DMC y el Centro Internacional de Investigación del Fenómeno de El Niño – CIIFEN.

Referencia sugerida:

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (setiembre, 2024). *Lineamientos técnicos orientados a la generación y uso de la información hidrológica en la gestión territorial* (Nota Técnica N°01).

<https://hdl.handle.net/20.500.12542/3619>

Todos los derechos reservados

Prohibida la reproducción de este documento por cualquier medio, total o parcialmente sin permiso expreso.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 General.....	2
2.2 Específicos.....	2
III. ALCANCE.....	2
IV. MARCO NORMATIVO.....	2
V. CONCEPTOS CLAVES	4
5.1 Información hidrometeorológica.....	4
5.2 Servicio Climático.....	9
5.3 Ordenamiento territorial.....	9
5.4 Gestión territorial.....	10
VI. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA	10
6.1 Criterios técnicos generales.....	10
6.2 Herramientas tecnológicas.....	12
6.3 Estudio hidrológico.....	12
VII. REFERENCIAS:.....	16
VIII. ANEXOS	22
8.1 Modelos Hidrológicos	22
8.2 Documentación oficial de la información hidrológica disponible para gobiernos subnacionales.....	44
8.3 Enlaces de acceso a la información hidrológica	45
8.4 Estructura de la información hidrológica digital.....	47
8.5 Ficha de metadatos de la base de datos espacial	48
8.6 Propuesta de índice del estudio hidrológico	49
8.7 Términos de referencia para la generación de información hidrológica.....	51
8.8 Proyecto de Oficio para la solicitud de datos hidrometeorológicos	52
8.9 Proyecto de Oficio para la solicitud de asistencia técnica	53
8.10 Ejemplo de Nomenclatura de los títulos para los mapas	54

PRESENTACIÓN

Este documento es parte del Proyecto "Mejora de la capacidad de adaptación de las comunidades andinas a través de Servicios Climáticos (ENANDES)", una iniciativa del SENAMHI con sus socios nacionales. Su objetivo principal es fortalecer la capacidad de la sociedad y las comunidades para adaptarse al clima variable y al cambio climático, mediante la producción, difusión y evaluación del uso de información meteorológica, hidrológica y agrometeorológica a través de servicios climáticos para el ciudadano.

El SENAMHI, como ente rector, propone este lineamiento técnico para guiar a las autoridades y equipos técnicos de los gobiernos subnacionales en el uso de la información climática para la gestión territorial. Este documento es un componente clave que ayuda a mejorar la priorización espacial de las acciones públicas de los gobiernos subnacionales para el beneficio de la población y sus medios de vida. Además, Su importancia radica en que proporciona una base sólida y estandarizada para la toma de decisiones informadas, permitiendo una comprensión integral de los sistemas hidrológicos, sus dinámicas y su interacción con el entorno. Estos lineamientos facilitan la identificación de riesgos, la optimización del uso del agua, la conservación de ecosistemas acuáticos, y la adaptación al cambio climático. Así mismo, ofrece un marco común para la recolección, análisis e interpretación de datos hidrológicos, lo que mejora la colaboración entre diferentes sectores y niveles de gobierno, asegurando una gestión más eficiente y equitativa de los recursos hídricos en el contexto de la planificación territorial.



PERÚ

Ministerio
del Ambiente



— ENANDES —

Abreviaturas y acrónimos

CENEPRED	Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres
ENFEN	Estudio Nacional del Fenómeno "El Niño"
GOREs	Gobiernos Regionales
GOLOs	Gobiernos Locales
INDECI	Instituto Nacional de Defensa Civil
MINAM	Ministerio del Ambiente
MIDAGRI	Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
OMM	Organización Meteorológica Mundial
PIP	Proyecto de Inversión Pública
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
SERFOR	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre
UTM	Universal Transversal Mercator
ZEE	Zonificación Ecológica Económica
ZF	Zonificación Forestal

I. INTRODUCCIÓN

El consultor ha sido seleccionado por el SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ (SENAMHI) para establecer lineamientos técnicos que permitan optimizar los procesos de toma de decisiones en la gestión territorial mediante la generación y uso de información hidrológica.

Durante las dos últimas décadas el Perú ha sufrido grandes cambios, principalmente en el crecimiento de su población que ha dado paso especialmente al desarrollo del sector urbano y agrícola, ocasionando una presión a las instituciones o empresas en el manejo de los recursos hídricos, situación que se complica más con la incertidumbre climática que puede traer consigo inseguridad hídrica (SENAMHI, 2014). Por lo tanto, es importante saber que a partir de un estudio del balance hídrico es posible realizar una evaluación cuantitativa de los recursos de agua disponibles y sus modificaciones por influencia de las actividades socioeconómicas desarrolladas sobre la unidad territorial.

Para tomar decisiones en diversos ámbitos, como la agricultura, la gestión de recursos naturales, la planificación urbana y rural, o la gestión de riesgos, entre otros, se necesita contar con información hidrológica actualizada y confiable.

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), en su rol de ente rector, centraliza, procesa y suministra a los organismos correspondientes, la información meteorológica, hidrológica, agrometeorológica y de fines específicos, para su respectivo análisis y oportuna aplicación. Asimismo, es responsable de establecer normas y brindar asesoramiento técnico en los aspectos relacionados a la climatología, meteorología, hidrología, agrometeorología y otras disciplinas conexas.

Estas pautas técnicas tienen el propósito de guiar a las autoridades y equipos técnicos de los gobiernos subnacionales en la búsqueda y selección de fuentes de información hidrológica fiable, que son un elemento esencial para asegurar los estándares de calidad y consistencia de la información espacial. Además, este documento se elabora y adapta para que sea pertinente a cada contexto, ayudando así a mejorar la focalización espacial de las acciones públicas de los gobiernos subnacionales.

II. OBJETIVOS

2.1 General

Establecer lineamientos técnicos para optimizar los procesos de toma de decisiones en la gestión territorial mediante la generación y uso de la información hidrológica.

2.2 Específicos

Desarrollar criterios técnicos para la generación confiable de información hidrológica relevante relacionadas con la gestión territorial, mediante el uso de técnicas validadas por el SENAMHI.

Orientar el uso de la información hidrológica generada para mejorar los procesos de toma de decisiones vinculadas con la gestión territorial mediante casos prácticos aplicados a las actividades cotidianas de los gobiernos subnacionales.

III. ALCANCE

Los lineamientos técnicos tienen un alcance que abarca a los gobiernos regionales y locales, y se deben implementar en todo el Perú, dándoles un marco completo y específico para la incorporación eficaz de la información hidrológica en sus procesos de ordenamiento territorial.

Estas pautas se focalizan en la obtención y generación de datos hidrológicos, y orientan a las autoridades y equipos técnicos de los gobiernos subnacionales para que identifiquen y elijan fuentes de información hidrológica confiable, y para que apliquen técnicas y métodos que aseguren la precisión adecuada para los procesos que influyen en la toma de decisiones.

Además, se ofrece orientación práctica para usar la información hidrológica en las acciones públicas de las unidades organizativas de los gobiernos subnacionales.

Estos lineamientos son un requisito esencial y de obligado cumplimiento para garantizar una gestión territorial eficiente y responsable en los niveles regional y local.

IV. MARCO NORMATIVO

Este lineamiento se basa en la normatividad que está vigente. El marco normativo sobre el ordenamiento territorial es el siguiente:

- Ley N° 27292, Ley del Instituto Geográfico Nacional
- Ley N° 27795, Ley de Demarcación y Organización Territorial.
- Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales (Art. 53)
- Ley N° 27972, Ley Orgánica de Municipalidades, así como todas las normas complementarias y modificatorias asociadas. (Art. 73)

- Ley N° 24031, Ley del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, modificado por la Ley N° 27188.
- Ley N° 29763, Ley Forestal y de Fauna Silvestre.
- Ley N° 26821, Ley Orgánica para el Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales.
- Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, Decreto Supremo N°003-2016-MINAM.
- Reglamento para la Gestión Forestal, Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI.
- Reglamento de la Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, Decreto Supremo N° 008-2005-PCM.
- Decreto Supremo N°005-2022-MIDAGRI, que aprueba el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor.
- Decreto Supremo N° 191-2020-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 27795, Ley de Demarcación y Organización Territorial.
- Decreto Supremo N° 018-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal.
- Decreto Supremo N° 009-2013-MIDAGRI, que aprueba la Política Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
- Decreto Supremo N° 087-2004-PCM, Reglamento de Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), publicado el 23 de diciembre de 2004.
- Decreto Supremo N° 045-2001-PCM, Comisión Nacional para el Ordenamiento Territorial Ambiental.
- Decreto del Consejo Directivo N° 010-2006-CONAM-CD, Directiva "Metodología para la Zonificación Ecológica y Económica", publicada el 28 de abril del 2006.
- Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000278-2022-MIDAGRI-SERFOR-DE, que aprueba la Guía metodológica para el estudio de levantamiento de la cobertura vegetal para la clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor.
- Resolución de Dirección Ejecutiva N° D000141-2021-MIDAGRI-SERFOR-DE, que aprueba la Guía metodológica para la elaboración del estudio forestal.
- Resolución Ministerial N° 105-2020-PCM, que formaliza el proceso para el desarrollo de las etapas y pasos de elaboración de la Política Nacional de Ordenamiento Territorial.
- Resolución Ministerial N° 008-2016-MINAM. Procedimiento técnico y metodológico para la elaboración del Estudio Especializado de Evaluación de Riesgos de Desastres y Vulnerabilidad al Cambio Climático
- Resolución Ministerial N°135-2013-MINAM. Guía metodológica para la elaboración de los Instrumentos Sustentatorios para el Ordenamiento Territorial.
- Resolución Ministerial N° 026-2010-MINAM. Lineamientos de Política para el Ordenamiento Territorial.
- Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 050-2020-SENAMHI/PREJ. Lineamientos generales que orientan la aplicación de la información

climática sobre tendencias históricas, eventos extremos y proyecciones de escenarios climáticos nacionales.

- Resolución Presidencial Ejecutiva N° 0286 SENAMHI-PREJ-DGM-ORA/2015. Normas y procedimientos para la elaboración, aprobación, y difusión de avisos meteorológicos en el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- Ley N° 29338, Ley de los Recursos Hídricos.
- Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, Decreto Supremo N° 001-2010-MINAGRI.

V. CONCEPTOS CLAVES

En el presente lineamiento se aplican los siguientes conceptos claves:

5.1 Información hidrometeorológica

La información hidrometeorológica abarca a los datos y productos climáticos que brindan conocimiento del clima y de los procesos hidrológicos (OMM, 2014). El clima se puede describir mediante análisis estadísticos de las tendencias medias y la variabilidad de factores relevantes como la temperatura, la precipitación, la presión atmosférica, la humedad y los vientos, o mediante combinaciones de factores, como tipos y fenómenos meteorológicos, que son propios de un lugar o región, durante cualquier intervalo de tiempo (OMM, 2018).

Más allá de describir el clima a nivel técnico, para el desarrollo territorial se entiende como un factor clave de las actividades humanas, o como una oportunidad o una amenaza para estas. En resumen, en el contexto de este lineamiento, la información climática incluye los aspectos de las condiciones medias, la variabilidad del clima y el cambio climático.

A continuación, se detallan las definiciones involucradas:

Tabla 1. Definiciones técnicas

Grupo	Ítem	Definición
Condiciones promedio o caracterización climática	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura del aire 	<p>Se entiende como aquella temperatura del aire promedio calculada para un periodo de 30 años; con fines de vigilancia y monitoreo del clima el periodo oficial es actualizable cada 10 años y comunicado por el SENAMHI (adaptado de MINAGRI y SENAMHI, 2013; OMM, 2019).</p> <p>Los tipos de temperatura son: temperatura máxima, temperatura mínima y temperatura media.</p>

Grupo	Item	Definición
	<ul style="list-style-type: none"> Precipitación 	<p>Se entiende como aquella precipitación promedio calculada para un periodo de 30 años; con fines de vigilancia y monitoreo del clima el periodo oficial es actualizable cada 10 años y comunicado por el SENAMHI (adaptado de MINAGRI y SENAMHI, 2013; OMM, 2019).</p> <p>Las formas de precipitación son: lluvia, llovizna, nieve, granizo y otros.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Humedad del aire 	<p>Contenido de vapor de agua en el aire. Generalmente hablamos de humedad relativa, la cual indica el grado de saturación de la atmósfera, es decir, qué tan cerca o lejos está el vapor de agua que hay en el aire del punto de condensación (SENAMHI, 2021b).</p> <p>Su determinación se realiza mediante fórmulas empíricas, que lo relacionan con la temperatura del bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo, y temperatura de rocío, calculada para un periodo de 30 años; con fines de vigilancia y monitoreo del clima el periodo oficial es actualizable cada 10 años y comunicado por el SENAMHI.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Viento 	<p>Movimiento del aire con respecto a la superficie de la Tierra y se caracteriza por su dirección y velocidad (FAO, 2006). Se determina para un periodo de 30 años y con fines de vigilancia y monitoreo del clima el periodo oficial es actualizable cada 10 años y comunicado por el SENAMHI.</p>

Grupo	Ítem	Definición
	<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración 	<p>Es la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por <i>evaporación</i> y por otra parte mediante <i>transpiración del cultivo</i> (FAO, 2006).</p> <p>De los tipos existentes para el análisis de este ítem, se considera la <i>evapotranspiración de referencia</i>, entendida como la demanda evaporativa de la atmósfera independientemente del tipo de cultivo, de su estadio de desarrollo y de las prácticas de manejo calculados para un periodo de 30 años; con fines de vigilancia y monitoreo del clima el periodo oficial es actualizable cada 10 años y comunicado por el SENAMHI (adaptado de SENAMHI, 2013; OMM, 2019).</p>
<p>Fenómenos hidrometeorológicos extremos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones extremas o lluvias intensas 	<p>Son eventos hidrometeorológicos de gran intensidad, baja frecuencia temporal y aparente distribución espacial irregular, con importantes efectos en el modelado del territorio y a menudo desencadenan peligros sobre el ambiente y la actividad humana (adaptado de Beguería y Lorente, 1999).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Sequías 	<p>Es un evento climático extremo de origen natural, que resulta de la deficiencia de lluvias considerablemente inferiores a lo considerado como normal, generando impactos negativos asociados a la vulnerabilidad de los sistemas expuestos. Cuando este evento se prolonga en el tiempo (meses y años), la disponibilidad de agua llega a ser insuficiente para satisfacer la demanda</p>

Grupo	Item	Definición
		<p>habitual de la sociedad y del ambiente.</p> <p>Las sequías pueden clasificarse en meteorológica, agrícola, hidrológica, socioeconómica y ecológica (SENAMHI, 2018 a, citado en SENAMHI, 2021c).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • El Niño 	<p>El Niño Oscilación del Sur, Es un evento natural de la variabilidad climática en el que se interrelacionan el océano y la atmósfera en la región tropical del Océano Pacífico. La fase cálida del ENOS corresponde a El Niño, mientras que su fase fría corresponde a La Niña (SENAMHI, 2014).</p> <p>En algunos años, el calentamiento del Pacífico ocurre solo en el lado oriental que incluye a la costa peruana (El Niño Costero); su intensidad y duración está definida por el Índice Costero El Niño (ICEN) (ENFEN, 2012).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> • Inundación 	<p>Es la ocupación parcial o total de agua que ocurre en una superficie que usualmente está seca y que podría generar daños materiales y/o humanos.</p> <p>Son eventos producidos por fenómenos naturales como lluvias, el desborde de los ríos, la activación de quebradas o el derretimiento de nieve, o producidos por la actividad humana como la rotura de presas de agua o relaves.</p>
Cambio Climático	<ul style="list-style-type: none"> • Tendencias climáticas 	<p>Cambio en el valor de una variable, a lo largo del tiempo (IPCC, 2013), citado en la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 050-2020-SENAMHI/PREJ.</p>

Grupo	Item	Definición
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="560 607 871 640">• Peligros climáticos 	<p>Se refiere generalmente a sucesos o tendencias relacionados con el clima o los impactos físicos de este. Los peligros de origen hidrometeorológico relacionados al cambio climático están asociados a los cambios en los promedios del clima y alteración de la variabilidad climática los cuales requieren ser medidos a través de índices de eventos extremos y sus tendencias, validados y usados en la comunidad científica, pero también estos pueden ser complementados con el apoyo del conocimiento local y empírico del clima en una zona determinada (SENAMHI, 2019).</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="560 1272 759 1339">• Escenarios Climáticos 	<p>Representación plausible y en ocasiones simplificada del clima futuro, basada en un conjunto de relaciones climatológicas internamente coherente definido explícitamente para investigar las posibles consecuencias del cambio climático antropogénico, y que puede introducirse como datos entrantes en los modelos de impacto (IPCC, 2013), citado en la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 050-2020-SENAMHI/PREJ.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li data-bbox="560 1668 871 1736">• Escenarios de Cambio Climático 	<p>Diferencia entre un escenario climático y el clima actual (IPCC, 2013), citado en la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 050-2020-SENAMHI/PREJ.</p>

5.2 Servicio Climático

Suministro de información climática para facilitar la toma de decisiones a personas y organizaciones. Un servicio implica una participación adecuada entre el usuario y el proveedor de la información climática, un mecanismo de acceso eficiente y que se adapte a las necesidades de los usuarios (OMM, 2014).

