



ÍNDICE DE SALUD DEL AGUA

**Cuenca Alto Mayo
Región San Martín, Perú**

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos los participantes por su colaboración en el estudio del Índice de Salud del Agua en el Alto Mayo, que contribuyeron en la encuesta de percepción, entrega de información, validación de los resultados, comentarios y sugerencias sobre los principales desafíos que se presentan en la gestión de los recursos hídricos. Agradecemos de manera especial al equipo técnico del Comité Subcuenca Mayo (representado por ARA-GORESAM, PEAM, EPS-MOYOBAMBA y CIP-CDSM), por su valiosa colaboración y orientación técnica para un mejor desarrollo del estudio. Nos gustaría también agradecer al Centro del Agua para América Latina y el Caribe (cuyo financiamiento proviene del Banco Interamericano de Desarrollo, la Fundación FEMSA y el Tecnológico de Monterrey), por su apoyo técnico en la realización de los modelos hidrológicos, escenarios futuros de cambio climático y por la viabilidad de financiamiento de este proyecto.

REALIZACION:

**CONSERVATION
INTERNATIONAL**



EN COLABORACION CON:



FINACIAMENTO:



CO-FINACIAMENTO:



經 綸 慈 善 基 金 有 限 公 司

VICTOR AND WILLIAM FUNG FOUNDATION LTD



TABLA DE CONTENIDOS

Resumen Ejecutivo

Resultados Principales

Conclusiones y Próximos pasos

Parte I: Evaluación de la Línea Base

1. Introducción

2. Vitalidad del Ecosistema: Resultados de Indicadores y Subindicadores

- 2.1. Cantidad de Agua
 - 2.1.1. Desviación del Régimen de Flujo Natural
 - 2.1.2. Agotamiento de agua subterránea
- 2.2. Calidad de Agua
 - 2.2.1. Índice de Calidad de Agua
- 2.3. Condición de la Cuenca
 - 2.3.1. Modificación del Canal
 - 2.3.2. Conectividad del Flujo
 - 2.3.3. Naturalidad de la Cobertura Terrestre
- 2.4. Biodiversidad
 - 2.4.1. Especies de Interés
 - 2.4.2. Especies Invasoras

3. Servicios del Ecosistema: Resultados de Indicadores y Subindicadores

- 3.1. Servicios de Suministro
 - 3.1.1. Confiabilidad del Suministro de Agua en Relación con la Demanda
 - 3.1.2. Biomasa para Consumo
- 3.2. Servicios de Regulación y Soporte
 - 3.2.1. Regulación de Sedimentos
 - 3.2.2. Regulación de la Calidad del Agua
 - 3.2.3. Regulación de Enfermedades
 - 3.2.4. Regulación de Inundaciones
- 3.3. Servicios Culturales
 - 3.3.1. Conservación y Patrimonio Natural
 - 3.3.2. Recreación

4. Gobernanza & Partes Interesadas: Resultados de Indicadores y Subindicadores

- 4.1. Entorno Propicio
 - 4.1.1. Gestión de Recursos Hídricos
 - 4.1.2. Normas para el uso del recurso
 - 4.1.3. Incentivos y Regulaciones
 - 4.1.4. Capacidad Técnica
 - 4.1.5. Capacidad Financiera
- 4.2. Compromiso de las Partes Interesadas
 - 4.2.1. Información y Conocimientos
 - 4.2.2. Participación en los Procesos de Toma de Decisiones
- 4.3. Efectividad
 - 4.3.1. Aplicación y Cumplimiento
 - 4.3.2. Distribución de Beneficios
 - 4.3.3. Conflicto Relacionado con el Agua
- 4.4. Visión y Gobernanza Adaptativa
 - 4.4.1. Mecanismos de Control
 - 4.4.2. Planificación Integral y Gestión Adaptativa

5. Conclusiones

TABLA DE CONTENIDOS

Parte II. Escenarios Futuros

1. Escenarios futuros para cambio de uso de la tierra

2. Escenarios futuros para el cambio climático

Parte III. Modelo Hidrológico

Parte IV. Indicadores para el Futuro

APÉNDICE

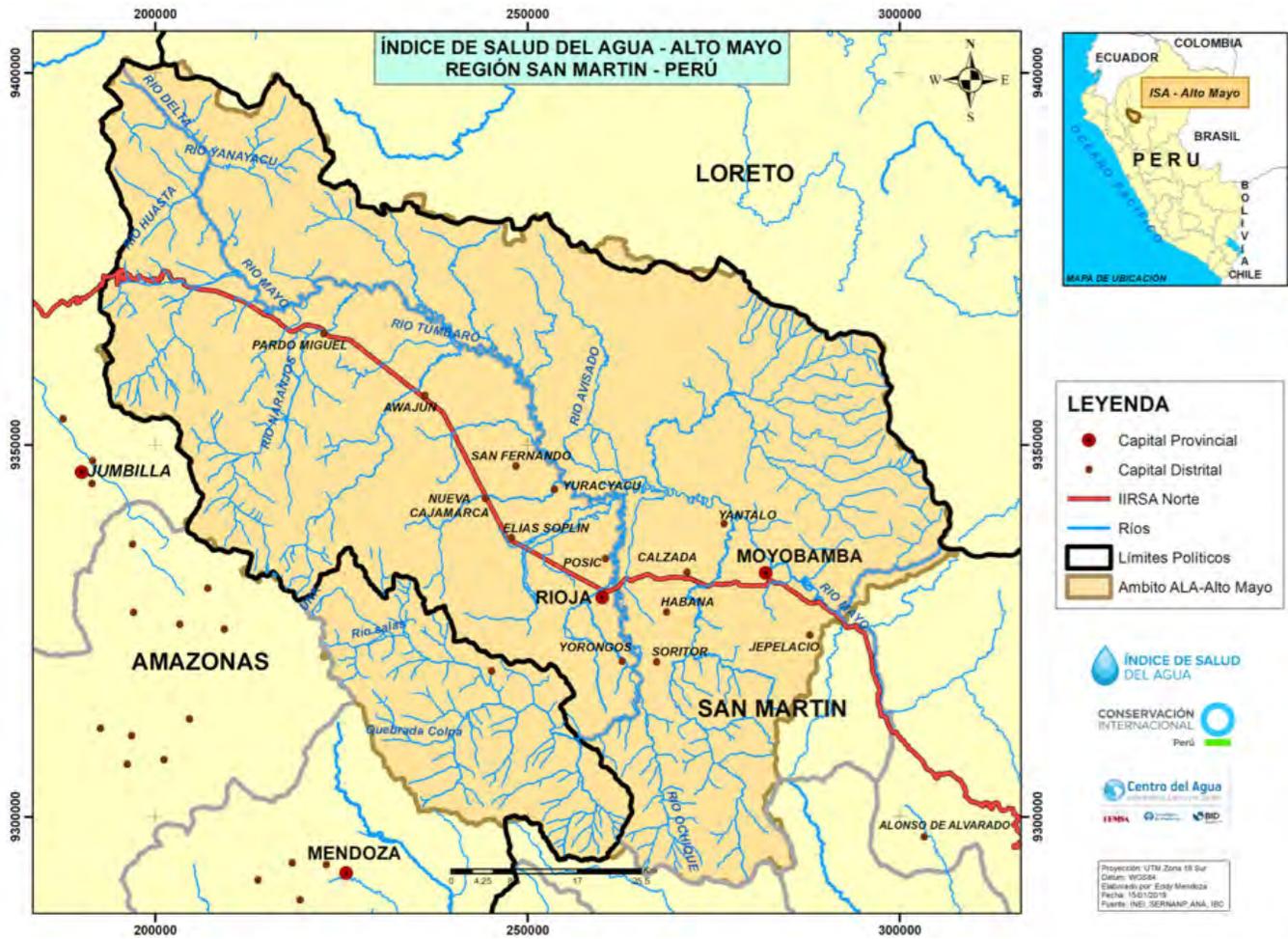
PARTE I: Métodos para seleccionar los cálculos del indicador