Los servicios climáticos tienen un papel clave para la adaptación a la variabilidad y cambio climático, ya que facilitan que los diferentes sectores vulnerables (usuarios finales) estén prevenidos y reaccionen adecuadamente a los riesgos (OMM, 2013).

5.3 Ordenamiento territorial

Es un proceso político, técnico y administrativo de concertación con los actores sociales, económicos, políticos y técnicos, para el ordenamiento y aprovechamiento sostenible del territorio, la orientación y fomento del desarrollo sostenible de los asentamientos humanos; de las actividades económicas, sociales y el desarrollo físico espacial basado en la identificación de potencialidades y limitaciones, teniendo en cuenta criterios ambientales, económicos, socioculturales, institucionales y geopolíticos (MINAM, 2015).

El ordenamiento territorial se desarrolla en cinco fases: a) preparación, b) diagnóstico, c) formulación de planes, d) implementación y e) monitoreo. En particular, la fase de diagnóstico es la que abarca la recolección y producción de toda la información pertinente para tomar decisiones, conforme a los objetivos y el enfoque definidos. Según la normativa vigente, estos son los instrumentos técnicos que se emplean:

- **Zonificación Ecológica y Económica (ZEE)**, es un instrumento técnico que permite identificar diferentes alternativas de uso sostenible de un territorio determinado, basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales.
- **Zonificación Forestal (ZF)**. Es un instrumento técnico vinculante y obligatorio que determina las potencialidades y limitaciones para el uso directo e indirecto de los ecosistemas forestales y otros ecosistemas de vegetación silvestre, incluyendo el mantenimiento de su capacidad para brindar bienes y servicios ecosistémicos, definiendo las alternativas de uso de los recursos forestales y de fauna silvestre.
- **Estudios Especializados (EE)**. Son los instrumentos técnicos de carácter estratégico, que enfatizan el análisis de las dinámicas, relaciones y funcionalidad que se evidencian en el territorio bajo estudio y su articulación con otros territorios. Responden a la necesidad de conocer la relación de las sociedades con su medio natural, evolución, situación actual y proyección, permitiendo articular la gestión y ocupación del territorio en concordancia con sus características naturales, necesidades y desarrollo económico. Se priorizan a partir de la información generada en la ZEE, el contexto

geográfico, el rol y las dinámicas territoriales, sociales, económicas, ambientales, de cada ámbito de intervención, su naturaleza es de estudios definitivos, fase de Inversión.

5.4 Gestión territorial

Consiste en alinear las políticas nacionales con el objetivo de asegurar el desarrollo integral de la persona humana, teniendo en cuenta los aspectos sociales, económicos, culturales y ambientales. Incluye el ordenamiento territorial, y otros aspectos vinculados al territorio dentro de un marco de gobernanza, una visión de desarrollo y los mecanismos financieros que sostienen estas entidades (MINAM, 2015).

VI. GENERACIÓN DE INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

A continuación, se detalla los aspectos más importantes para la generación de información hidrológica en la gestión territorial.

6.1 Criterios técnicos generales

6.1.1 Enfoque de cuenca hidrográfica

La Ley de Recursos Hídricos 29338 en el Principio 10 indica: "El uso del agua debe ser óptimo y equitativo, basado en su valor social, económico y ambiental, y su gestión debe ser integrada por cuenca hidrográfica y con participación de la población organizada. El agua constituye parte de los ecosistemas y es renovable a través de los procesos del ciclo hidrológico".

La cuenca hidrográfica es el área que está delimitada por un límite topográfico bien marcado (divisoria de aguas). Es una zona geográfica donde el agua se junta en un punto determinado desde donde la cuenca se drena. Dentro de este límite topográfico, la cuenca tiene una combinación de suelos, geofomas, vegetación y uso de la tierra.

Es decir, para ejecutar una caracterización del balance hídrico, primero se debe definir la cuenca hidrográfica a la pertenece una zona de estudio o región. Asimismo, todas las evaluaciones deberán ajustarse a los límites naturales de la cuenca hidrográfica o unidad de análisis.

6.1.2 Información hidrológica

Los datos oficiales de las variables hidrometeorológicas disponibles de la red de estaciones convencionales y automáticas del SENAMHI deben ser solicitados formalmente a través de la mesa de partes virtual de la sede central. En el Anexo 8.8 se proporciona un modelo de solicitud de datos hidrometeorológicos.

Además de los datos observados, indispensable para la caracterización de la oferta hídrica de la cuenca de interés, el SENAMHI proporciona información grillada precipitación y temperatura (y su derivado la evapotranspiración

potencial), denominada PISCO¹, que presenta una resolución espacial de ~ 10 km y abarca todo el territorio peruano y el periodo 1981-2023. Esta base de datos representa información valiosa para poder analizar la variabilidad espacial de las principales forzantes del ciclo hidrológico y para construir modelos de balance hídrico por cuenca hidrográfica. En el Anexo 8.2 y 8.3 se proporciona una lista de los productos desarrollados por el SENAMHI para realizar caracterizaciones hidrológicas a nivel de meso y macro zonificación.

6.1.3 Metadatos de estaciones convencionales y automáticas

El SENAMHI ofrece a las entidades subnacionales los metadatos de las estaciones convencionales y automáticas. Así, cualquier usuario podría saber las condiciones en las que se hizo la observación (o medición) y todos los factores que puedan influir en su uso o interpretación.

Es importante que dicha solicitud se incluya en el mismo oficio o documento de solicitud de datos hidrometeorológicos.

6.1.4 Metadatos de la base de datos geoespacial

Se usan según el perfil básico de metadatos establecido en la Infraestructura de Datos del Perú-IDEP, conforme al ISO 19115. Los metadatos proveen información sobre los datos, como su contenido, calidad, condiciones, historia, accesibilidad y otras características de los datos. En el Anexo 8.5 se detalla la ficha de metadatos que deben ser completados.

6.1.5 Nivel de estudio

El estudio hidrológico requiere identificar que el nivel adecuado se adapte a las necesidades y metas del gobierno subnacional, que debe atender a la acción pública de acuerdo con sus funciones y normativa vigente en relación con la administración territorial, de acuerdo con la información de la **Tabla 2**.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de los niveles de estudio para la generación de la información hidrológica

Especificación técnica	Macrozonificación	Mesozonificación	Microzonificación
Recurso de teledetección 1/	Imágenes satelitales meteorológicas y modelos de hasta 10 km, imágenes satelitales de resolución espacial de 250 m	Imágenes satelitales de mediana resolución espacial (30 a 100 m)	Imágenes satelitales de alta resolución (inferiores a 30 m)
Red de estaciones de observación	Red de estaciones convencionales y automáticas del SENAMHI	Red de estaciones convencionales y automáticas del SENAMHI	Red de estaciones convencionales y automáticas del SENAMHI, y red de estaciones de observación a nivel

¹ Disponible en el siguiente enlace: <https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SEAMHI/.HSR/.PISCO/index.html?Set-Language=es>

Especificación técnica	Macrozonificación	Mesozonificación	Microzonificación
			local
Unidad Mínima del mapa	40 ha	25 ha	0.5 ha
Escala de trabajo	Menor o igual a 1:250,000	1:100,000	Mayor o igual a 1:25,000

Nota:

1/ Estos recursos excluyen a los requerimientos de los insumos de teledetección para los escenarios de cambio climático.

6.2 Herramientas tecnológicas

La selección de herramientas para la generación de información hidrológica incluye:

- **Software:** El análisis y control de calidad de datos hidrometeorológicos requiere herramientas estadísticas especializadas como Rclimdex y Hydraccess, o lenguajes de programación (Matlab, Python y R). También se necesita sistemas de información geográfica como ArcGIS o Qgis para el manejo de la información geoespacial. Estos deben elegirse según su capacidad para procesar muchos datos, precisión analítica y facilidad de uso. Además, las herramientas deben ser compatibles con los formatos de datos del gobierno subnacional y eficientes.
- **Modelo hidrológico:** es una herramienta que nos permite representar matemáticamente el ciclo hidrológico de una cuenca hidrográfica. En el Anexo 8.1 se proporciona la documentación de algunos modelos utilizados en el ámbito nacional.
- **Hardware:** comprende computadoras con capacidad adecuada para visualizar imágenes satelitales de mediana y alta resolución, además de soportar los procesamientos con los softwares especializados mencionados y modelos hidrológicos.
- **Gestión y respaldo de datos:** los datos hidrológicos recopilados de estaciones convencionales y/o automáticas, así como la base de datos espacial generada deben almacenarse de acuerdo con el Anexo 8.4.

6.3 Estudio hidrológico

En esta sección se detallan los criterios técnicos a emplearse para la generación de la información hidrológica, de acuerdo con el nivel de estudio y considerando los procesos transversales e instrumentos técnicos para la gestión territorial.

6.3.1. Nivel Macro y Mesozonificación

Como parte de las funciones y competencias establecidas en el Decreto Supremo N°003-2016-MINAM, Reglamento de Organización y Funciones (ROF) del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, se ofrece la información espacial y temporal producida por el SENAMHI:

- Mapas de caracterización climática. Incluye un conjunto de mapas que representan el comportamiento espacial de las variables meteorológicas de temperatura del aire, precipitación, evapotranspiración de referencia.
- Gráficos temporales a nivel puntual. Comprende la representación del comportamiento climático a nivel temporal, mediante gráficos denominados climogramas. Se encuentra disponible en el documento del Atlas de temperaturas del aire y precipitaciones del Perú (SENAMHI, 2021).
- Mapa de tipos de clima, según la clasificación climática de Thornthwaite. Contiene los 38 climas del Perú, el cual fue publicado el año 2020.
- Mapas de fenómenos meteorológicos y climáticos extremos. Comprende la representación espacial de las heladas meteorológicas, sequías, olas de calor, friaje, nevadas y mapas de precipitaciones de los años El Niño.
- Tablas de umbrales calculados de eventos extremos. Contiene umbrales² y precipitaciones absolutas de cada estación convencional y/o automática disponible a nivel nacional.
- Base de datos de precipitación diaria/mensual grillada a escala nacional que presenta una resolución espacial de 10 km.
- Base de datos de temperatura máxima/mínima diaria/mensual grillada a escala nacional que presenta una resolución espacial de 10 km.
- Base de datos de evapotranspiración potencial diaria/mensual grillada a escala nacional que presenta una resolución espacial de 10 km.
- Base de datos de caudal natural medio mensual de las cuencas hidrográficas delimitadas con el método Pfafstetter (**1:100,000**) a escala nacional. Este producto es el resultado de la calibración del modelo de balance hídrico GR2M con la base de datos de caudales observados del SENAMHI.
- Base de datos de caudales observados de la red de estaciones hidrométricas del SENAMHI.
- Base de datos de curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para todo el territorio peruano.

Para mayor detalle, se sugiere revisar el visor y catálogo de metadatos³ del portal web "Infraestructura de datos espaciales del SENAMHI".

6.3.2. Nivel Microzonificación

² Disponible en el siguiente enlace: <https://www.senamhi.gob.pe/pdf/clim/umbrales-precipitaciones-absol.pdf>

³ En el anexo 2 del presente lineamiento, se proporciona los enlaces seleccionados de la información climática espacial del Geovisor del SENAMHI para visualización y descarga.

Según el D.S N° 003-2016-MINAM, que asigna al SENAMHI las funciones de los incisos d), j) y k) del artículo 5, nos comprometemos a asesorar técnicamente a las entidades públicas y privadas. También validamos toda información hidrológica generada, y lideramos, en nuestro campo de competencia técnica especializada, los estudios e investigaciones hidrológicas que se realizan en el país.

En términos generales, la caracterización del balance hídrico superficial consiste en la representación cartográfica detallada del medio físico de la cuenca hidrográfica, las principales forzantes como la precipitación y evapotranspiración, así como la generación de agua (caudales) y la variabilidad del almacenamiento en forma de humedad en el subsuelo y el flujo subterráneo. En la Tabla 3 se muestra el contenido mínimo para la realización del estudio hidrológico de caracterización de la oferta hídrica superficial, que concuerda con lo solicitado en el "Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y de Autorización de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua" de la ANA (Resolución Jefatural N.º R.J. 007-2015-ANA).

Tabla 3. Contenido mínimo de un estudio de caracterización de la oferta hídrica superficial de una cuenca hidrográfica.

Caracterización de la oferta hídrica superficial de una cuenca hidrográfica	
1	Descripción temática de la cuenca y de la red de drenaje
1.1	Ubicación y delimitación de la unidad hidrográfica Aquí se debe indicar la posición del punto de interés en relación con las corrientes de agua, el territorio, la división política y la gestión administrativa. Se debe usar el método Pfafstetter para delimitar la cuenca de estudio. Además, se debe mostrar mediante mapas o planos con una escala que permita ver el área de drenaje, las zonas de trasvase y la infraestructura hidráulica que exista (diques, embalses, tomas de agua, etc).
1.2	Fisiografía y geología Debe contener una descripción de las características geomorfológicas y geológicas de la unidad hidrográfica.
1.3	Uso y cobertura de la tierra Debe contener una descripción del uso y cobertura de la tierra de la unidad hidrográfica y su relación con los procesos hidrológicos (intercepción, evapotranspiración y escorrentía superficial, entre otros).
1.4	Inventario de fuentes de agua e infraestructura hidráulica Se debe contar con un inventario de fuentes de agua e infraestructura hidráulica de la unidad hidrográfica, considerando la escala de trabajo (1:25000). Esta información debe provenir del trabajo de reconocimiento de campo y de la

organización de información cartográfica disponible.

1.5 Accesibilidad y vías de comunicación

Se debe describir las vías de acceso al área de estudio que comprenda el estado y los tiempos de desplazamiento.

2 Análisis y tratamiento de la información

2.1 Variables meteorológicas

Se debe analizar las variables meteorológicas de: temperatura, humedad relativa, radiación solar, evaporación, velocidad de viento, precipitación y evapotranspiración potencial.

2.2 Información pluviométrica e hidrométrica

Para poder caracterizar adecuadamente la oferta hídrica de una cuenca se debe realizar un análisis exploratorio de los datos que debe contener:

2.2.1 Análisis de consistencia

Consiste en evaluar la consistencia de la información (pluviométrica e hidrométrica), identificar los posibles fenómenos de no homogeneidad e inconsistencia de los datos, que se reflejan como saltos y/o tendencias en las series de tiempos históricos.

2.2.2 Completación de la información

Consiste en completar datos faltantes en las series de tiempo mediante métodos estadísticos.

2.3 Caracterización de la oferta hídrica

Implica determinar los caudales o volúmenes mensuales naturalizados en el punto de interés de la red de drenaje a diferentes niveles de persistencia. Si existe obras de regulación o infraestructura hidráulica, se debe considerar los volúmenes de escurrimiento en la relación con la operación de la presa. Se debe tener en cuenta los siguientes considerandos:

- La oferta en el reservorio debe incluir el análisis de capacidad de almacenamiento y tránsito de avenidas.
- Si no existe información hidrométrica, se debe generar en base a modelos matemáticos (determinísticos, estocásticos y sistemas optimizados), que serán calibrados con información registrada en la cuenca o en cuencas pares.
- Si el proyecto abarca trasvase intercuenca, se deberá presentar la hidrología de cada una de ellas.

Asimismo, se debe incluir el análisis de caudales de avenidas para distintos periodos de retorno.

3 Anexos

- Tabla de datos, diagramas
- Información hidrometeorológica e hidrométrica histórica, completada y sintética
- Mapa de la unidad hidrográfica

- Mapa base de la cuenca
- Mapa ecológico, hidrográfico y de la red de drenaje
- Mapa de estaciones hidrometeorológicas
- Esquema hidráulico de la cuenca

VII. REFERENCIAS:

- Huerta, A., Lavado-Casimiro, W., & Felipe-Obando, O. (2022). High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp_h). *Data in Brief*, 45, Artículo 108570. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108570>
- Aybar, C., Fernández, C., Huerta, A., Lavado, W., Vega, F., & Felipe-Obando, O. (2019). Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day. *Hydrological Sciences Journal*, 65(5), 770–785. <https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411>
- Ajami, N. K., Duan, Q., & Sorooshian, S. (2007). An integrated hydrologic Bayesian multimodel combination framework: Confronting input, parameter, and model structural uncertainty in hydrologic prediction. *Water Resources Research*, 43(1), Artículo W01403. <https://doi.org/10.1029/2005WR004745>
- Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., Santhi, C., Harmel, R. D., van Griensven, A., Van Liew, M. W., Kannan, N., & Jha, M. K. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491-1508. <https://doi.org/10.13031/2013.42256>
- Autoridad Nacional del Agua (2013). *Proyecto: Evaluación de los Recursos Hídricos en Cabecera de las Subcuencas de las Provincias de Andahuaylas y Chincheros*. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/47>
- Bárdossy, A., & Singh, S. K. (2008). Robust estimation of hydrological model parameters. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12(6), 1273-1283. <https://doi.org/10.5194/hess-12-1273-2008>
- Bhave, A. G., Mishra, A., & Raghuwanshi, N. S. (2014). A combined bottom-up and top-down approach for assessment of climate change adaptation options. *Journal of hydrology*, 518, 150-161. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.08.039>
- Bosshard, T., & Zappa, M. (2008). Regional parameter allocation and predictive uncertainty estimation of a rainfall-runoff model in the poorly gauged Three Gorges Area (PR China). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 33(17), 1095-1104. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.03.004>

- Cibin, R., Sudheer, K. P., & Chaubey, I. (2010). Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. *Hydrological processes*, 24(9), 1133-1148. <https://doi.org/10.1002/hyp.7568>
- Collischonn, W., Allasia, D., Da Silva, B. C., & Tucci, C. E. M. (2007). The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling. *Hydrological Sciences Journal*, 52(5), 878-895. <https://doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>
- Collischonn, W.; Gama, C.H.A.; Siqueira, V.A; Paiva, R.C.D.; Fleischmann, A.S. (2020). Manual de Referência Teórica do MGB. HGE, IPH, UFRGS. <https://www.ufrgs.br/hge/mgb/downloads/mgb-4-5-novadocum/>
- Creed, I. F., Spargo, A. T., Jones, J. A., Buttle, J. M., Adams, M. B., Beall, F. D., Booth, E. G., Campbell, J. L., Clow, D., Elder, K., Green, M. B., Grimm, N. B., Miniat, C., Ramlal, P., Saha, A., Sebestyen, S., Spittlehouse, D., Sterling, S., ... Yao, H. (2014). Changing forest water yields in response to climate warming: results from long-term experimental watershed sites across North America. *Global change biology*, 20(10), 3191-3208. <https://doi.org/10.1111/gcb.12615>
- Diniz, L. D. S. (2008). *Regionalização de parâmetros de modelo chuva-vazão usando redes neurais* [Tesis de doctorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Repositorio Digital de la UFRGS. <http://hdl.handle.net/10183/14899>
- Greve, P., Gudmundsson, L., Orlowsky, B., & Seneviratne, S. I. (2016). A two-parameter Budyko function to represent conditions under which evapotranspiration exceeds precipitation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(6), 2195-2205. <https://doi.org/10.5194/hess-20-2195-2016>
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., & Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135-143. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(1999\)4:2\(135\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(1999)4:2(135))
- Gurtz, J., Zappa, M., Jasper, K., Lang, H., Verbunt, M., Badoux, A., & Vitvar, T. (2003). A comparative study in modelling runoff and its components in two mountainous catchments. *Hydrological Processes*, 17(2), 297-311. <https://doi.org/10.1002/hyp.1125>
- Llauca, H., Leon, K., & Lavado-Casimiro, W. (2023). Construction of a daily streamflow dataset for Peru using a similarity-based regionalization approach and a hybrid hydrological modeling framework. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47, Artículo 101381. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101381>
- Huard, D., & Mailhot, A. (2008). Calibration of hydrological model GR2M using Bayesian uncertainty analysis. *Water Resources Research*, 44(2), Artículo W02424. <https://doi.org/10.1029/2007WR005949>

- Huerta, A., Aybar, C., Imfeld, N., Correa, K., Felipe-Obando, O., Rau, P., Drenkhan, F., & Lavado-Casimiro, W. (2023). High-resolution grids of daily air temperature for Peru - the new PISCOt v1.2 dataset. *Scientific Data*, 10, Artículo 847. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02777-w>
- Huerta, A., Bonnesoeur, V., Cuadros-Adriazola, J., Gutierrez, L., Ochoa-Tocachi, B. F., Román-Dañobeytia, F., & Lavado-Casimiro, W. (2022). PISCOeo_pm, a reference evapotranspiration gridded database based on FAO Penman-Monteith in Peru. *Scientific Data*, 9, Artículo 328. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01373-8>
- Ibrahim, B., Wisser, D., Barry, B., Fowe, T., & Aduna, A. (2015). Hydrological predictions for small ungauged watersheds in the Sudanian zone of the Volta basin in West Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 386-397. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.07.007>
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (2004). Estudio Hidrológico de la cuenca del río Acarí: Informe Final. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4316>
- Jiang, T., Chen, Y. D., Xu, C. Y., Chen, X., Chen, X., & Singh, V. P. (2007). Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of hydrology*, 336(3), 316-333. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.010>
- Lavado, W., Fernandez, C., Vega, F., Huerta, A., Caycho, T., & Felipe, O. (2015, 23 de enero). Generando datos grillados de precipitación en el Perú (1981-2013). Seminario: Estudios e Investigaciones Hidrológicas. Lima, Perú. https://hybam.obs-mip.fr/wp-content/uploads/2018/08/4_lavado-2.pdf
- Lempert, R. J., & Groves, D. G. (2010). Identifying and evaluating robust adaptive policy responses to climate change for water management agencies in the American west. *Technological Forecasting and Social Change*, 77(6), 960-974. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.04.007>
- Li, W., & Sankarasubramanian, A. (2012). Reducing hydrologic model uncertainty in monthly streamflow predictions using multimodel combination. *Water Resources Research*, 48(12). <https://doi.org/10.1029/2011WR011380>
- Love, D., Uhlenbrook, S., Corzo-Perez, G., Twomlow, S., & van der Zaag, P. (2010). Rainfall–interception–evaporation–runoff relationships in a semi-arid catchment, northern Limpopo basin, Zimbabwe. *Hydrological Sciences Journal*, 55(5), 687-703. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.494010>
- Llauca, H.; Lavado-Casimiro, W.; Montesinos, C.; Santini, W.; Rau, P. PISCO_HyM_GR2M:A Model of Monthly Water Balance in Peru (1981–2020). *Water*, 13(8), Article 1048. <https://doi.org/10.3390/w13081048>
- Malagò, A., Efstathiou, D., Bouraoui, F., Nikolaidis, N. P., Franchini, M., Bidoglio, G., & Kritsotakis, M. (2016). Regional scale hydrologic modeling of a

- karst-dominant geomorphology: The case study of the Island of Crete. *Journal of Hydrology*, 540, 64-81. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.061>
- Martinez, G. F., & Gupta, H. V. (2010). Toward improved identification of hydrological models: A diagnostic evaluation of the "abcd" monthly water balance model for the conterminous United States. *Water Resources Research*, 46(8).
- Martinez, G. F., & Gupta, H. V. (2011). Hydrologic consistency as a basis for assessing complexity of monthly water balance models for the continental United States. *Water Resources Research*, 47(12). <https://doi.org/10.1029/2011WR011229>
- Monteiro, P. (2016). Modelagem hidrológica e hidrodinâmica integrada da bacia do Rio da Prata. [Tese de Doutorado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul]. Repositorio Digital LUME-UFRGS <http://hdl.handle.net/10183/156600>
- Montesinos, C; Lavado, W; Quijada, N; Gutiérrez, L & Felipe, O (2023), *Desarrollo de curvas pluviométricas intensidad-duración-frecuencia (IDF) en Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2825>
- Müller-Wohlfeil, D. I., Xu, C. Y., & Iversen, H. L. (2003). Estimation of monthly river discharge from Danish catchments. *Hydrology Research*, 34(4), 295-320. <https://doi.org/10.2166/nh.2003.0009>
- Murillo, J. M., & Navarro, J. A. (2011). Aplicación del modelo de Témez a la determinación de la aportación superficial y subterránea del sistema hidrológico Cornisa-Vega de Granada para su implementación en un modelo de uso conjunto. *Boletín Geológico y Minero*, 122(3), 363-387. https://www.igme.es/boletin/2011/122_3/8-Articulo%206.pdf
- Niel, H., Paturol, J. E., & Servat, E. (2003). Study of parameter stability of a lumped hydrologic model in a context of climatic variability. *Journal of Hydrology*, 278(1), 213-230. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00158-6)
- Oudin, L., Perrin, C., Mathevet, T., Andréassian, V., & Michel, C. (2006). Impact of biased and randomly corrupted inputs on the efficiency and the parameters of watershed models. *Journal of Hydrology*, 320(1), 62-83. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.07.016>
- Pedro-Monzonís, M., Jiménez-Fernández, P., Solera, A., & Jiménez-Gavilán, P. (2016). The use of AQUATOOL DSS applied to the System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA). *Journal of Hydrology*, 533, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.11.034>
- Perrin, C., Michel, C., & Andréassian, V. (2003). Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of hydrology*, 279(1), 275-289. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00225-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00225-7)

- Pontes, P. R., Collischonn, W., Fan, F. M., Paiva, R. C., & Buarque, D. C. (2015). Modelagem hidrológica e hidráulica de grande escala com propagação inercial de vazões. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20(4), 888-904. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/230868>
- Purkey, D. R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M. W., Dale, L. L., Yates, D., & Dracup, J. A. (2007). Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*, 87, 109-122. <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9375-8>
- Quan, Z., Teng, J., Sun, W., Cheng, T., & Zhang, J. (2015). Evaluation of the HYMOD model for rainfall-runoff simulation using the GLUE method. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 368, 180-185. <https://piahs.copernicus.org/articles/368/180/2015/piahs-368-180-2015.pdf>
- Rampinelli, C. & Costa, M. (2015). Calibração do modelo chuva-vazão SMAP em uma estação do semiárido nordestino com os algoritmos PSO, AG e Nelder Mead e seus efeitos na definição das séries de vazões médias mensais. *XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. Brasília, Brasil. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/4/PAP020038.pdf>
- Santos de Andrade, D., Mendes de Sousa, P., Santos, C. e Abritta, L. (2016). Aplicação do modelo chuva-vazão SMAP para análise da alteração das vazões na bacia do rio Piauitinga, Sergipe. *XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Brasília, Brasil. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=626>
- Sarango, D. D., Rozas, G. A., Salvador, B., Velásquez, T. O., Sullca, J., & Mansilla, J. J. (2012). Determinación del rendimiento hídrico en la cuenca alta del río Grande en Puno. *Revista de Investigación de Física*, 15(02). <https://doi.org/10.15381/rif.v15i02.8688>
- Sieber, J. (2015). WEAP Water Evaluation and Planning System. User Guide. Stockholm Environment Institute, U.S. Center. https://www.weap21.org/downloads/weap_user_guide.pdf
- Ticona, J. 2003. *Implementación de redes neuronales en el modelo de generación de caudales de Scholz aplicado en cuencas hidrográficas del Perú*. [Tesis. Facultad De Ingeniería Civil. Universidad Nacional De Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/3452>
- Vandewiele, G. L., Xu, C. Y., & Huybrechts, W. (1991). Regionalisation of physically-based water balance models in Belgium. Application to ungauged catchments. *Water Resources Management*, 5(3), 199-208. <https://doi.org/10.1007/BF00421989>

- Vicuña, S., Garreaud, R. D., & McPhee, J. (2011). Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change*, 105(3), 469-488. <https://doi.org/10.1007/s10584-010-9888-4>
- Viviroli, D., Gurtz, J., & Zappa, M. (2007). The Hydrological Modelling System. Part II - Physical Model Description. Institute of Geography. University of Berne. Switzerland. https://dviiviroli.github.io/documents/Viviroli_et_al_2007_GB_P40_II.pdf
- Viviroli, D., Zappa, M., Gurtz, J., & Weingartner, R. (2009). An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre-and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software*, 24(10), 1209-1222. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2009.04.001>
- Xu, C. Y. (1999). Estimation of parameters of a conceptual water balance model for ungauged catchments. *Water Resources Management*, 13(5), 353-368. <https://doi.org/10.1023/A:1008191517801>
- Yates, D. N. (1994). WatBal: An integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff. *International Journal of Water Resources Development*, 12(2), 121-140. <https://doi.org/10.1080/07900629650041902>
- Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A., & Galbraith, H. (2005). WEAP21— A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model: Part 2: Aiding Freshwater Ecosystem Service Evaluation. *Water International*, 30(4), 501-512. <https://doi.org/10.1080/02508060508691894>
- Ye, L., Zhou, J., Zeng, X., Guo, J., & Zhang, X. (2014). Multi-objective optimization for construction of prediction interval of hydrological models based on ensemble simulations. *Journal of hydrology*, 519, 925-933. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.026>
- Zappa, M., Jaun, S., Germann, U., Walser, A., & Fundel, F. (2011). Superposition of three sources of uncertainties in operational flood forecasting chains. *Atmospheric Research*, 100(2), 246-262. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.005>

VIII. ANEXOS

8.1 Modelos Hidrológicos

8.1.1 Modelo hidrológico WEAP

WEAP (Water Evaluation and Planning System), originalmente desarrollado por el Stockholm Environment Institute (SEI), es un modelo de gestión integrado de los recursos hídricos que incluye un módulo de lluvia-escorrentía a escala mensual dinámicamente integrado (Yates et al., 2005). El módulo de hidrología espacialmente continuo de WEAP se basa en el principio de estimación de balance hídrico sobre múltiples subcuencas de una cuenca hidrográfica, siendo capaz de simular todos los componentes terrestres del ciclo hidrológico (Purkey et al., 2008). Las series temporales de parámetros mensuales del clima (temperatura, precipitación, humedad relativa y velocidad media del viento) son entradas a un algoritmo de humedad del suelo que calcula la acumulación de nieve, la percolación del agua subterránea y la escorrentía de la lluvia (Lempert y Groves, 2010).