PARTE II: Métodos para el modelos de cambios de uso de la tierra

PARTE III: Método para modelo hidrológico & métodos para proyecciones de escenarios futuros hidrológicos

Bibliografía

AREA DE ESTUDIO DEL ÍNDICE DE SALUD DEL AGUA – ALTO MAYO



RESUMEN EJECUTIVO

CUENCA ALTO MAYO

La parte alta de la cuenca del río Mayo que corresponde al área de estudio (denominada Cuenca Alto Mayo) abarca una extensión de 721,041 ha. Está ubicado en la región norte de la selva alta del Perú, el cual comprende a las provincias de Rioja y Moyobamba (región San Martín) y al distrito de Vista Alegre (provincia Rodríguez de Mendoza en la región Amazonas). El ámbito del estudio se encuentra comprendido entre los 800 m.s.n.m. y los 3800 m.s.n.m. aproximadamente. El río principal es el mayo y la longitud aproximada de su curso principal es de 307 Km., dentro del límite de la zona de estudio. El escurrimiento superficial del río Mayo se origina de las precipitaciones que ocurren principalmente en sus nacientes o cabeceras de cuenca.

Para ayudar a los tomadores de decisiones a evaluar el estado actual y el proceso de gestión de la cuenca y con el fin de establecer prioridades para el futuro del Alto Mayo, un consorcio liderado por Conservación Internacional (CI) y el Centro del Agua para América Latina y el Caribe (CDA) aplicó el Índice de Salud del Agua como una herramienta innovadora para evaluar la salud de la cuenca en tres componentes: vitalidad del ecosistema, servicios del ecosistema y gobernanza. Trabajando con socios del equipo técnico del Comité Subcuenca Mayo y del Instituto Tecnológico de Monterrey, un equipo de expertos de Conservación Internacional midió 11 indicadores clave, con 25 subindicadores, escalados de 0 a 100 para facilitar la interpretación. Las partes interesadas de los gobiernos nacionales, subnacionales y locales, así como la industria, universidades y la sociedad civil, proporcionaron información y ayudaron a identificar las principales prioridades para la cuenca. Este es el primer análisis exhaustivo de la salud del agua en la cuenca Alto Mayo, y proporciona varias perspectivas para continuar con un análisis más detallado o posibles propuestas y acciones para una mejor gobernanza.

RESULTADOS PRINCIPALES

- El componente Gobernanza y Partes Interesadas, recibió la puntuación más baja **(38)** y debería tratarse como una prioridad dentro de la cuenca. El fortalecimiento de los problemas de gobernabilidad, en especial los indicadores de Efectividad y Visión & Gobernanza Adaptativa, es un paso importante para los tomadores de decisiones que trabajan para satisfacer la creciente demanda de agua, mejorar la calidad del agua y adaptarse a los impactos del cambio climático.
- El Conflicto Relacionado con el Agua recibió la puntuación más alta **(46)** en el componente Gobernanza & Partes Interesadas, lo que significa que los actores reconocen el problema y que sería un punto importante para la mejora de la gobernanza, pero de otro lado se tuvo una puntuación baja para Capacidad Financiera **(30)**, que se identificó como la principal preocupación, donde quizás las personas perciben que no se tiene el presupuesto adecuado para una buena gestión de los recursos hídricos. La Distribución de Beneficios de los Servicios del Ecosistema también recibieron una puntuación baja **(31)**, que podría mejorarse incorporando mejores estrategias de comunicación para que los actores locales y los tomadores de decisión conozcan en forma directa y sencilla su importancia y como beneficia a la población.
- El componente de Vitalidad del Ecosistema recibió una puntuación alta **(78)**, lo que indica una buena salud para la cantidad y calidad del agua y las condiciones de drenaje de la cuenca. A pesar de que la cuenca está teniendo un proceso de deforestación y un

creciente aumento de pequeñas áreas urbanas aún no ha sido muy alterado, (por ejemplo, el subindicador de la naturalidad de la cobertura terrestre es alta). Para este tema, los esfuerzos de los actores locales deberían centrarse en realizar acciones que disminuyan la deforestación, la desordenada ocupación del territorio y la realizar acciones para fomentar el uso de especies nativas en piscigranjas.

- La Naturalidad de la Cobertura Terrestre se encuentra actualmente en condiciones de salud alta (**82**), pero eso sugiere que se debería mantener o mejorar esa puntuación. Pues un descenso de la cobertura boscosa sería como consecuencia del aumento de la actividad agrícola y el avance de las áreas urbanas. De manera similar, la Regulación de Sedimentos obtuvo un puntaje de **60**, y aunque las partes interesadas no lo perciben como una preocupación importante actualmente, una disminución de ese valor indicaría un aumento de la erosión y transporte de sedimentación la cual influenciaría en la indica la calidad del agua y posiblemente la capacidad de los pequeños embalses que brindan el servicio de agua potable en algunas ciudades, como Moyobamba, Rioja y Nueva Cajamarca.
- El componente de Servicios del Ecosistema recibió una puntuación general más alta (**85**) de los tres componentes, lo que indica que la cuenca actualmente está satisfaciendo bastante bien las necesidades de los interesados. La provisión de agua, calificada como la más importante entre las partes interesadas, obtuvo el puntaje más alto, lo mismo para los servicios que reducen los peligros (como las inundaciones) y mantienen la calidad del agua tienen un puntaje más moderado.
- Las presiones sobre los ecosistemas de la cuenca influyen en la calidad del agua, debido a la actividad agrícola, residuos orgánicos y no orgánicos de las áreas urbanas y el avance de la deforestación, que son principalmente perjudiciales para la salud humana y la diversidad de los peces y otras formas de vida acuática. Además, hay una preocupante alta concentración de coliformes en algunas estaciones de monitoreo y la mayoría cercanas a los mayores centros poblados en la zona de estudio, como Naranjos y Nueva Cajamarca.
- Los escenarios futuros pueden ayudar a identificar contrapartidas (trade-offs) potenciales que las partes interesadas se enfrentarán en el futuro al manejar los recursos hídricos de una cuenca hidrográfica. Ambos escenarios de cambio climático (RCP 4.5 y 8.5) deben resultar en aumentos de la disponibilidad de agua en todas las subcuencas de la cuenca Alto Mayo. La magnitud de aumento no es muy diferente entre los dos escenarios.
- Estos cambios en la disponibilidad de agua en función de escenarios futuros tienen implicaciones sobre todos los atributos que constituyen la salud de la cuenca hidrográfica. Por ejemplo, la Regulación de Sedimentos y Calidad del Agua son atributos que deben ser influenciados significativamente con los posibles cambios climáticos analizados. Los aumentos de agua también deben resultar en valores menores de Regulación de Enfermedad si no se toman otras medidas de control.