En WEAP, los diversos componentes del balance hídrico; precipitación, evapotranspiración, escorrentía y aporte de agua subterránea, se equilibran mensualmente en cada nodo y se enlazan en el sistema. Este modelo ofrece una ventaja en el análisis de escenarios concurrentes relacionados con el cambio climático, ya que integra el modelamiento hidrológico con un sistema de apoyo en la gestión. El enfoque de modelamiento puede incorporar los cambios esperados en factores climáticos como el viento, la humedad y la temperatura y los cambios resultantes en la evapotranspiración. Por lo tanto, este modelo ha demostrado ser útil para analizar las características hidrológicas de una cuenca para diversos escenarios de clima futuro, uso de la tierra y demanda de agua. El método de lluvia-escorrentía de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), disponible en el módulo de hidrología WEAP, se utiliza para simular los procesos hidrológicos, incluido el escurrimiento y la infiltración (Bhave et al., 2014).

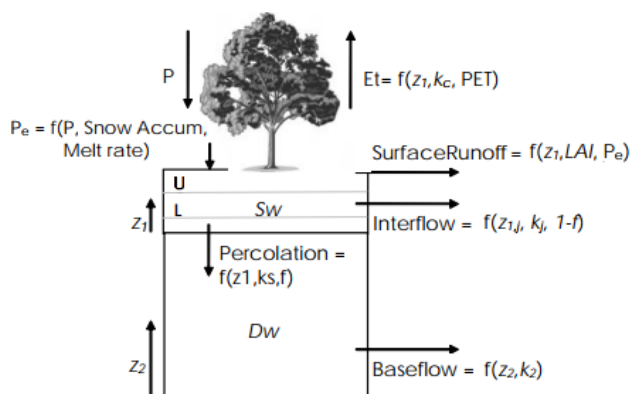


Figura 1. Esquema conceptual del modelo hidrológico WEAP.

Fuente: Yates et al., 2005.

Tabla 4. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo WEAP.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
Sw	Capacidad de almacenamiento de agua en la zona de raíces	108	4320	mm
Ks	Conductividad de la zona radicular	120	900	mm/mes
Dw	Capacidad de almacenamiento de agua en la zona profunda	300	7500	mm
Kd	Conductividad de la zona profunda	140	600	mm/mes
RRF	Factor de resistencia a la escorrentía	0.9	5.85	[]
Rf	Factor de radiación	0.4	8	[]
Rf-min	Factor de radiación (valor mínimo)	7	17	MJ/m ² /día

Fuente: Vicuña et al., 2011.

8.1.2 Modelo hidrológico GR2M

GR2M (Génie Rural 2 à paramètres Mensuel) es un modelo hidrológico agregado que simula el caudal en un intervalo de tiempo mensual (Niel et al., 2003). Este modelo transforma la precipitación en escorrentía mediante la aplicación de una función de producción, donde el modelo se organiza alrededor de un depósito denominado reservorio-suelo; y una función de transferencia, relacionada al segundo reservorio de agua gravitacional que determina el caudal de salida de la cuenca.

El análisis comprende la evaluación de dos parámetros libres, $X1$, corresponde a la capacidad máxima del tanque de producción, en donde la variable de estado relacionada es el contenido actual de humedad H . El segundo parámetro, $X2$, corresponde al intercambio de agua subterránea entre cuencas, este parámetro representa la escorrentía base o flujo subterráneo que tiene mayor incidencia en épocas de estiaje. Asimismo, GR2M considera un tanque de tránsito con una capacidad máxima de 60 mm, el cual es controlado por la variable de estado S . Tanto H como S son consideradas

variables de estado o condiciones iniciales del modelo. Las condiciones contorno o variables forzantes del modelo son la precipitación total mensual P y la evapotranspiración potencial total mensual ETP , las cuales ingresan al modelo que produce como respuesta la escorrentía o escurrimiento en el punto de interés o salida de la cuenca seleccionada (Huard y Mailhot, 2008).

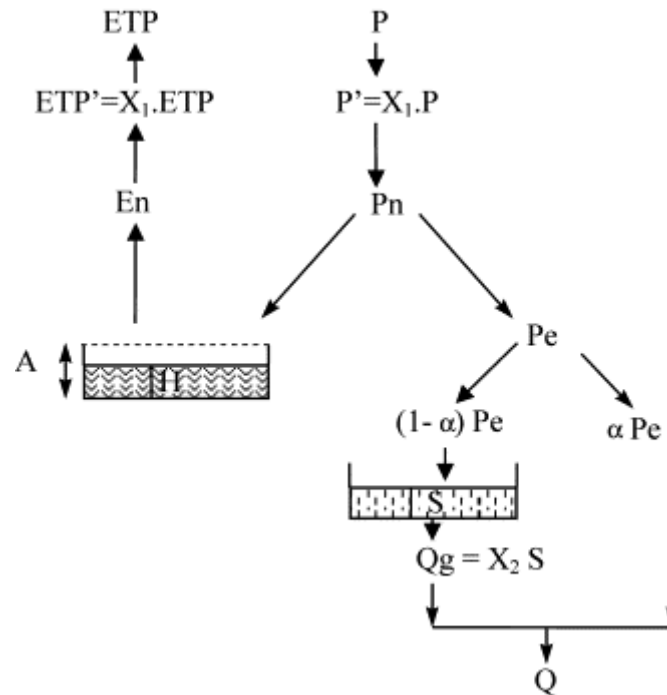


Figura 2. Esquema conceptual del modelo hidrológico GR2M.

Fuente: Niel et al., 2003.

Tabla 5. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo GR2M.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
X1	Capacidad de depósito del suelo	0	1000	mm
X2	Coefficiente de intercambio subterráneo	0	2	[]

Fuente: Huard y Mailhot, 2008.

8.1.3 Ecuación de balance hídrico

El estudio del balance hídrico en hidróloga se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido como ecuación de continuidad. Ésta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada.

La ecuación del balance hídrico, para cualquier zona o cuenca natural (tal como la cuenca de un río) o cualquier masa de agua, indica los valores relativos de entrada y salida de flujo y la variación del volumen de agua almacenada en la zona o masa de agua. En general, las entradas en la ecuación del balance hídrico comprenden la precipitación (P), en forma de lluvia o nieve, realmente recibida en la superficie del suelo, y las aguas

superficiales y subterráneas recibidas dentro de la cuenca o masa de agua desde fuera (Q_{sl} y Q_{ul}). Las salidas en la ecuación incluyen la evaporación desde la superficie de la masa de agua (E) y la salida de corrientes de agua superficial y subterránea desde la cuenca o masa de agua considerada (Q_{so} y Q_{uo}). Cuando las entradas superan a las salidas el volumen de agua almacenada (ΔS) aumenta y cuando ocurre lo contrario disminuye. Todos los componentes del balance hídrico están sujetos a errores de medida o estimación, y la ecuación del balance deberá incluir, por tanto, un término residual o de diferencia (v). Por tanto, el balance hídrico para cualquier masa de agua y cualquier intervalo de tiempo, en su forma más general, es representado por la siguiente ecuación:

$$P + Q_{sl} + Q_{ul} - E - Q_{so} - Q_{uo} - \Delta S - v = 0$$

Para su aplicación a ciertos cálculos, la ecuación del balance hídrico podrá simplificarse o hacerse más compleja, dependiendo de los datos disponibles, del objeto del cálculo, del tipo de masa de agua (cuenca de un río, lago o embalse, etc.), de las dimensiones de la masa de agua, de sus características hidrográficas e hidrológicas, de la duración del balance, y de la fase del régimen hidrológico (crecida, baja crecida) para el cual se calcula el balance hídrico. Es así que la ecuación de balance hídrico puede representarse de la siguiente manera:

$$P - E - Q - \Delta S - v = 0$$

donde Q representa la descarga del río desde la cuenca.

8.1.4 Modelo hidrológico PREVAH

El modelo PREVAH (Precipitation-Runoff-Evapotranspiration-Hydrotope model) pertenece al tipo de modelos determinísticos, distribuidos y conceptuales de lluvia-escorrentía (Bosshard y Zappa, 2008), el cual se basa en el concepto de HRU (Hydrological Response Units) y se desarrolla a escala de tiempo horario (Gurtz et al., 2003; Viviroli et al., 2007). El núcleo del modelo consta de varios subsistemas: un módulo de nieve, un módulo glaciar, un módulo de interceptación, un módulo de almacenamiento y agotamiento del agua del suelo por evapotranspiración, un módulo de generación de escorrentía y un módulo de concentración de descarga y de enrutamiento de inundaciones (Viviroli et al., 2009).

PREVAH contiene hasta 19 parámetros ajustables, que pueden ser subdivididos en 5 grupos: precipitación, fusión de nieve, recarga de humedad del suelo, formación de escorrentía y, opcionalmente, fusión de hielo (Viviroli et al., 2009). Los parámetros de ajuste más sensibles son los factores de ajuste para las nevadas y lluvias (Zappa et al., 2011), los parámetros del módulo de fusión de nieve, el factor de no linealidad que controla la recarga de humedad del suelo, la tasa de percolación y los coeficientes de almacenamiento de los diferentes componentes de generación de escorrentía (Gurtz et al., 2003) y el módulo de fusión de glaciares.

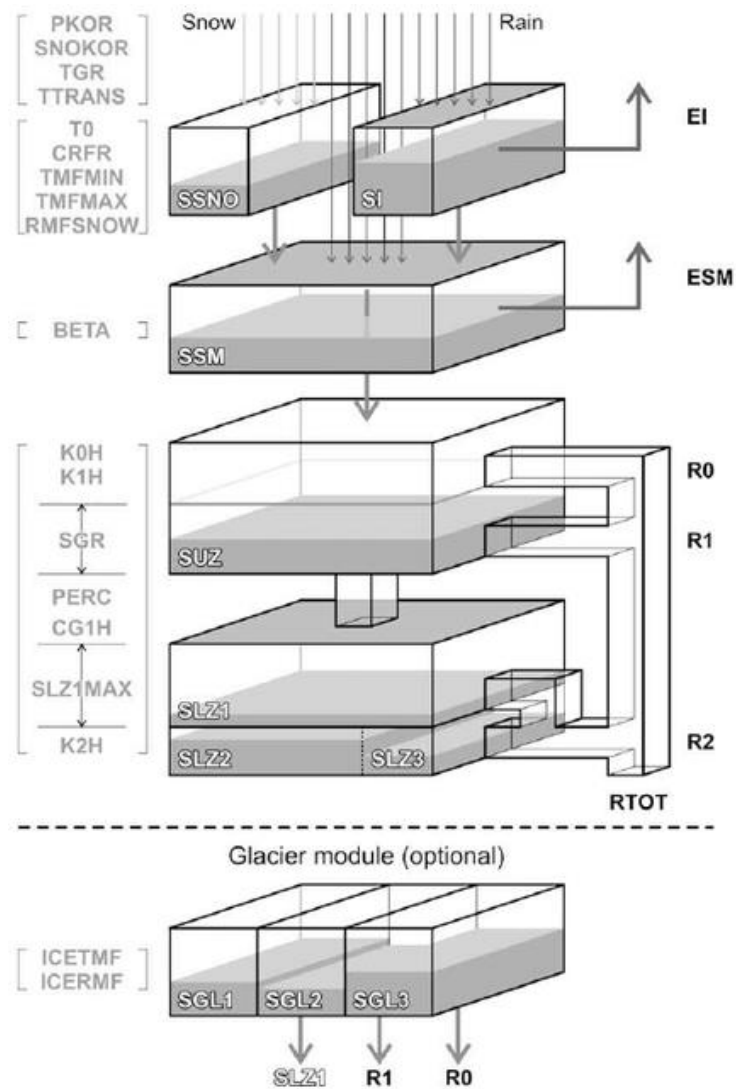


Figura 3. Esquema conceptual del modelo hidrológico PREVAH.

Fuente: Viviroli et al., 2009.

Tabla 6. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo PREVAH.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
PKOR	Ajuste de la lluvia	0	30	[%]
SNOKOR	Ajuste de la nieve	20	50	[%]
BETA	Exponente de recarga de humedad del suelo	3	6	[]
SGR	Umbral de escorrentía superficial	30	50	mm
K0H	Coefficiente de almacenamiento para la escorrentía superficial	10	30	h
K1H	Coefficiente de almacenamiento para el flujo intermedio	100	150	h
PERC	Tasa de percolación	0.1	0.2	mm/h

Fuente: Zappa et al., 2011.

8.1.5 Modelo hidrológico BUDYKO

La curva de Budyko se desarrolló como una expresión teórica para explicar cómo el balance hídrico anual se divide como una función de la magnitud relativa del suministro de agua y energía (Greve et al., 2016). Esta conocida curva describe la relación entre la evapotranspiración potencial (PET) de una cuenca y su evapotranspiración actual o real (AET), cada una normalizada por la precipitación (P), es decir, la curva describe AET/P (índice de evaporación, EI) como una función de PET/P (índice de sequedad, DI). Budyko definió dos estados de captación, siendo la evapotranspiración (ET) limitada por el suministro de energía o el suministro de agua. El clima determina el potencial de secado de la atmósfera (déficit neto de la presión de la radiación y del vapor) y el suministro de agua en la cuenca (interceptado por la superficie del suelo y su capacidad de almacenamiento). Un valor de $DI < 1$ indica una cuenca húmeda, limitada en energía, mientras que un valor de $DI > 1$ indica una cuenca seca, limitada en agua. Una cuenca puede ser trazada en la curva de Budyko basada en su DI y EI (Creed et al., 2014).

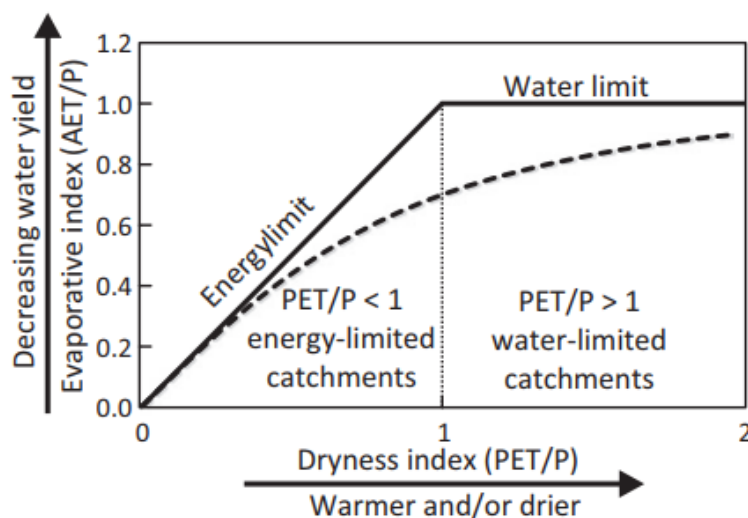


Figura 4. Diagrama de BUDYKO (índice de evaporación vs. índice de sequedad).

Fuente: Creed et al., 2014.

8.1.6 Modelo hidrológico LUTZ SCHOLZ

El modelo matemático desarrollado por Lutz Scholz para las cuencas de la sierra peruana, entre los años 1979-1980, en el marco de la cooperación técnica de la República de Alemania con el Perú a través del Plan Meris II, es uno de los más conocidos entre los modelos estocásticos y markovianos. Este modelo hidrológico mixto combina una estructura determinística para el cálculo de los caudales mensuales y para el año promedio basado en el balance hídrico de los modelos determinísticos y una estructura estocástica para la generación de las series extendidas del caudal mediante los procesos markovianos del modelo estocástico (Sarango et al., 2012; ANA, 2013).

Determinado el hecho de la ausencia de registros de caudal en la sierra peruana, el modelo se desarrolló tomando en consideración parámetros físicos y meteorológicos de las cuencas, que pueden ser obtenidos a través de las mediciones cartográficas y de campo. Los parámetros más importantes del modelo son la determinación de la precipitación efectiva, el déficit de escurrimiento, la retención y agotamiento de las cuencas. Los procedimientos que se han seguido en la implementación del modelo son: (a) el cálculo de los parámetros necesarios para la descripción de los fenómenos de escurrimiento promedio, (b) el establecimiento de un conjunto de modelos parciales de los parámetros para el cálculo de los caudales en las cuencas sin información hidrométrica, (c) la calibración del modelo y la generación de los caudales extendidos por un proceso markoviano combinado de precipitación efectiva del mes con el caudal del mes anterior (INRENA, 2004; Sarango et al., 2012, Ticona, 2003).

8.1.7 Modelo hidrológico HBV

El modelo semidistribuido HBV (Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning), desarrollado por el Instituto Meteorológico e Hidrológico Sueco (SMHI) a principios de los años setenta, se compone de cuatro rutinas hidrológicas fundamentales (Love et al., 2010). Estas rutinas conceptuales calculan la acumulación y la fusión de la nieve, la humedad del suelo y la generación de escurrimiento, la concentración de escurrimiento dentro de la subcuenca y el enrutamiento de las inundaciones de la descarga en la red fluvial. La rutina de nieve utiliza el enfoque grado-día, la humedad del suelo se calcula equilibrando la precipitación y la evapotranspiración usando la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente como parámetros. La generación de escurrimiento es simulada por una función no lineal de la humedad y precipitación reales del suelo. La concentración de escurrimiento es modelada por dos reservorios paralelos no lineales que representan la descarga directa y la respuesta del agua subterránea. El enrutamiento de inundaciones entre los nodos de la red del río utiliza el método de Muskingum. La escurrimiento total se calcula como la suma de las salidas de los depósitos superior e inferior. El flujo total se define mediante una función de transformación, que consiste en una función de pesaje triangular con un parámetro libre, MAXBAS (Bárdossy y Singh, 2008; Pedro-Monzonís et al., 2016). El modelo simula la descarga diaria usando precipitaciones diarias, temperatura y evaporación potencial como entrada (Seibert, 2015).

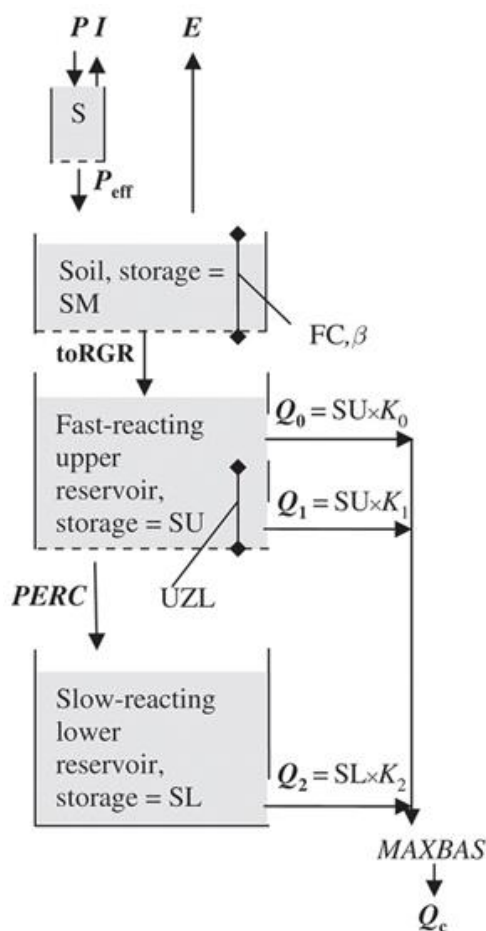


Figura 5. Esquema conceptual del modelo hidrológico HBV.

Fuente: Love et al., 2010.

Tabla 7. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo HBV.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
FC	Almacenamiento máximo de humedad del suelo o capacidad de campo	10	150	mm
β	Función no lineal que calcula la cantidad de agua de infiltración	1	5	[]
UZL	Umbral para el inicio del flujo superficial	10	100	mm
K_0	Constante de almacenamiento del flujo superficial	0.25	1	d ⁻¹
K_1	Constante de almacenamiento de flujo intermedio	0.1	0.7	d ⁻¹
K_2	Constante de almacenamiento del flujo base	0.0001	0.005	d ⁻¹
PERC	Percolación	2	5	mm/d

Fuente: Love et al., 2010.

8.1.8 Modelo hidrológico SMAP

El modelo SMAP (Soil Moisture Accounting Procedure) es un modelo determinístico de simulación hidrológica del tipo lluvia-escorrentía, el cual necesita datos de precipitación, evapotranspiración y tipo de suelo como datos de entrada. El modelo trabaja con un intervalo de tiempo mensual o diario. En su versión con intervalo de tiempo mensual, el modelo SMAP realiza el balance del ciclo hidrológico en dos depósitos hipotéticos, un depósito del suelo y otro subterráneo (Santos de Andrade et al., 2016).

El modelo posee seis parámetros: la capacidad de saturación del suelo (SAT); el exponente relacionada con la generación de escorrentía (pes); el coeficiente de recarga del acuífero (CREC), que está relacionado con la permeabilidad de la zona no saturada del suelo; la tasa de depleción (K) del nivel de agua del segundo depósito (RSUB), responsable de la generación del flujo de base (EB); la tasa de humedad inicial del suelo (TUin), que determina el nivel inicial del segundo depósito (RSOLO) y el flujo de base inicial (EBin)(Rampinelli y Costa, 2015), de los cuales cuatro de ellos son ajustables, como se indica en la siguiente tabla.

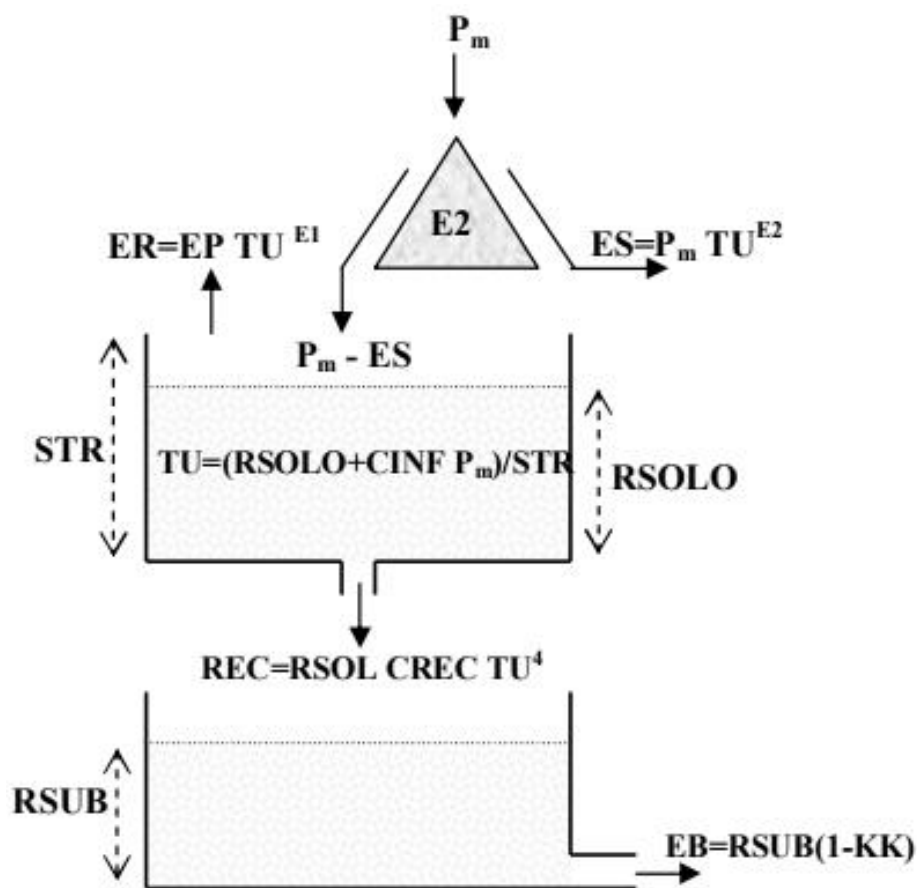


Figura 6. Esquema conceptual del modelo hidrológico SMAP.

Fuente: Da Silva, 2008.

Tabla 8. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo SMAP.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
SAT	Capacidad de saturación del suelo	400	5000	mm
PES	Parámetro que controla el flujo superficial	0.1	10	[]
CREC	Coefficiente de recarga del depósito subterráneo	0	70	[]
K	Constante de recesión del depósito subterráneo	1	6	mes ⁻¹

Fuente: Santos de Andrade et al., 2016.

8.1.9 Modelo hidrológico WATBAL

El modelo empírico de balance hídrico mensual (modelo WatBal) desarrollado por Yates (1994), se basa en la ecuación del balance de masa con un solo reservorio. El componente de equilibrio hídrico del modelo depende de cinco componentes relacionados con: (1) escurrimiento directo (Rd); (2) escurrimiento superficial (Rs); (3) escorrentía sub-superficial (Rss); (4) capacidad máxima de retención de agua de la cuenca; y (5) flujo base (Rb). El modelo tiene tres parámetros ajustables: la capacidad máxima de agua del suelo de la cuenca, Smax, un coeficiente de descarga relacionado con el almacenamiento de agua en el suelo a; y un coeficiente ϵ que determina la influencia del contenido de agua del suelo en la escorrentía. Este modelo requiere como datos de entrada datos de precipitación y evapotranspiración potencial mensual. Asimismo, debido a su estructura de depósito único, el modelo WatBal no es capaz de cuantificar el componente de agua subterránea (Ibrahim et al. 2015).

La particularidad del modelo WatBal es el uso de funciones continuas de almacenamiento relativo para representar la escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial y la evapotranspiración, siendo ésta última una función de la evapotranspiración potencial y el almacenamiento relativo. Finalmente, el escurrimiento superficial y el escurrimiento subsuperficial se calculan como funciones de almacenamiento relativo y precipitación efectiva, respectivamente (Jiang et al., 2007).

Tabla 9. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo WATBAL

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
Smax	Máxima capacidad de almacenamiento de agua de la cuenca	500	2400	mm
a	Coefficiente de descarga relacionado con el almacenamiento de agua en el suelo	0.2	8	mm/día
ϵ	Coefficiente de escorrentía subsuperficial	1	5	[]

Fuente: Ibrahim et al., 2015.

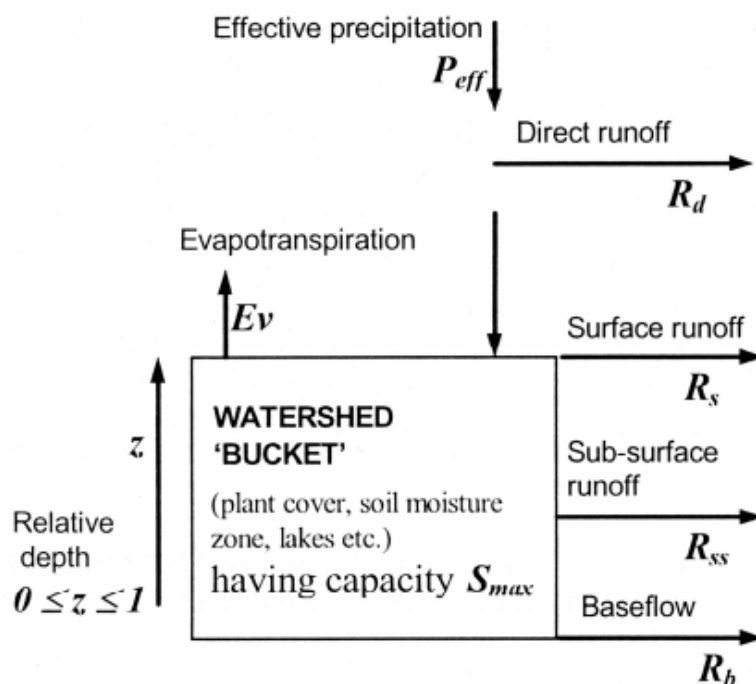


Figura 7. Esquema conceptual del modelo hidrológico WATBAL.

Fuente: Yates, 1994.

8.1.10 Modelo hidrológico SWAT

El modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) es un modelo conceptual semidistribuido, basado en procesos y que requiere un gran número de parámetros de entrada, lo que complica la parametrización y calibración del modelo (Arnold et al., 2012). Fue desarrollado para evaluar los efectos de las decisiones alternativas de manejo de suelos sobre los recursos hídricos y la contaminación de fuentes no puntuales en grandes cuencas fluviales. SWAT utiliza el enfoque de balance hídrico para simular la división hidrológica de las cuencas hidrográficas. En particular, el balance hídrico se calcula considerando los componentes de la nieve, el suelo, el acuífero superficial y el acuífero profundo (Malagò et al., 2016).

SWAT opera en un paso de tiempo diario y está diseñado para predecir el impacto del uso y manejo del suelo sobre el agua, los sedimentos y los rendimientos químicos agrícolas en las cuencas hidrográficas complejas. El modelo está basado en procesos, computacionalmente eficiente y capaz de realizar una simulación continua durante largos períodos de tiempo. Los principales componentes del modelo son el clima, la hidrología, la temperatura y las propiedades del suelo, el crecimiento de las plantas, los nutrientes, los plaguicidas, las bacterias y los patógenos y el manejo del suelo. En SWAT, una cuenca hidrográfica se divide en múltiples subcuencas, que luego se subdividen en unidades de respuesta hidrológica (HRU) que consisten en características homogéneas de uso de la tierra, manejo, topografía y tipos de suelo (Arnold et al., 2012).

Cibin et al. (2010), mediante de una técnica de análisis de sensibilidad global (GSA) empleó la simulación de Monte Carlo utilizando un conjunto de

parámetros generados por una técnica de muestreo adecuada. El caudal predicho se utilizó para calcular la sensibilidad de los parámetros del modelo SWAT. La identificación de los parámetros se investigó a través de la evaluación visual. En su estudio, se analizaron 13 parámetros del modelo SWAT que impactaron el flujo simulado para su sensibilidad e identificabilidad.

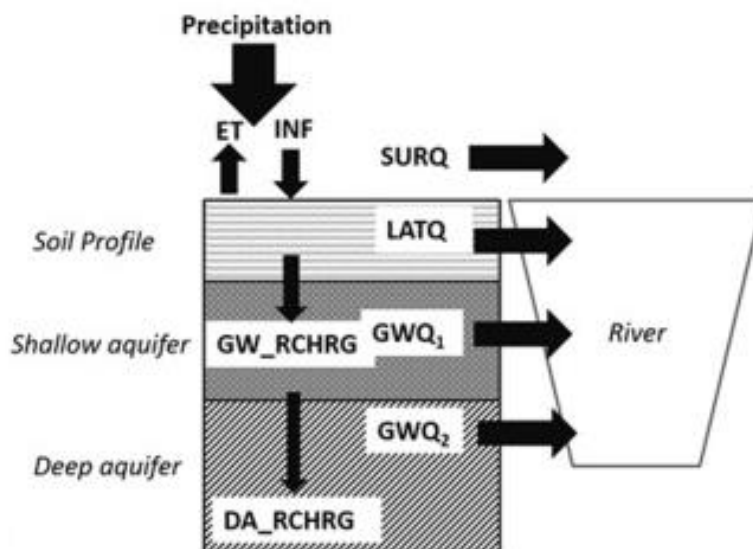


Figura 8. Esquema conceptual del modelo hidrológico SWAT.