CONCLUSIONES & PRÓXIMOS PASOS

Los resultados de la evaluación de la línea de base del Índice de Salud del Agua encontrados concuerdan con la realidad de la Cuenca Alto Mayo. En general, la cuenca Alto Mayo actualmente satisface las necesidades de la población sin comprometer la vitalidad del ecosistema, es decir, los beneficios están, actualmente, siendo suministrados de forma sustentable. Sin embargo, eso no significa que los desafíos no existan. Por ejemplo, la deforestación puede estar asociada a la reducción de la biodiversidad por el aumento de especies invasoras. Además, la conversión de bosques a áreas agrícolas tiene implicaciones directas a la cantidad de sedimentos que se exportan en ríos y arroyos, lo que, a su vez, implica directamente en la calidad del agua para abastecimiento humano. Aunque los servicios ecosistémicos provenientes del agua están siendo suministrados satisfactoriamente en el momento, si las providencias adecuadas no se toman para prevenir la deforestación, y posible que la cuenca Alto Mayo no atienda sus demandas en un período futuro. Entonces,

una gestión participativa y mayor involucramiento de las autoridades y actores locales en la gestión de los recursos hídricos podría ser fundamental para ayudar a mejorar o mantener la vitalidad del ecosistema y los beneficios originarios de él. De una manera general, este proceso depende de una adecuada ocupación y gestión del territorio en la cuenca, donde las autoridades municipales y regionales serían piezas claves para asumir este desafío.

Se podría hacer un nuevo levantamiento de información en dos o tres años para monitorear el avance en las acciones que se deberían realizar para un mantenimiento adecuado de los ecosistemas y de la gobernanza. Las partes interesadas ya conocen y están familiarizados con la herramienta y existe un equipo de expertos que puede ayudar en este proceso. Lo ideal sería que los grupos de partes interesadas que participaron en esta primera evaluación a través de los talleres deben continuar participando y proporcionando comentarios, pero también expandirse para incluir una mayor participación de los gobiernos locales, sector privado y universidades.

Se identificaron algunos vacíos de información que deben abordarse antes de una evaluación posterior, como es el caso de agua subterránea, biomasa para consumo y recreación. Tal vez esta falta de información se podría completar incentivando algunas investigaciones con estudiantes de universidades locales o promoviendo que las actividades de monitoreo realizados por las instituciones encargadas puedan incluirlos en sus futuras actividades de monitoreo, por lo cual sería necesario incentivar en esas instituciones que los incluyan en sus presupuestos futuros para asegurar una adecuada gobernanza del agua en la cuenca de estudio.

Las partes interesadas en la cuenca Alto Mayo expresaron un gran interés en seguir explorando en escenarios futuros ante un posible aumento de la deforestación, incremento de infraestructura vial, expansión de la actividad agrícola y crecimiento de las ciudades, así como la presencia más recurrente de eventos extremos (inundaciones y sequías) como consecuencia del cambio climático. Ese trabajo mostró algunos escenarios futuros y también fueron identificados trade-off potenciales en términos de indicadores para el futuro que los actores locales se enfrentarían al manejar los recursos hídricos y los escenarios cambios climáticos con aumento de disponibilidad de agua. Estos cambios podrían influenciar en el desempeño de algunos subindicadores como Regulación de Inundaciones y de Sedimentos. En la Figura 1 presentamos los resultados para los tres componentes.

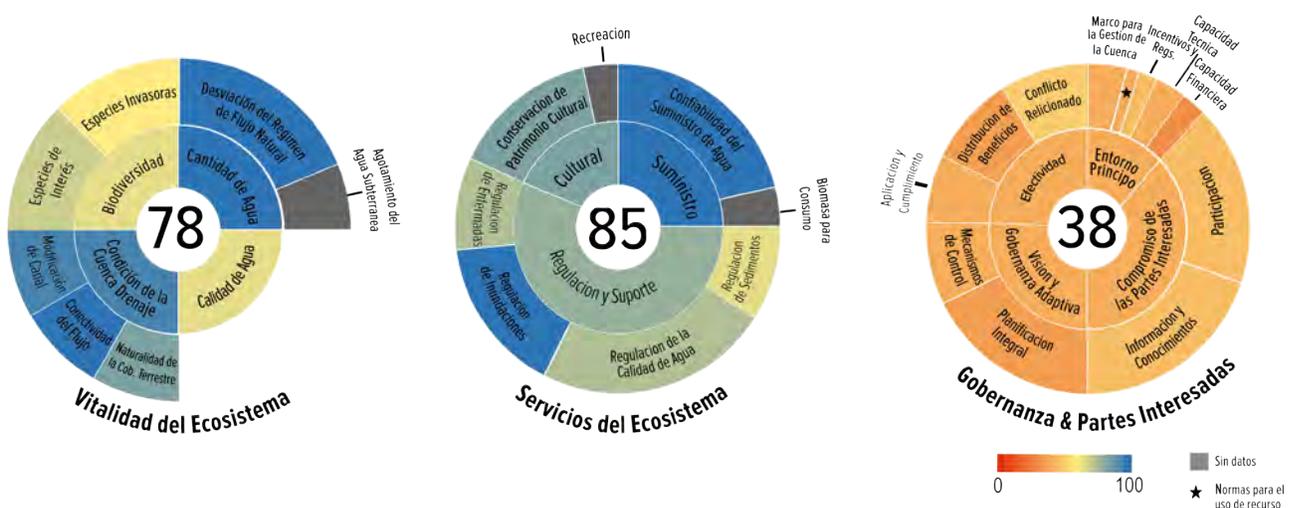


Figura 1. Resultado de los tres componentes



PARTE I. EVALUACIÓN DE LA LINEA BASE

1. INTRODUCCIÓN

Para el presente estudio de Índice de Salud del Agua (ISA) se ha tomado en cuenta la parte alta de la cuenca del río Mayo, uno de los principales tributarios del río Huallaga, y ocupa la mayor parte de la cobertura boscosa de la cuenca, teniendo al Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM) como su principal área natural protegida y las comunidades nativas ubicadas en su mayoría a la margen izquierda del río Mayo, las cuales cubren más del 40% del área de estudio. Tiene, además, la mayor densidad de importante infraestructura de servicios básicos (vial, riego, agua potable, energética, educativa y de salud), concentra la mayor superficie agrícola (principalmente arroz y café) y alberga los humedales de mayor altura en la Amazonia Peruana. Posee una población estimada de 247,721 habitantes (INEI, 2018) y desde finales de la década de 1970 ha tenido una ocupación desordenada del territorio, donde las actividades agrícolas y pecuarias, ciudades, centros poblados y actividades industriales están causando una contaminación y baja calidad de las aguas, principalmente debido a los desechos orgánicos y presencia de pesticidas en los cauces.