Fuente: Malagò et al., 2016.

Tabla 10. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo SWAT.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
ALPHA_BF	Coefficiente de recesión del flujo base ⁽⁴⁾	0	1	days
CN_f	Número de la curva ⁽²⁾	-25	15	[%]
ESCO	Coefficiente de evaporación del suelo ⁽⁵⁾	0.001	1	[]
GW_DELAY	Tiempo de retardo del agua subterránea ⁽⁴⁾	1	500	day
GW_REVAP	Coefficiente de Revap ⁽⁴⁾	0.02	0.2	[]
GWQMN	Profundidad de agua en el acuífero superficial ⁽⁴⁾	0	5000	mm
OV_N	n de Manning ⁽³⁾	0.1	0.3	[]
SFTMP	Temperatura de las nevadas ⁽¹⁾	-5	5	°C
SLOPE	Pendiente ⁽²⁾	-0.5	1	[%]
SLSUBBSN	Pendiente de la subcuenca ⁽²⁾	-0.5	1	[%]
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible ⁽⁴⁾ (6)	-0.3	2	[%]
SOL_K	Conductividad hidráulica saturada ⁽⁴⁾	-0.5	1	[%]
SURLAG	Retraso de superficie ⁽²⁾	1	12	day

Procesos de: ⁽¹⁾nieve; ⁽²⁾escorrentía superficial; ⁽³⁾canal; ⁽⁴⁾aguas subterráneas; ⁽⁵⁾evapotranspiración; ⁽⁶⁾evaporación.

Fuente: Cibin et al., 2010.

8.1.11 Modelo hidrológico HYMOD

El modelo HYMOD es un modelo de paso de tiempo diario con componentes hidrológicos conceptuales típicos, basado en la teoría del rendimiento de escorrentía bajo exceso de infiltración. El proceso de generación de escorrentía se describe mediante un simple modelo de exceso de lluvia basado en el principio de probabilidad distribuida. HYMOD necesita de variables forzantes constituidas por series de precipitación y evapotranspiración potencial media a escala de tiempo diario para transformar dichas variables en escorrentía o caudal en el punto de desembocadura o interés de una cuenca hidrográfica (Quan et al., 2015).

El modelo requiere la calibración de cinco parámetros (Ye et al., 2014). C_{max} es la capacidad máxima de almacenamiento en la cuenca y B_{exp} es un parámetro que describe la distribución espacial de esta capacidad de almacenamiento. Cuando la entrada de precipitación excede la capacidad de almacenamiento, el exceso de agua se dirige a un conjunto de tres almacenes en serie para modelar el flujo rápido o a una descarga lenta de modelado de almacenamiento. Los coeficientes de recesión de los almacenes de flujo rápido y lento son K_q y K_s , respectivamente. La proporción de agua asignada a cada trayectoria está determinada por el parámetro α .

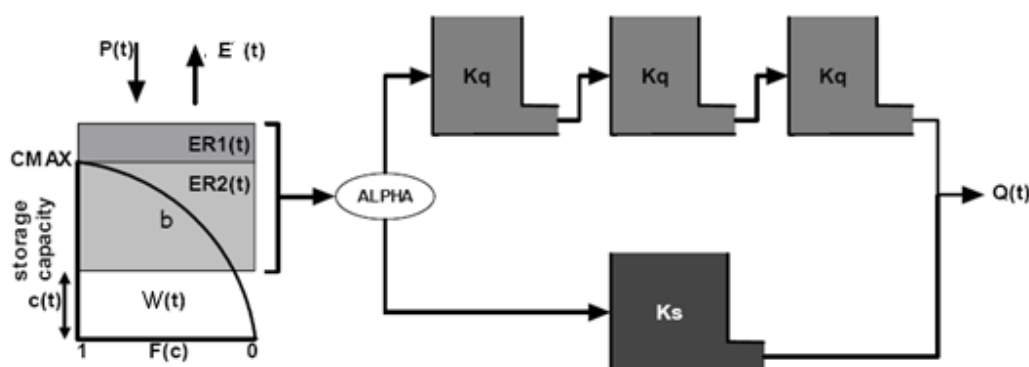


Figura 9. Esquema conceptual del modelo hidrológico HYMOD.

Fuente: Quan et al., 2015.

Tabla 11. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo HYMOD.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
C_{max}	Capacidad máxima de almacenamiento	1	500	mm
B_{exp}	Grado de variabilidad espacial de la capacidad de humedad del suelo	0.1	2	[]
Alpha	Factor de distribución del flujo entre los depósitos de liberación lenta y rápida	0.1	0.99	[]
K_q	Tiempo de residencia de los depósitos de liberación rápida	0.1	0.99	día
K_s	Tiempo de residencia del depósito de liberación lenta	0	0.1	día

Fuente: Ye et al., 2014.

8.1.12 Modelo hidrológico ABCD

El modelo ABCD es un modelo hidrológico no lineal que acepta la precipitación y la evaporación potencial mensual como entrada, produciendo flujo de agua como salida. Internamente, el modelo también representa el almacenamiento de humedad del suelo, el almacenamiento de agua subterránea, la escorrentía directa, el flujo base de agua subterránea y la evapotranspiración real (Li y Sankarasubramanian, 2012). El modelo ABCD fue introducido originalmente por Thomas (1981) en la Universidad de Harvard y posteriormente fue comparado con numerosos modelos mensuales de balance hídrico, lo que llevó a su recomendación por Alley (1984). El modelo ABCD consiste en una representación conceptual de dos depósitos de la humedad del suelo, de la zona superior "XU" y la humedad del suelo de la zona inferior "XL". La precipitación se divide en escorrentía directa "QU", flujo de agua subterránea al canal "QL" y evapotranspiración real "AE" (Martínez y Gupta, 2011).

El modelo tiene cuatro parámetros a , b , c y d , cada uno de los cuales tiene un significado físico. El parámetro a refleja la propensión de la escorrentía a ocurrir antes de que el suelo esté completamente saturado, mientras que el parámetro b representa el límite superior de la suma de la evapotranspiración real y el almacenamiento de la humedad del suelo en un mes determinado. El parámetro c gobierna la asignación de agua que sale de la zona no saturada y entra en la zona saturada e implicando así el índice de flujo base. El parámetro d denota el recíproco del tiempo de residencia del agua subterránea (Li y Sankarasubramanian, 2012).

Tabla 12. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo ABCD.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
a	Propensión para que el escurrimiento ocurra antes de la saturación completa de la cuenca	0.04	1	[]
b	Capacidad de retención de agua en la zona superior del suelo	98	1590	mm
c	Grado de control de la recarga de agua subterránea	0	1	[]
d	Tasa de liberación del flujo base	0	1	[]

Fuente: Martínez y Gupta, 2010.

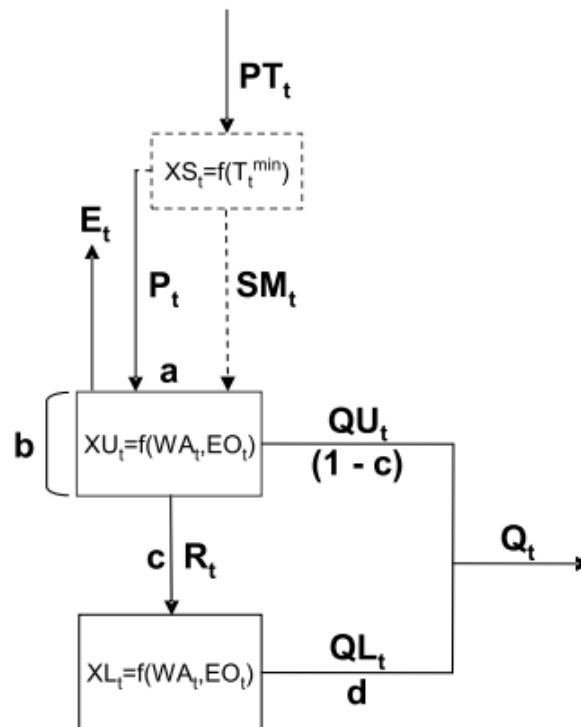


Figura 10. Esquema conceptual del modelo hidrológico ABCD.

Fuente: Martínez y Gupta, 2010.

8.1.13 Modelo hidrológico MWB3

El modelo MWB3 (Three-parameter Monthly Water Balance model) es un modelo hidrológico a escala de tiempo mensual, en el que los datos de entrada requeridos para ser ejecutado son la precipitación y la evapotranspiración potencial y, a su vez, para la calibración del mismo se necesita registros de descargas del río (Müller-Wohlfeil et al., 2003). El balance hídrico total define cómo el almacenamiento de humedad (sm) al mes t puede calcularse como la diferencia entre la suma del almacenamiento de humedad del suelo en el mes $t-1$ y la precipitación (p_t) por una parte, y la suma de la evapotranspiración real (e_t) y la escorrentía total (d_t) en el otro: $sm_t = sm_{t-1} + p_t - e_t - d_t$ (Xu y Vandewiele, 1995; Xu, 1999).

La calibración del modelo MWB3 sólo requiere la humedad del suelo inicial y tres parámetros a ser identificados (Müller-Wohlfeil et al., 2003). El parámetro $a1$ determina el valor de la evapotranspiración real que es una función creciente de la evapotranspiración potencial y del agua disponible. Cuanto más pequeños sean los valores para $a1$, mayores serán las pérdidas por evaporación en todos los estados de almacenamiento de humedad. El parámetro de flujo lento $a2$ controla la proporción de escorrentía que aparece como flujo base y los valores más altos de $a2$ producen una mayor proporción de flujo base. Es probable entonces que se esperen valores más altos en áreas con gran cubierta vegetal que en campo abierto y en suelo arenoso que en suelo arcilloso. El parámetro de flujo rápido $a3$ aumentará con el grado de urbanización, la pendiente media de la cuenca y la densidad de drenaje, y se

esperan valores más bajos para las cuencas con mayor cobertura vegetal (Xu, 1999).

Tabla 13. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo MWB3.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
a1	Factor de evapotranspiración real	0.51	68.11	mm ⁻¹
a2	Factor de escurrimiento lento	6.32	95.19	mes ⁻¹
a3	Factor de escurrimiento rápido	0.01	3.89	mm ⁻¹

Fuente: Müller-Wohlfeil et al., 2003.

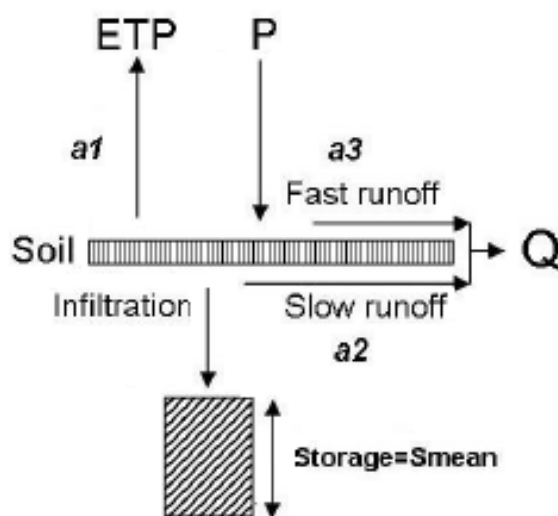


Figura 11. Esquema conceptual del modelo hidrológico MWB3.

Fuente: Vandewiele y Xu, 1991.

8.1.14 Modelo hidrológico MGB-IPH

El modelo MGB-IPH (Modelo Hidrológico de Grandes Bacías) es un modelo hidrológico distribuido de grandes escalas basado en procesos que utilizan ecuaciones físicas y conceptuales para simular, con paso de tiempo diario o horario, los procesos hidrológicos en la superficie terrestre, divididos en cuatro módulos: balance hídrico en el suelo; balance de energía y evapotranspiración; interceptación, generación y propagación de flujos superficiales, sub-superficiales y subterráneos en los elementos de discretización de la cuenca hidrográfica; y propagación de caudal en la red de drenaje (Collischonn et al., 2007). El modelo MGB-IPH trabaja con una discretización en minicuevas, las cuales se subdividen en unidades de respuesta hidrológicas (HRU), que son áreas de comportamiento hidrológico similares definidas por una combinación de mapas de cobertura de la tierra y de tipo del suelo. En cada minicuenca las características de uso del suelo, cobertura vegetal y tipo de suelo se sintetizan en las HRU (Pontes et al., 2015). Para la aplicación del modelo son necesarios datos hidrológicos y meteorológicos, los cuales consisten en archivos que contengan informaciones de caudal, lluvia y clima, siendo este último constituido de datos de

temperatura, presión, insolación, humedad relativa del aire y velocidad del viento (Monteiro, 2016).

El balance de agua en el suelo y el de energía se realiza independientemente en cada URH de las minicuenca, utilizando sus características y parámetros asociados. Los procesos verticales simulados por el modelo MGB-IPH involucra el balance de agua en el suelo, la interceptación, la percolación del agua para el acuífero y el flujo ascendente y la generación de los flujos superficiales, sub-superficiales y subterráneos (Monteiro, 2016). Asimismo, entre los parámetros calibrables del modelo MGB-IPH existen cinco (b , K_{bas} , K_{int} , CS y CI) que se presentan en cualquier aplicación del modelo. Sin embargo, el número de parámetros calibrables W_m 's dependerá del número de bloques de la aplicación del usuario. Así, el número total de parámetros ajustables puede ser diferente para las diversas aplicaciones del modelo MGB-IPH (Bravo, 2008).

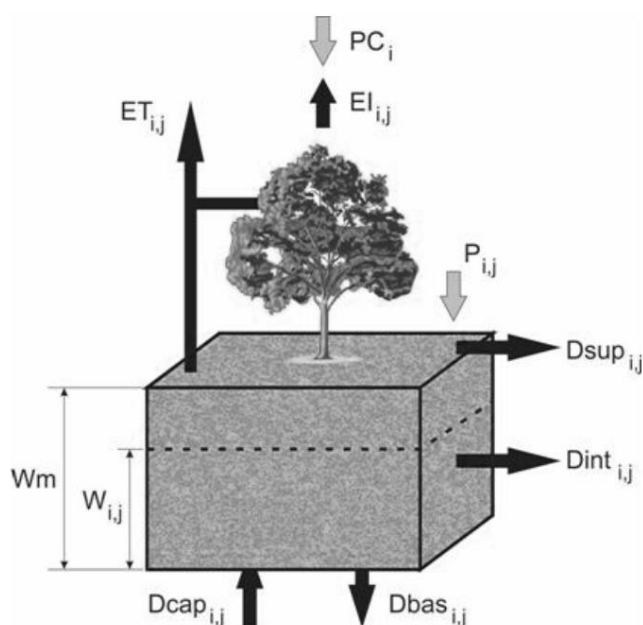


Figura 12. Esquema conceptual del modelo hidrológico MGB-IPH.

Fuente: Collischonn et al., 2020.

Tabla 14. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo MGB-IPH.