Esta parte alta de la cuenca del río Mayo corresponde administrativamente a la Administración Local del Agua Alto Mayo (ALA-Alto Mayo), unidad orgánica de la Autoridad Administrativa del Agua Huallaga (AAA-Huallaga), órgano desconcentrado de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Adicionalmente, las acciones de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) que tiene como misión regular, supervisar y fiscalizar el desarrollo del mercado de servicios de agua potable y alcantarillado, en especial a las Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), usan como ámbito de acción la organización y estructura básica del ANA (ANA, 2017b). Por lo tanto, existen los esfuerzos para promover y gestionar de manera sostenible la cuenca Alto Mayo y una herramienta como el Índice de Salud del Agua puede ayudar a mejorar esa gestión de los recursos hídricos y del espacio geográfico que abarca.

Para ayudar a los tomadores de decisiones a evaluar las compensaciones (trade-offs) y establecer prioridades para la cuenca de Alto Mayo, fueron desarrollados futuros escenarios de uso de la tierra y el cambio climático para comprender los posibles efectos sobre la disponibilidad de agua y los indicadores del Índice de Salud del Agua. Esto es importante para explorar opciones y desarrollar planes más sólidos frente a una incertidumbre irreductibles.

Tabla 1. Indicadores y subindicadores del Índice de Salud del Agua

Indicadores principales	Subindicadores
VITALIDAD DEL ECOSISTEMA	
Cantidad de Agua	Desviación del régimen de flujo natural Agotamiento del agua subterránea
Calidad del Agua	Índice de calidad del agua
Condición de la Cuenca	Modificación del canal Conectividad del flujo Naturalidad de la cobertura terrestre
Biodiversidad	Especies de interés Especies invasoras
SERVICIOS DEL ECOSISTEMA	
Suministro	Confiabilidad del suministro de agua Biomasa para consumo
Regulación & Soportet	Regulación de sedimentos Regulación de la calidad del agua Regulación de enfermedades Regulación de inundaciones
Servicios Culturales	Conservación y patrimonio cultural Recreación
GOBERNANZA & PARTES INTERESADAS	
Entorno Propicio	Gestión de recursos hídricos Normas para el uso del recurso Incentivos y regulaciones Capacidad Financiera Capacidad Técnica
Compromiso de las Partes Interesadas	Información y conocimiento Participación en el proceso de toma de decisiones
Visión & Gobernanza Adaptativa	Planificación integral y gestión adaptativa Mecanismos de monitoreo
Efectividad	Aplicación y cumplimiento Distribución de beneficios Conflicto relacionado con el agua

2. VITALIDAD DEL ECOSISTEMA: RESULTADOS DE INDICADORES Y SUBINDICADORES

El componente de Vitalidad del Ecosistema del Índice de Salud de Agua mide la integridad y el funcionamiento de los ecosistemas (arroyos, ríos, humedales y bosques) dentro de la cuenca. Los ecosistemas saludables son fundamentales para proporcionar agua limpia, peces, protección contra inundaciones y una variedad de otros beneficios en los que la gente depende de la cuenca Alto Mayo (parte alta de la cuenca del río Mayo). Los cuatro indicadores principales dentro del componente de Vitalidad del Ecosistema son: Cantidad de Agua, Calidad del Agua, Condición de la Cuenca y Biodiversidad. Los datos para el cálculo provienen principalmente de fuentes gubernamentales oficiales y se presentan a escala de subcuenca, para mostrar cómo y dónde varían las puntuaciones de los indicadores dentro de las diferentes partes de la cuenca.

Al combinar los cuatro indicadores principales, la cuenca Alto Mayo recibe una calificación general de **78** para la Vitalidad del Ecosistema. Esto sugiere una salud buena del ecosistema, pero como lo indican los resultados detallados, algunos indicadores obtienen mejores puntajes que otros. También se debe tener en cuenta que las partes interesadas no ponderaron los indicadores de Vitalidad del Ecosistema, por lo que a cada indicador se le asigna un peso igual por defecto, y no es posible inferir preferencias particulares, como se puede hacer con los indicadores de Servicios del Ecosistema y de Gobernanza y Partes Interesadas.

2.1 Cantidad de agua

El indicador de Cantidad de Agua mide la cantidad y el flujo de agua a través de la cuenca, incluidas las aguas superficiales y subterráneas. Los ecosistemas dependen de los patrones estacionales de agua en la cuenca, y en muchos lugares, las personas también dependen de las fluctuaciones estacionales en la cantidad de agua. Cambiar este patrón natural es a menudo una consecuencia del desarrollo moderno (por ejemplo, la construcción de presas para regular los períodos de inundaciones y sequías), por lo que representa una compensación con la satisfacción de las necesidades humanas. Sin embargo, estas alteraciones también pueden tener consecuencias negativas para la biodiversidad acuática y las personas que están acostumbradas a un patrón de flujo natural. La Cantidad de Agua se mide a través de dos subindicadores: Desviación del Flujo Natural y Agotamiento del Agua Subterránea. La cuenca Alto Mayo tiene una puntuación de Cantidad de Agua de **98**, pero se basa únicamente en la puntuación de Desviación del Flujo Natural, ya que los datos de almacenamiento de agua subterránea no estaban disponibles.

2.1.1 Desviación del Régimen de Flujo Natural

El subindicador de Desviación del Régimen de Flujo Natural mide el grado en que los flujos de agua superficiales actuales se han desplazado de los flujos naturales históricos. Los embalses, la agricultura y los cambios en el uso del suelo pueden afectar el régimen y el volumen de los flujos superficiales que, por consiguiente, afectan a los organismos acuáticos y los servicios ecosistémicos en las porciones inferiores de la cuenca. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **98** para la Desviación del Régimen de Flujo Natural (ver en **Figura 2**), lo que significa casi no cambió los caudales actuales en relación con los caudales que se considerarían naturales. La puntuación muy alta refleja principalmente la falta de obras de ingeniería en la cuenca, como, por ejemplo, las centrales hidroeléctricas. También puede sugerir que, en términos de cantidad de agua, los ecosistemas de agua dulce probablemente tengan una condición similar a la de cuando el sistema todavía no estaba perturbado.

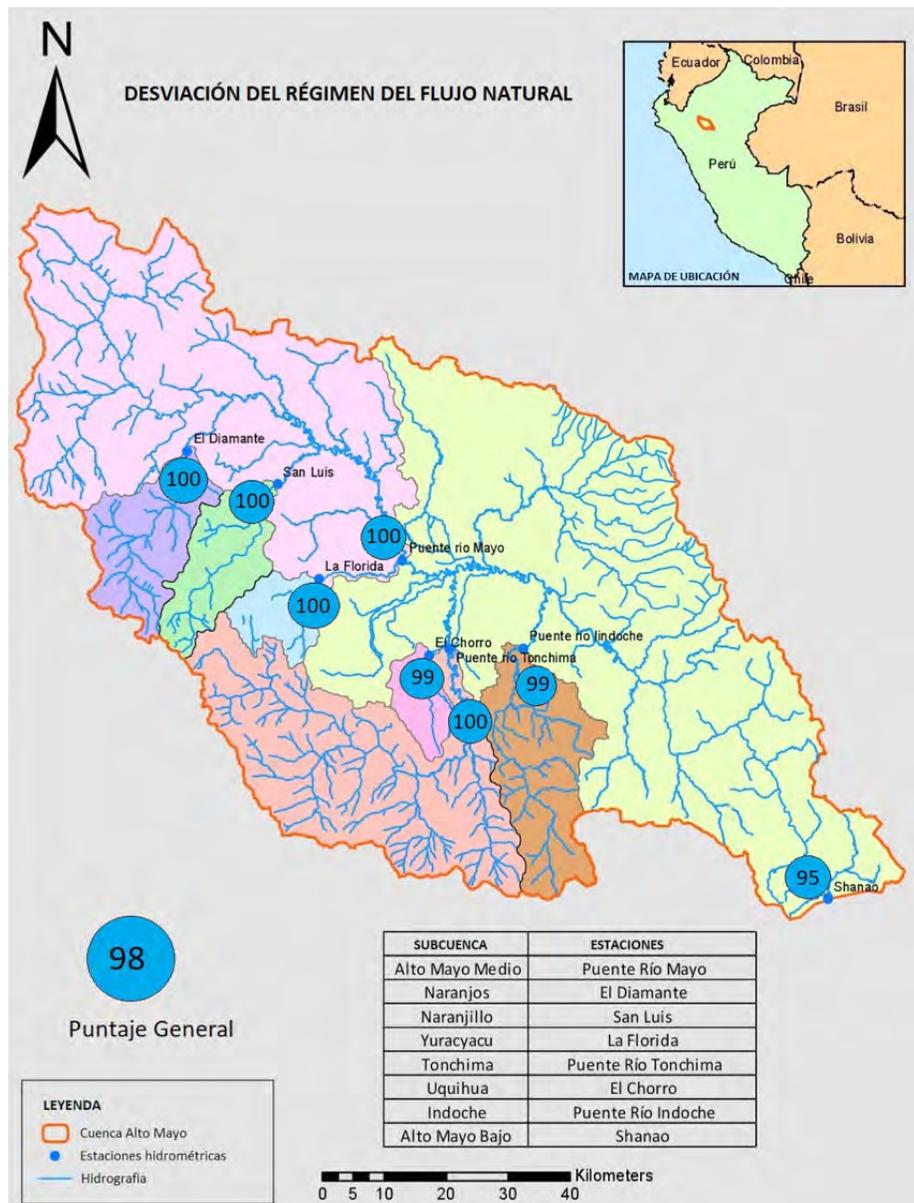


Figura 2. Desviación del Régimen de Flujo Natural – Alto Mayo.

2.1.2 Agotamiento del Agua Subterránea

El subindicador de Agotamiento del Agua Subterránea mide el potencial de extenuación de los acuíferos utilizando información de los pozos subterráneos de monitoreo. El indicador de agua subterránea se calcula como la proporción del área total del acuífero en la cuenca que ha enfrentado el agotamiento. Actualmente, los datos sobre la ubicación de la extracción de agua subterránea y la cantidad que se extrae están disponibles, pero no hay datos continuos sobre la extracción de agua subterránea. Además, no hay datos sobre la distribución de los acuíferos en la cuenca Alto Mayo. Por lo tanto, no es posible evaluar si se está agotando las aguas subterráneas de forma directa.

2.2 Calidad del Agua

El indicador de Calidad del Agua en la categoría de Vitalidad del Ecosistema se refiere específicamente al contaminante concentraciones en comparación con los umbrales necesarios para mantener la biodiversidad acuática ecosistemas, independiente de los



impactos directos sobre la salud y seguridad humana. La contaminación puede dañar la vida acuática directamente y también alterar el equilibrio ecológico, por ejemplo, desencadenando floraciones de algas nocivas.

2.2.1 Índice de Calidad del Agua

El Índice de Calidad del Agua mide cuánto las concentraciones de parámetros de calidad del agua se diferencian de los umbrales necesarios para mantener la biodiversidad acuática. Se seleccionan los parámetros considerados cruciales para la salud ecológica de los ecosistemas de agua dulce. El subindicador de Índice de Calidad del Agua mide si las concentraciones de los parámetros de calidad del agua seleccionados superan los valores de concentración considerados mínimos para mantener los ecosistemas acuáticos biodiversos. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **66** que indica una calidad del agua moderada. El puntaje para Alto Mayo fue impulsado por las altas concentraciones de varios parámetros (incluyendo oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno total, fósforo total, cadmio disuelto, selenio, talio, y coliformes termo tolerantes) que pasaron la prueba al menos una vez. Ese resultado puede estar asociado a la contaminación por usos de pesticidas, residuos de aguas mieles y mal manejo de aguas residuales provenientes de los centros poblados.

2.3 Condición de la Cuenca

El indicador de Condición de la Cuenca mide el alcance de las modificaciones físicas tanto de la cobertura del suelo (por ejemplo, los bosques convertidos a la agricultura) como de los arroyos y ríos (por ejemplo, la construcción de presas o la ampliación de los canales), todo lo cual puede afectar el flujo y la calidad del agua, así como el hábitat para la vida acuática. La Condición de la Cuenca se mide a través de tres subindicadores: Modificación del Canal, Conectividad del Flujo y Naturalidad de la Cobertura Terrestre. Cuando se combinan estos tres subindicadores, la cuenca Alto Mayo tiene un puntaje de Condición de Cuenca de **91**, lo que significa excelente salud.

2.3.1 Modificación del Canal

La Modificación del Canal mide la conectividad lateral que afecta el intercambio de material entre los ríos y las planicies de inundación. La conectividad lateral afecta cómo los flujos superficiales alcanzan los canales y como materiales (por ejemplo, los nutrientes y los sedimentos) se cambian. Los cambios en este patrón, ya sea por canalización o inundación a través de represas, afectan el establecimiento de la vegetación nativa y de la vida silvestre (incluyendo el desove de peces y aves acuáticas), la biogeoquímica de los arroyos, así como la extensión de las veredas. El puntaje de **92** para la cuenca Alto Mayo indica que las conexiones entre los arroyos y sus zonas ribereñas están conservadas (**Figura 3**). Esto beneficia a la fauna de la cuenca y potencialmente agrega valor recreativo al sistema. El subindicador de Modificación del Canal mide la conectividad lateral, que afecta el intercambio de material entre arroyos y llanuras de inundación.