Parámetro	Descripción	Valores típicos
b	Forma de la relación empírica entre la fracción de superficie saturada y el almacenamiento medio de humedad del suelo	0,02 – 1,6 [-]
K_{bas}	Parámetro de flujo subterráneo (drenaje muy lento) - control de volumen en recesión y sequía	0,01 – 5 [mm/día]
K_{int}	Parámetro de flujo subsuperficial (drenaje intermedio)	0,01 – 50 [mm/día]
CS	Parámetro para calibrar la dispersión	5 – 35 [-]

	superficial, multiplicativo del tiempo de concentración.	
CI	Parámetro para la calibración de la difusión subsuperficial, multiplicativo del tiempo de concentración.	20 – 200 [-]
W_m	Capacidad de almacenamiento de agua del suelo	10 – 1500 [mm]
W_c	Fracción de W_m por debajo de la cual no se genera escorrentía subterránea y subsuperficial.	0,1 [-]
CAP	Flujo de retorno de la capa subterránea al suelo (capilaridad)	0 [mm/día]
CB	Parámetro de retraso del depósito subterráneo	50 – 250 [días]

Fuente: Collischonn et al., 2020.

8.1.15 Modelo hidrológico TÉMEZ

El modelo de Témez es un modelo matemático simplificado de lluvia-escorrentía de paso mensual, cuyas variables de entrada principales son la precipitación y evapotranspiración. El modelo realiza una valoración global, ya que no considera la distribución espacial de las variables y parámetros que intervienen en los cálculos, que se sustituyen por un valor medio, por lo que su aplicación se limita a cuencas pequeñas o de tamaño intermedio donde existe una cierta homogeneidad climática, edafológica y geológica. Su aplicación a grandes cuencas implica realizar una subdivisión en otras de menor tamaño, que verifiquen los condicionantes del método (Murillo y Navarro, 2011).

El modelo considera el terreno dividido en dos zonas: una zona superior, no saturada, en cuyos poros coexisten agua y aire, y su contenido de agua es asimilable a la humedad del suelo; y una zona inferior o acuífero, la cual se encuentra saturada y funciona como un almacenamiento subterráneo que desagua a la red de drenaje superficial. El balance de humedad que realiza el modelo está constituido por el flujo entrante de precipitación (P), el cual se reparte entre una serie de flujos salientes como la evapotranspiración real (E), la aportación superficial (A_{sup}) y la aportación de origen subterráneo (A_{sub}); de flujos intermedios, únicamente la infiltración (I); y de almacenamientos intermedios como la humedad del suelo (H), y el volumen almacenado en el acuífero (V). Finalmente, el modelo de Témez contempla el ajuste de cuatro parámetros: H_{max} , C, I_{max} y a. Los parámetros H_{max} y C regulan el almacenamiento de agua en el suelo, I_{max} separa la escorrentía superficial de la subterránea y el parámetro a regula el drenaje subterráneo.

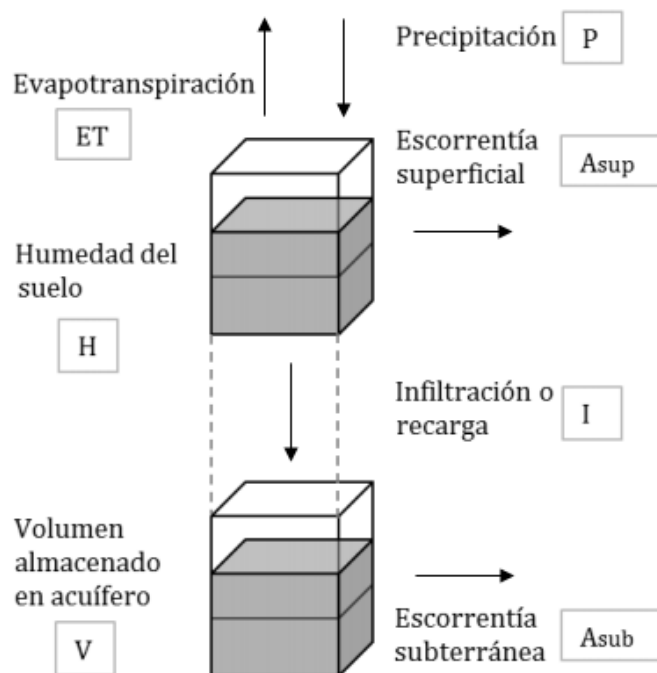


Figura 13. Esquema conceptual del modelo hidrológico TÉMEZ.

Tabla 15. Rangos de los parámetros del modelo de TÉMEZ.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
H_{max}	Capacidad máxima de almacenamiento del suelo	50	250	mm
C	Coefficiente de inicio de excedente	0.2	1	[]
I_{max}	Infiltración máxima	10	150	mm
a	Constante que regula el drenaje subterráneo	0.001	0.9	mes ⁻¹

8.1.16 Modelo hidrológico GR4J

El modelo GR4J (Génie Rural à 4 paramètres Journalier) fue desarrollado en Francia para el modelamiento de lluvia-escorrentía a escalas diarias, el cual presenta 4 parámetros para su calibración requiriendo como información de entrada precipitación y temperatura (Perrin et al., 2003). En GR4J, los componentes de producción incluyen una interceptación de precipitación cruda y evapotranspiración potencial por un reservorio de interceptación de capacidad nula, un procedimiento de contabilidad de humedad del suelo (SMA) para calcular la precipitación efectiva y un término de intercambio de agua (F) para modelar las pérdidas o ganancias de agua de acuíferos profundos (Oudin et al., 2006).

El parámetro X1 describe el tamaño del almacenamiento de producción que recibe una proporción variable de la entrada de precipitación. Este almacenamiento de agua es la fuente de evapotranspiración y, junto con la precipitación que evita el almacenamiento de la producción, forma el flujo de salida de la percolación. Esta agua se divide a continuación en dos partes: el 90% es procesado por el hidrograma unitario UH1 seguido por un

almacenamiento de enrutamiento no lineal, mientras que el 10% restante es procesado por la función hidrográfica unitaria $UH2$. La razón para dividir la percolación en dos partes es que esto permite modelar el desfase de tiempo dividiendo la salida de agua a diferentes días. Ambas funciones dependen del parámetro $X4$, que determina la base de tiempo para las funciones UH ($X4$ y $2 \cdot X4$ para $UH1$ y $UH2$, respectivamente). El agua procesada por $UH1$ sirve como entrada para el almacenamiento de enrutamiento de tamaño $X3$. El modelo considera además las transferencias de agua desde y hacia el agua subterránea descritas por el parámetro $X2$.

Tabla 16. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo GR4J.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
X1	Capacidad del reservorio de producción	100	1200	mm
X2	Coefficiente de intercambio de agua	-5	3	mm
X3	Capacidad del depósito de enrutamiento no lineal	20	300	mm
X4	Base de tiempo del hidrograma unitario	1.1	2.9	día

Fuente: Perrin et al., 2003.

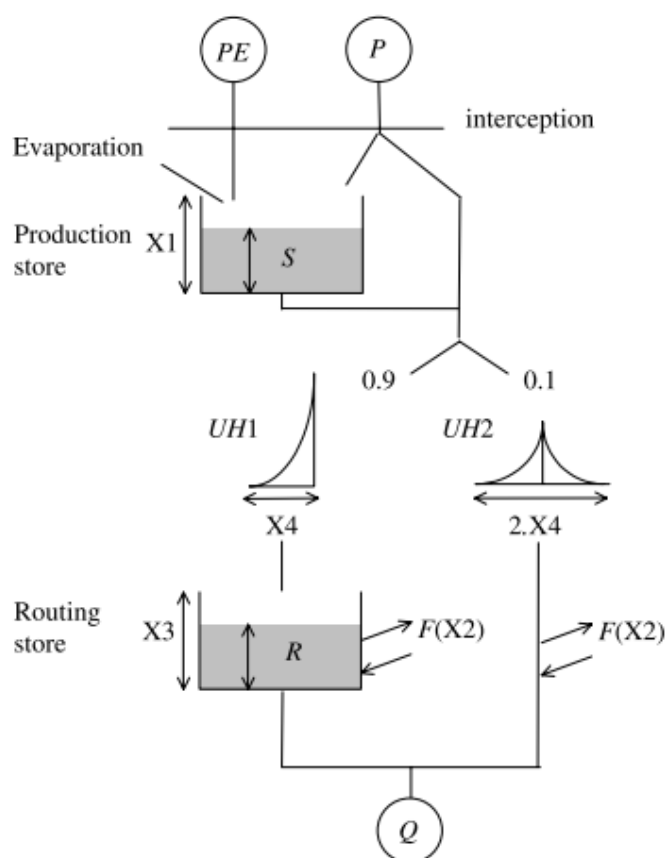


Figura 14. Esquema conceptual del modelo hidrológico GR4J.

Fuente: Oudin et al., 2006.

8.1.17 Modelo hidrológico SAC-SMA

El modelo SAC-SMA (Sacramento Soil Moisture Accounting) es un modelo no lineal, de tiempo continuo y conceptual de lluvia-escorrentía el cual conceptualiza la cuenca como tres capas verticales: la superficie, la zona de suelo superior y las capas de suelo de la zona inferior. Este modelo incluye 16 parámetros, tres de los cuales fueron fijados a valores especificados; los 13 restantes deben determinarse mediante algún tipo de ajuste (Ajami et al., 2007).

La superficie puede ser permeable, permitiendo la filtración de agua, permanentemente impermeable (PCTIM) o sólo temporalmente impermeable (ADIMP), por ejemplo, pequeños depósitos que están llenos de agua y actúan como áreas impermeables cuando la cuenca se humedece. Las capas del suelo consisten en dos tipos de almacenamiento: la tensión y los depósitos de agua libre. Se diferencian en el mecanismo de agotamiento, con el agua se retira de los almacenes de tensión a través de la evapotranspiración, mientras que los depósitos de agua libre liberan el agua por movimientos laterales y hacia abajo. La zona superior del suelo tiene un almacenamiento de agua de tensión (UZTWM) que representa la cantidad máxima de agua que puede almacenarse antes de que se produzca el drenaje. Solamente cuando se llena este almacenamiento, hay agua dirigida al depósito superior de agua libre (UZFWM). El flujo intermedio es proporcional a la proporción de agua libre en este almacenamiento y se modela utilizando el coeficiente UZK. La zona inferior del suelo consiste también en un almacenamiento de tensión (LZTWM) y dos depósitos de agua libres, que determinan el flujo de base. El almacenamiento primario (LZFPM) es un almacenamiento de drenaje lento con un coeficiente de agotamiento LZPK, mientras que el almacenamiento suplementario (LZFSM) libera el agua más rápidamente en función del coeficiente LZSK.

La percolación depende de la cantidad de agua en la zona superior, así como del déficit de humedad en la zona inferior. Se describe por los parámetros REXP (caracterizando la relación entre la humedad en las zonas superior e inferior) y ZPERC (tasa máxima de percolación). PFREE describe la proporción de agua que llega al almacenamiento de agua libre de la zona inferior cuando el almacenamiento de agua de tensión aún no se ha llenado, un efecto observado debido a heterogeneidades en las precipitaciones y propiedades del suelo. El parámetro RIVA da información sobre el porcentaje de la cuenca cubierta por vegetación, una característica que afecta a la evapotranspiración.

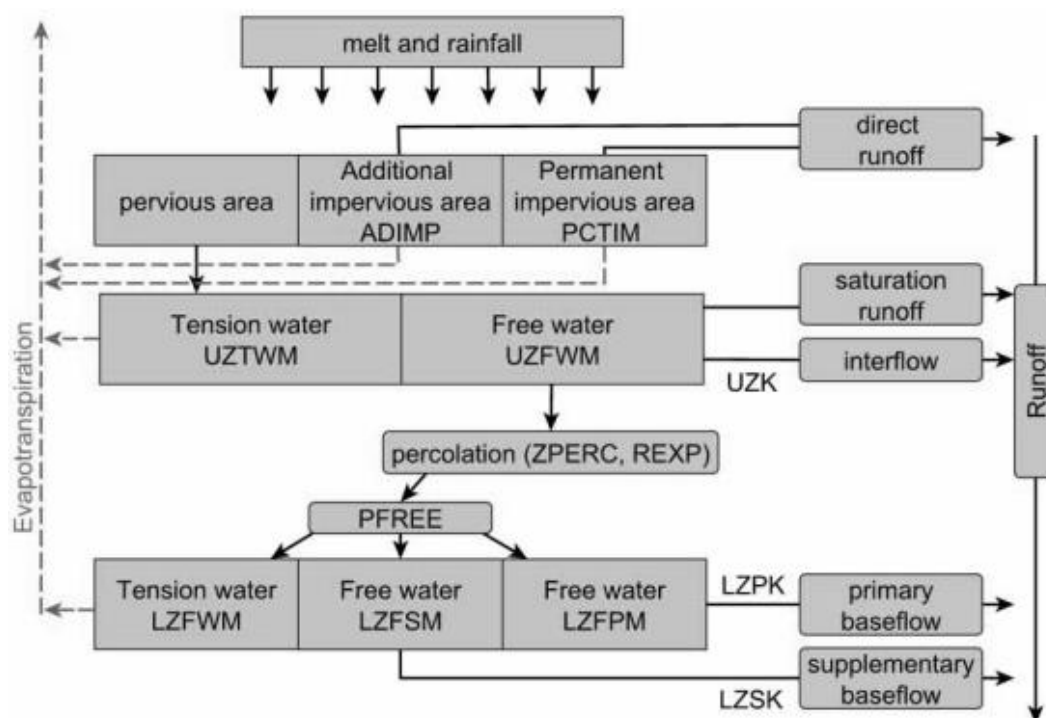


Figura 15. Esquema conceptual del modelo hidrológico SAC-SMA.

Tabla 17. Rangos de incertidumbre de los parámetros del modelo SAC-SMA.

Parámetro	Descripción	Mínimo	Máximo	Unidad
UZTWM	Almacenamiento máximo del agua de tensión de la zona superior	1	150	mm
UZFWM	Almacenamiento máximo del agua libre de la zona superior	1	150	mm
LZTWM	Almacenamiento máximo del agua de tensión de la zona inferior	1	500	mm
LZFPM	Almacenamiento máximo primario de agua libre de la zona inferior	1	1000	mm
LZFSM	Almacenamiento máximo suplementario de agua libre de la zona inferior	1	1000	mm
ADIMP	Área impermeable adicional	0	0.4	[]
UZK	Tasa de agotamiento lateral del agua libre de la zona superior	0.1	0.5	d ⁻¹
LZPK	Tasa de agotamiento del agua libre primaria de zona la inferior	0.0001	0.025	d ⁻¹
LZSK	Tasa de agotamiento del agua libre suplementaria de zona la inferior	0.01	0.25	d ⁻¹
ZPERC	Tasa de percolación máxima	1	250	[]
REXP	Exponente de la ecuación de percolación	1	5	[]
PCTIM	Fracción impermeable de la cuenca	0	0.1	[]
PFREE	Fracción de agua que se filtra desde la zona superior directamente hasta el almacenamiento de agua libre de la zona inferior	0	0.6	[]

Fuente: Gupta et al., 1999.