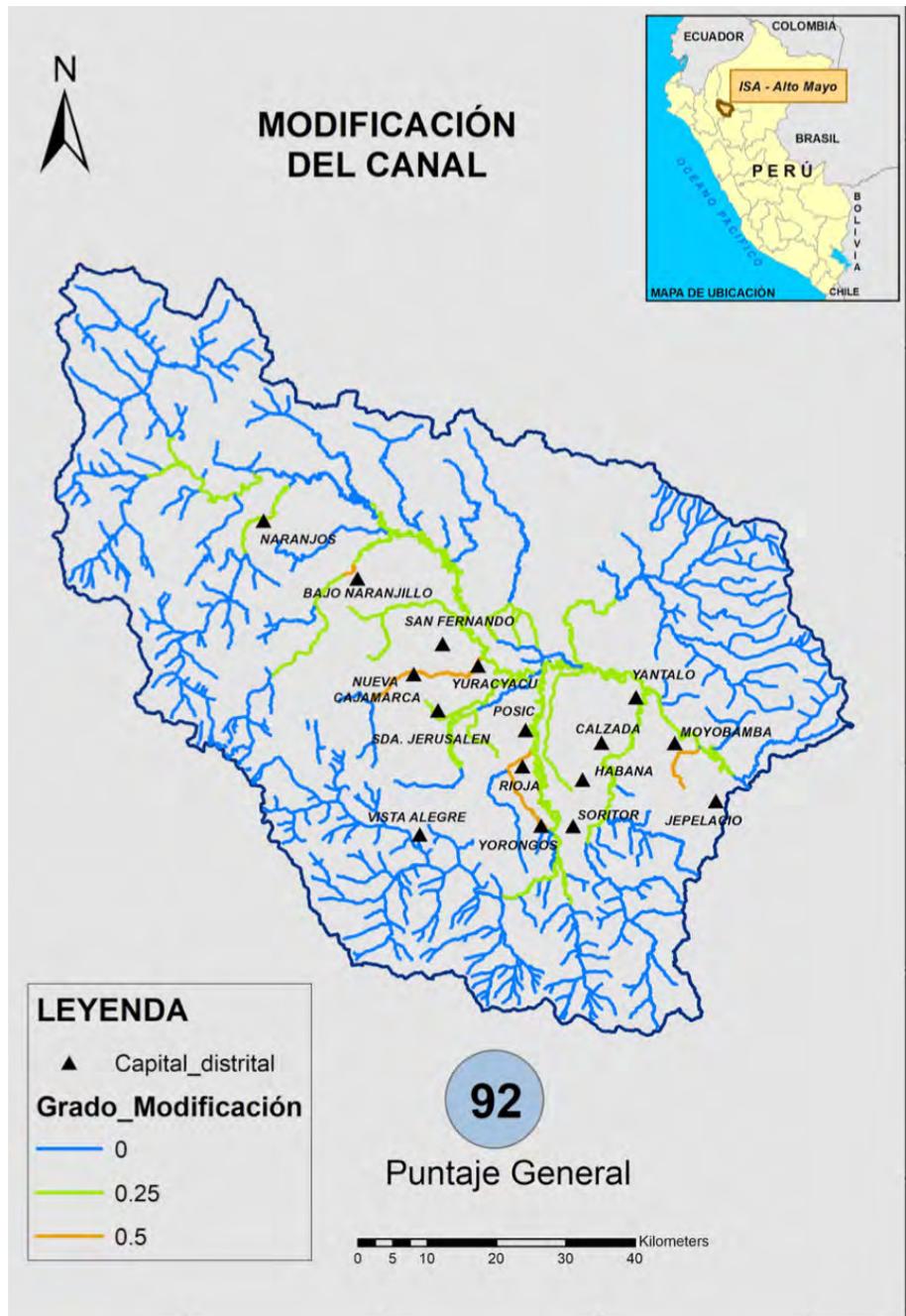


Figura 3. Modificación del Canal – Alto Mayo.

2.3.2 Conectividad del Flujo

La conectividad longitudinal o de flujo, también conocida como fragmentación, es particularmente importante para el movimiento de la vida acuática como los peces, pero también afecta el flujo de materiales. Se ve afectado por obstrucciones naturales, como cascadas y estructuras de ingeniería, como presas y presas. La disminución de la conectividad longitudinal puede afectar negativamente a la migración y reproducción de los peces, y puede evitar que los sedimentos y otros nutrientes se distribuyan río abajo al resto de la cuenca. En la cuenca Alto Mayo, no existe ningún tipo de obstrucciones, como barreras de represas, que podrían impedir el tránsito libre de peces a lo largo de la red de drenaje. También no fue posible identificar obstrucciones naturales significativas

en el río Mayo a través de imágenes recientes de satélite. El puntaje perfecto de **100** para el Alto Mayo indica que no existen obstrucciones artificiales en la red de arroyos que puedan evitar el movimiento de peces libres. O sea, las corrientes y ríos no han sido modificadas a través de trabajos de ingeniería (por ejemplo, canalización), inundación (por ejemplo, desarrollo de yacimientos) o agricultura intensiva.

2.3.3 Naturalidad de la Cobertura Terrestre

El subindicador de la Naturalidad de la Cobertura Terrestre mide cuánto ha cambiado la tierra desde un estado natural inalterado. Los bosques y las zonas húmedas son amortiguadores naturales que regulan el flujo y la calidad del agua. Cuando se degradan o se convierten en pastos, áreas agrícolas y áreas urbanas, el ecosistema pierde la capacidad de regular el ciclo del agua. El puntaje general de **82** para la cuenca Alto

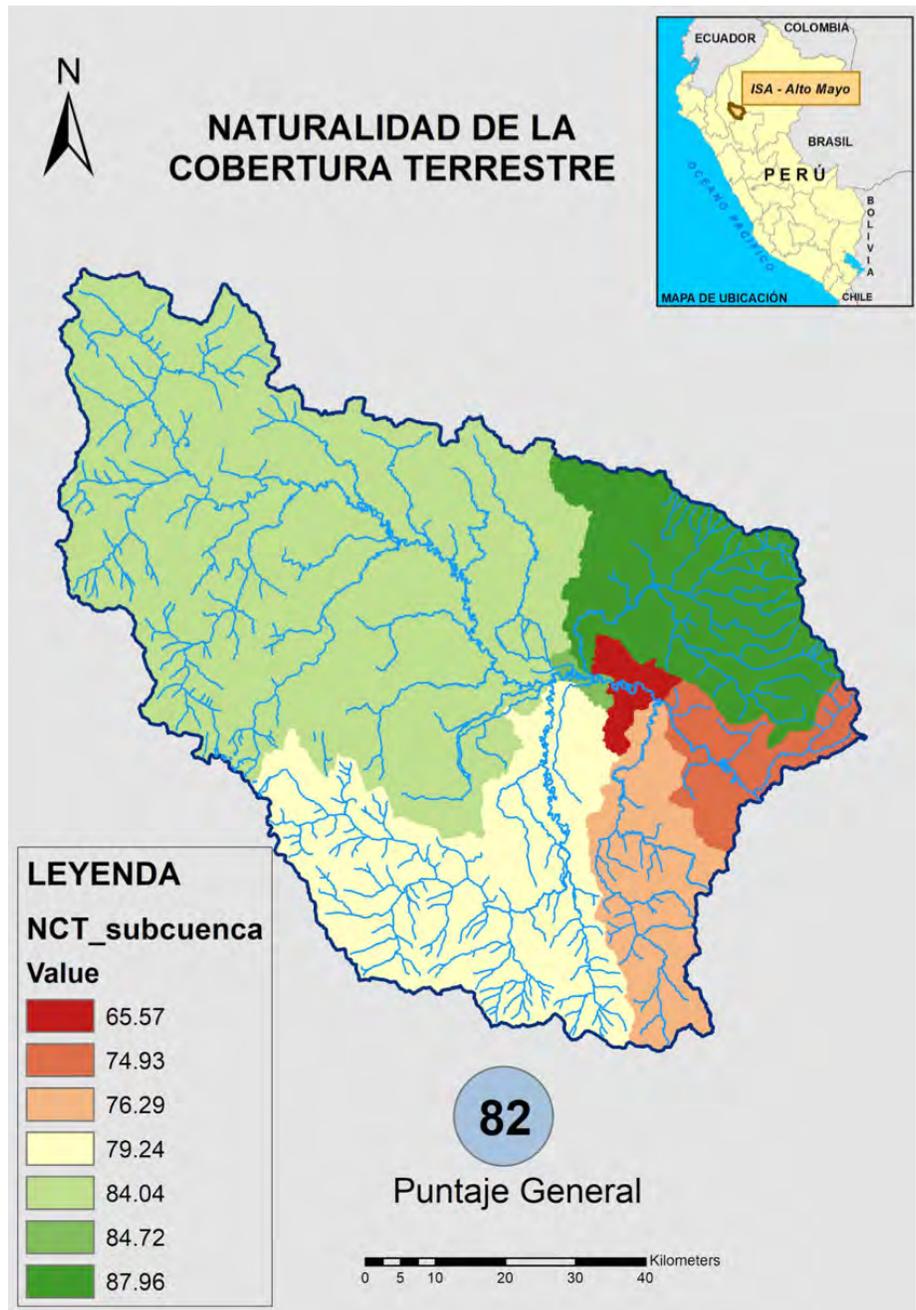


Figura 4. Naturalidad de la Cobertura Terrestre – Alto Mayo

Mayo indica buena salud de la cobertura natural, como se puede observar en la **Figura 4**.

2.4 Biodiversidad

El indicador de Biodiversidad se refiere al estado de la población y las tendencias de las especies animales y vegetales que viven directamente en o junto a vías fluviales. Datos sobre reducciones en las especies nativas o aumentos en especies no nativas (“invasoras”) se usan como indicadores de degradación del ecosistema. Además, la biodiversidad acuática a menudo se asocia positivamente con la pesca y servicios culturales como la recreación. El indicador de Biodiversidad se divide en dos subindicadores: Especies de Interés, que se enfoca principalmente en amenazas o especies de importancia local, y Especies Invasoras. Cuando se combinan los dos subindicadores, la cuenca Alto Mayo tiene un puntaje de Biodiversidad de **64**, lo que sugiere una moderada salud.

2.4.1 Especies de Interés

Las especies de interés miden cuánto las especies nativas de ambientes acuáticos o ribereños están amenazadas. La disminución de la diversidad de especies es una señal de alerta para el deterioro del ecosistema y puede corresponder también a la disminución de los beneficios para las personas, como la pesca. Las especies de interés recibieron una puntuación de **68**, lo que indica una salud moderadamente buena para la biodiversidad en la cuenca. Las especies acuáticas más amenazadas clasificadas como *Endangered* (EN) en Alto Mayo de acuerdo con la lista Roja de la IUCN son *Telmatobius necopinus* (especie de anfibio), *Espadarana fernandoi* (especie de anfibio), *Pteronura brasiliensis* (nutria gigante de río). Fue también incluida en el análisis la especie *Callicebus oenanthe* (mono tocón), que es un primate importante representando como una especie paraguas, el cual está en condición de *Critically Endangered* (CR).

2.4.2 Especies Invasoras

Las especies invasoras se refieren específicamente a las especies exóticas (no nativas) introducidas en el ecosistema, ya sea intencional o accidentalmente. Para este caso, la evaluación se centró exclusivamente en cuatro especies acuáticas invasoras, como las siguientes: tilapia del nilo (*Oreochromis niloticus*), carpa (*Cyprinus carpio*) y tilapia azul (*Oreochromis aureus*), que pueden competir o representar una amenaza para las especies nativas. Las crecientes poblaciones de especies invasoras ejercen una presión adicional sobre las especies nativas, degradan los ecosistemas y pueden tener un impacto negativo en la economía y la salud humana. El puntaje del Alto Mayo de **60** indica una salud moderada para especies invasoras. Sin embargo, puede existir especies invasoras de plantas que se encuentran en la zona ribereña, lo que potencialmente afecta el hábitat de los anfibios y reptiles nativos, así como la calidad del agua.

3. SERVICIOS DEL ECOSISTEMA: RESULTADOS DE INDICADORES Y SUBINDICADORES

El componente de Servicios del Ecosistema del Índice de Salud de Agua mide la gama de beneficios relacionados con el agua, desde agua potable hasta energía hidroeléctrica hasta protección contra inundaciones. Estos beneficios, a menudo proporcionados en lugar de o como complemento de la infraestructura, son una forma de conectar a las personas con los ecosistemas naturales de que ellas dependen. Los Servicios del Ecosistema se clasifican comúnmente según la forma en que las personas los experimentan, y esto se refleja en nuestros tres indicadores principales: Suministro (bienes extraídos del ecosistema), Regulación y Soporte (procesos “de fondo” que ocurren en los ecosistemas)

y Cultural (experiencias que las personas “toman” de los ecosistemas). Los datos para estos indicadores provienen de fuentes gubernamentales oficiales, incluidos los anuarios estadísticos y, en el caso de la regulación de sedimentos, de datos modelados. Los servicios culturales son generalmente difíciles de cuantificar, y los datos no son recogidos de forma rutinaria.

Al combinar los tres indicadores principales de los Servicios de los Ecosistemas, la cuenca Alto Mayo recibe una puntuación total de **85**. Esto sugiere que la cuenca está actualmente cumpliendo muy bien las necesidades de bienestar de las partes interesadas, aunque existe una variación entre los servicios específicos. Este es también un puntaje parcialmente completo, ya que carecíamos de datos para algunos subindicadores. También vale la pena señalar que estos indicadores y subindicadores fueron ponderados por las partes interesadas, lo que reveló una clara preferencia por los servicios de Regulación y Soporte de la cuenca (más que el doble que relación a los servicios de suministro y cultural).