8.2 Documentación oficial de la información hidrológica disponible para gobiernos subnacionales

Nº	Tipo de recurso	Nombre del recurso	Autor	Año	Escala	Formato	Estado situacional
1	Nota Técnica	Uso de producto grillado PISCO de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2017	Nacional	Pdf	Concluido
2	Artículo científico	Construction of a high-resolution gridded rainfall dataset for Peru from 1981 to the present day (https://doi.org/10.1080/02626667.2019.1649411)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2019	Nacional	Pdf	Concluido
3	Artículo científico	Construction of a daily streamflow dataset for Peru using a similarity-based regionalization approach and a hybrid hydrological modeling framework (https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101381)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2021	Nacional	Pdf	Concluido
4	Artículo científico	PISCO_HyM_GR2M: A Model of Monthly Water Balance in Peru (1981–2020) (https://doi.org/10.3390/w13081048)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2021	Nacional	Pdf	Concluido
5	Artículo científico	PISCOeo_pm, a reference evapotranspiration gridded database based on FAO Penman-Monteith in Peru (https://doi.org/10.1038/s41597-022-01373-8)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2022	Nacional	Pdf	Concluido
6	Artículo científico	High-resolution gridded hourly precipitation dataset for Peru (PISCOp_h) (https://doi.org/10.1080/02626667.2022.2111111)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2022	Nacional	Pdf	Concluido

Nº	Tipo de recurso	Nombre del recurso	Autor	Año	Escala	Formato	Estado situacional
		16/j.dib.2022.108570)	Hidrología del Perú				
7	Artículo científico	High-resolution grids of daily air temperature for Peru - the new PISCOt v1.2 dataset (https://doi.org/10.1038/s41597-023-02777-w)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2023	Nacional	Pdf	Concluido
8	Estudio	Desarrollo de curvas pluviométricas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) en Perú (https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/2825)	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú	2023	Nacional	Pdf	Concluido























8.3 Enlaces de acceso a la información hidrológica

- Producto PISCO precipitación diaria (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.daily/.Prec/?Set-Language=es>
- Producto PISCO precipitación mensual (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Prec/.v2p1/.stable/.monthly/.Prec/?Set-Language=es>
- Producto PISCO temperatura máxima diaria (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Temp/.v1p1/.tmax/.stable/.daily/.tmax/?Set-Language=es>
- Producto PISCO temperatura máxima mensual (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Temp/.v1p1/.tmax/.stable/.monthly/.tmax/?Set-Language=es>
- Producto PISCO temperatura mínima diaria (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Temp/.v1p1/.tmin/.stable/.daily/.tmin/?Set-Language=es>
- Producto PISCO temperatura mínima mensual (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Temp/.v1p1/.tmin/.stable/.monthly/.tmin/?Set-Language=es>
- Producto PISCO evapotranspiración potencial diaria (1981-2016)

<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.PET/.v1p1/.stable/.daily/.PET/>

- Producto PISCO evapotranspiración potencial mensual (1981-2016)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.PET/.v1p1/.stable/.monthly/.PET/>
- Producto PISCO caudal mensual por subcuencas (1981-2020)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Streamflow/.v1p1/.monthly/.GR2M/>
- Producto PISCO caudal mensual en la red de drenaje (1981-2020)
<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.SENAMHI/.HSR/.PISCO/.Streamflow/.v1p1/.monthly/.GR2Ms/>
- Producto PISCO precipitación horaria (2015-2020)
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5743166>
- Producto PISCO temperatura v1.2 (1981-2020)
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5959863>
- Producto PISCO evapotranspiración de referencia PM v1.2 (1981-2016)
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5633182.v3>
- Curvas IDF incluyendo escenarios de cambio climático
<https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/>

8.4 Estructura de la información hidrológica digital

- ✓  BD_Hidrologia_(ambito de estudio)
 - ✓  1. Base_datos_hidrologica
 -  1.1 Base de datos hidrologica
 - ✓  1.2 Calidad de datos
 -  A. Metadatos
 -  B. Graficos de control de calidad
 -  1.3 Climatologia de variables
 -  1.4 Indices
 - ✓  2. Datos espaciales
 -  2.1 Cartografia basica
 -  2.2 Shapefiles
 -  2.3 Raster
 -  2.4 Proyectos SIG
 -  2.5 Estilos (layers)
 -  2.6 Metadatos espaciales
 - ✓  3. Mapas
 -  3.1 PDF (A0)
 -  3.2 JPG_PGN (A4)
 - ✓  4. Memoria descriptiva
 -  4.1 Word
 -  4.2 PDF
 -  5. Actas de acuerdos o reuniones

8.5 Ficha de metadatos de la base de datos espacial

Tabla 18. Ejemplo para información climática con nivel de estudio meso y macro zonificación

1.1. Título	Precipitación total mensual
1.2. Resumen	Precipitación acumulada a nivel mensual para el período de tiempo de 1981 - 2016
1.3. Palabras, Clave	Caracterización, precipitación total mensual
1.4. Fecha Creación	2024-05-10
1.5. Categoría	Hidrología
1.6. Grupo	Sub Gerencia de Recursos Hídricos
2.1. Idioma	Español
2.2. Limitación Uso	Válido para la escala de uso 1:100,000
2.3. Región	Límite de longitud oeste: -77.177496 Límite de longitud este: -76.025771 Límite de latitud sur: -10.479066 Límite de latitud norte: -8.767004
2.4. Declaración Calidad Datos	Se basa en datos históricos observados acumulados a nivel mensual.
2.5. Restricciones	Copyright
2.6. Otras Restricciones	
3.1. Propósito	
3.2. Información Adicional	Artículo científico del SENAMHI DOI
3.3. Resolución Espacial	1:100,000
3.4. Frecuencia Actualización	Según Necesidad
3.5. Tipo Representación Espacial	Raster
3.6. Nombre del Archivo	PP_Monthly.tif
3.7. Nombre del Contacto del Gobierno subnacional	
3.8. Correo del Contacto del Gobierno subnacional	

 Obligatorio

 Opcional

8.6 Propuesta de índice del estudio hidrológico

A continuación, se describe el índice de un estudio hidrológico para una microzonificación

Primeras Hojas de la Memoria:

- **Título:** Estudio hidrológico de indicar el nombre del ámbito de estudio, distrito de ..., provincia de ..., departamento de
- **Caratula (portada)** (incluir la información relevante del estudio: título del estudio, ámbito del estudio, nombre del gobierno subnacional, nombre del proyecto o proceso territorial, año de presentación, logo del gobierno subnacional y del SENAMHI).
- **Hoja de Créditos** (en la segunda hoja incluir los participantes en el desarrollo del estudio).

Cuerpo de la Memoria:

Índice (configuración automatizada)

Listado de tablas (configuración automatizada)

Listado de figuras (configuración automatizada)

Anexos (configuración automatizada)

Resumen (descripción breve y relevante del proceso del estudio: introducción, objetivo principal y su importancia en el uso del estudio, métodos aplicados, resultados y conclusiones principales del estudio, máximo 1 página)

Introducción (descripción del contexto en el que se desarrolla el estudio, metodología citada acorde a este lineamiento e importancia del estudio en la toma de decisiones para el mejor uso y ocupación del territorio, máximo 2 hojas)

1. Aspectos generales
 - 1.1. Objetivos (el objetivo general responde a especificar qué se busca lograr con este estudio (Qué), para qué propósito se realiza (para qué), y mediante qué elementos, métodos o tecnologías específicas (mediante qué). Los objetivos específicos deben estar alineados al objetivo general y el nivel de estudio))
 - 1.2. Alcance (del estudio y de la memoria descriptiva)
 - 1.3. Marco normativo
 - 1.4. Nivel de estudio
 - 1.5. **Ámbito de estudio** (descripción del ámbito de estudio utilizando los límites administrativos referenciales del IGN, ámbito de intervención. Incluir datos de superficie en hectáreas y km², datos de población de fuente oficial y mapa de ubicación)
2. Descripción de la cuenca (describir la línea base de la cuenca hidrográfica que contiene la zona de estudio)
 - 2.1. Ubicación
 - 2.2. Información básica
 - 2.3. Parámetros morfológicos de la cuenca
 - 2.4. Zonas de vida
 - 2.5. Uso y cobertura de la tierra
 - 2.6. Grupo hidrológico de suelos
 - 2.7. Sistema hidrográfico (red de drenaje)
3. Inventario de fuentes de agua superficial
 - 3.1. Aforos
 - 3.2. Inventario de infraestructura hidráulica
 - 3.3. Visita de estaciones hidrometeorológicas

4. Análisis climatológico de la cuenca
 - 4.1. Control de calidad de la información meteorológica
 - 4.1.1. Temperatura
 - 4.1.2. Precipitación
 - 4.1.3. Evapotranspiración
 - 4.1.3. Otros (incluir otras variables adicionales de acuerdo con la existencia y disponibilidad y récord histórico de datos como viento, presión y humedad atmosféricas)
 - 4.2. Generación de base de datos
 - 4.3. Clasificación climática
 5. Análisis hidrológico superficial
 - 5.1. Precipitación
 - 5.2. Temperatura
 - 5.3. Evapotranspiración de referencia
 - 5.4. Hidrometría (caudales superficiales)
 6. Uso y demanda de agua
 - 6.1. Uso agrícola y pecuario
 - 6.2. Uso poblacional
 - 6.3. Uso minero
 - 6.4. Otros usos
 - 6.5. Demanda hídrica actual
 7. Oferta hídrica superficial
 - 7.1. Fuente de agua principal
 - 7.2. Modelamiento hidrológico
 8. Análisis de eventos extremos
 - 8.1. Inundaciones
 - 8.2. Sequías
 9. Variabilidad y cambio climático
 - 9.1. Impactos del ENSO
 - 9.2. Impactos del cambio climático
 10. Balance hídrico
 - 10.1. Situación actual
 - 10.2. Escenarios futuros
- Conclusiones
- Recomendaciones
- Bibliografía
- Anexos
- Anexo1. Glosario de términos

Anexo2. Matriz de sistematización de la información existente para la elaboración del Estudio de Clima

Anexo3. Ficha de metadatos de la base de datos espacial

Anexo4. Mapas

Anexo5. Acta de acuerdos para el inicio de la elaboración del Estudio de Clima

Anexo6. Evidencia de las asistencias técnicas impartidas por el SENAMHI

8.7 Términos de referencia para la generación de información hidrológica

El contenido mínimo debe considerar lo siguiente:

A. Denominación del servicio: Contratar el servicio de locación/consultoría para la “Elaboración del Estudio hidrológico en el marco del Proyecto “.....”

B. Requerimientos:

b.1. Requisitos del proveedor

- Los proveedores podrán ser una persona natural o jurídica con inscripción vigente en el Registro Nacional de proveedores (RNP) del Organismo Supervisor de las Contrataciones del Estado – OSCE (servicios).
- No estar en el registro de proveedores inhabilitados para contratar con el Estado.
- No encontrarse suspendido para contratar con el Estado.
- No tener impedimentos para participar en el procedimiento.

b.2. Personal clave

N°	Cargo	Profesión	Experiencia	Capacitación
1	Especialista en hidrología y/o recursos hídricos	Título profesional universitario de ingeniero agrícola 1/, geógrafo, civil, mecánico de fluidos o afines. Colegiado y habilitado.	Experiencia específica acumulada de tres (05) años desde la colegiatura con experiencia comprobada en el cargo de especialista en hidrología.	No menor de 30 horas lectivas en procesamiento y manejo de datos hidrológicos y/o percepción remota y/o modelamiento hidrológico.

Nota:

1/ Se considera la carrera de ingeniería agrícola como disciplina priorizada de acuerdo con la malla curricular profesional.

C. Forma de pago: para efectos de esta sección, se recomienda que las armadas de pago del último producto se realice previa conformidad del ente rector, el cual se evidencia con la emisión del Oficio, carta o nota de elevación del SENAMHI dirigida al solicitante de la revisión del estudio temático.

8.8 Proyecto de Oficio para la solicitud de datos hidrometeorológicos

OFICIO N.º -2023

Señor:

.....

PRESIDENTE EJECUTIVO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Jr. Cahuide 785 Jesús María

Presente. –

ASUNTO: SOLICITUD DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA QUE GENERA LA INSTITUCIÓN

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y a la vez manifestarle que el Gobierno Regional de, en el marco de la ejecución del Proyecto “.....” o Proceso de Zonificación, solicita información oficial de su Institución para la generación de información hidrológica de nivel de estudio microescala. Tomando en consideración los aspectos mencionados, se requiere actualizar la información temática asociada a la caracterización hidrológica para responder a las acciones públicas de, que presenta nuestro gobierno regional o municipalidad local.

En ese sentido, con el fin de contar con información que se utilizará para elaborar los estudios señalados, se solicita lo siguiente para el ámbito/departamento/provincia/distrito de

- Datos observaciones, en formato Excel, a nivel diario de la red de estaciones convencionales y automáticas, actualizada al año 202... para las variables disponibles: caudal, precipitación, temperatura máxima y mínima del aire, humedad relativa y viento, de las estaciones meteorológicas localizadas dentro y en los alrededores del ámbito en estudio/departamento/provincia/distrito de.....
- Coordenadas geográficas de la red de estaciones convencionales y automáticas en formato Excel.
- Reporte de metadatos de los datos observacionales sobre la ubicación y registros, en formato Excel.
- Normales climáticas reglamentarias de la red de estaciones convencionales y automáticas localizadas dentro y en los alrededores del ámbito en estudio/departamento/provincia/distrito de....., en formato excel.
- Información adicional que consideren oportuno para estos estudios, tanto documentos técnicos o información cartográfica.

¡Importante!

Para la generación de información asociada a Cambio Climático, incluir la información requerida de acuerdo a la Resolución de Presidencia Ejecutiva N° 050-2020-SENAMHI/PREJ.

Finalmente, le comunico que el profesional designado como punto focal para la conducción de este Proyecto / proceso de Zonificación es el Ing. (Email:@gmail.com, Teléfono: 9.....),

Sin otro particular hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente

.....
Gobierno Regional/ Municipalidad local

8.9 Proyecto de Oficio para la solicitud de asistencia técnica

OFICIO N.º _____ -2023

Señor:

.....

PRESIDENTE EJECUTIVO

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Jr. Cahuide 785 Jesús María

Presente. -

ASUNTO: SOLICITA ASISTENCIA TECNICA PARA LA PARA ELABORACIÓN DE
.....

Tengo el agrado de dirigirme a usted, para saludarlo cordialmente y a la vez manifestarle que el Gobierno Regional de, en el marco de la ejecución del Proyecto "....." o Proceso de Zonificación, solicita una asistencia técnica para la elaboración del estudio del ámbito de estudio/departamento/provincia/distrito de

El objetivo de la asistencia técnica solicitada es iniciar las coordinaciones con el ente rector y contar con la explicación de los criterios técnicos impartidos por el SENAMHI para el desarrollo de las actividades en mención, el cual busca respetar la rectoría de los entes rectores.

Asimismo, le solicitamos designar formalmente a un especialista de su institución que estará a cargo del asesoramiento continuo para el logro efectivo de cada una de las actividades propuestas.

Finalmente, le comunico que el profesional designado como punto focal para la conducción de este Proyecto / proceso de Zonificación es el Ing. (Email:@gmail.com, Teléfono: 9.....), quien se estará comunicando y solicitando con su debida anticipación las fechas de las reuniones técnicas virtuales y/o presenciales que se estarán desarrollando.

Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para expresarle los sentimientos de mi especial consideración y estima.

Atentamente,

.....

Gobierno Regional/ Municipalidad local

8.10 Ejemplo de Nomenclatura de los títulos para los mapas

Variable	Título en el membrete
Precipitación	PRECIPITACIÓN NORMAL (MM) – MES Cuenca del río Marañón
Temperatura Máxima	TEMPERATURA MÁXIMA NORMAL (°C) – MES Cuenca del río Marañón
Temperatura Mínima	TEMPERATURA MÍNIMA NORMAL (°C) – MES Cuenca del río Marañón
Evapotranspiración de referencia	EVAPOTRANSPIRACIÓN NORMAL (MM) – MES Cuenca del río Marañón
Precipitación máxima en 24 horas	PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS PARA EL PR DE 500 AÑOS Cuenca del río Marañón
Sequias meteorológicas Cuenca del río Marañón