3.1 Servicios de Suministro

Los Servicios de Suministro se refieren a los resultados físicos (principalmente agua y pescado (biomasa) que las personas obtienen de los ecosistemas acuáticos terrestres. Estos productos del ecosistema son insumos críticos para el desarrollo económico y son fundamentales para la seguridad alimentaria y seguridad del aprovisionamiento del agua. El indicador de Suministro tiene dos subindicadores: Confiabilidad del Suministro de Agua en Relación con la Demanda y Biomasa para Consumo. Cuando se combinó, el indicador de Suministro obtuvo un puntaje de **100**, pero se basa únicamente en la puntuación de Confiabilidad del Suministro de Agua, ya que los datos para calcular la Biomasa para Consumo no estaban disponibles. Las partes interesadas asignaron un peso de 0.80 al suministro de agua y 0.20 para la biomasa, lo que indica que le dan mayor importancia a asegurar el aprovisionamiento de agua para los diferentes usos con relación al suministro de biomasa acuática.

3.1.1 Confiabilidad del Suministro de Agua en relación con la Demanda

El subindicador de la Confiabilidad del Suministro de Agua mide la capacidad actual de la cuenca para satisfacer la demanda de varios sectores en la cuenca, en todos los lugares, a pesar de la variabilidad estacional. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **100**, lo que indica que toda la demanda de agua está siendo cumplida. Sin embargo, esta evaluación tiene en cuenta las cantidades de agua disponible anualmente, lo que no permite identificar las situaciones de escasez de agua que pueden ocurrir estacionalmente. La mayor parte del agua dulce en San Martín se extrae para uso consuntivo o extractivo por parte del sector agrícola, seguida del uso no consuntivo por parte del sector energético (Conservación Internacional, 2016). El mismo estudio indicó que el uso total de agua en todos los sectores está aumentando a una tasa promedio de 3% por año. Para satisfacer la mayor demanda, se necesita un aumento de alrededor del 2% por año.

3.1.2 Biomasa para Consumo

El subindicador de Biomasa para el Consumo mide la cantidad de biomasa (biota de agua dulce) que se usa o se adquiere para el consumo (puede ser en forma de unidades de captura o producción). Actualmente, no se tiene los datos sobre volumen de pesca artesanal para finalizar el cálculo de ese indicador.

3.2 Servicios de Regulación & Soporte

Los servicios de Regulación y Soporte se refieren a los procesos naturales que apoyan el suministro de agua y la pesca (por ejemplo, al mantener el agua limpia y fluyendo) y ofrecen protección contra inundaciones y otros peligros. Las decisiones de manejo de recursos hídricos con frecuencia pasan por alto los procesos naturales que ayudan a regular el agua en un ecosistema, pero reemplazar estos servicios “gratuitos” con infraestructura construida puede ser costoso. El indicador de Regulación y Soporte comprende cuatro subindicadores: Regulación de Sedimentos, Regulación de la Calidad del Agua, Regulación de Inundaciones y Regulación de Enfermedades. En general, la cuenca Alto Mayo tiene un puntaje de **79** para este componente, este puntaje está ponderado de acuerdo con la importancia relativa dada a los servicios pelas partes interesadas. Las partes interesadas asignaron el mayor peso (0.41) al servicio de Regulación de la Calidad del Agua, segunda importancia (0.25) fue dada al servicio de Regulación de Inundaciones, y pesos similares (0.17) fueran dados a Regulación de Enfermedades.

3.2.1 Regulación de Sedimentos

La regulación de sedimentos mide la capacidad del ecosistema de moderar el flujo de sedimentos provenientes de sistemas terrestres a los arroyos y depositarlos en las planicies de inundación o en las salidas aguas abajo. Demasiados sedimentos pueden comprometer la capacidad de los depósitos de almacenar agua o degradar la calidad del agua, mientras que muy poco sedimento distribuido aguas abajo priva la vida acuática y las tierras agrícolas de nutrientes críticos. La regulación de sedimentos recibió una puntuación de **60**, indicando una capacidad moderada del ecosistema de la cuenca Alto Mayo de controlar la erosión y regular la producción de sedimentos.

La **Figura 5** indica las tasas de erosión media derivadas dentro de cada una de las 8 subcuencas como ejemplo das ubicaciones donde la erosión es más problemática. Sin embargo, esas tasas fueran estimadas con un modelo no calibrado. Por lo tanto, dan información solamente sobre la grandeza relativa da tasa de erosión entre dos pixeles de análisis. La evaluación indica lugares críticos de erosión, que se encuentran principalmente en tierras convertidas para la agricultura. Sin embargo, algunas áreas no perturbadas que se presentaron también tienen un alto potencial de erosión. La erosión asociada con la conversión de bosques a áreas agrícolas y urbanas puede ser problemática debido a su impacto en la calidad del agua. Por lo tanto, se recomienda el monitoreo de la deposición real de sedimentos en varios puntos al longo del río Mayo junto con el monitoreo de la excavación de sedimentos en los lechos de los ríos, que no están capturados en los resultados modelados. Se posible también, monitoreo es recomendado en las subcuencas con alta porcentaje de agricultura y áreas urbanas.

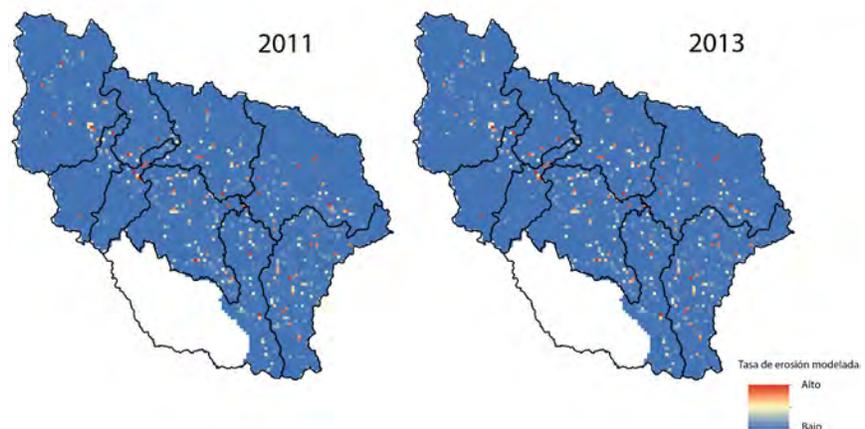


Figura 5. Estimación de Tasa de Erosión, años 2011 y 2013 – Alto Mayo.

3.2.2 Regulación de la Calidad del Agua

El subindicador de Regulación de la Calidad del Agua se refiere a la capacidad del ecosistema de moderar las concentraciones de contaminación en relación con los diferentes patrones de calidad del agua para los diferentes destinos que puedan existir para las aguas. Por ejemplo, diferentes fragmentos de una cuenca pueden tener funciones diferentes, lo que puede implicar, en patrones de calidad del agua diferenciados para cada uno de los fragmentos. La puntuación de **77** para el Alto Mayo indica un estado de salud buena. En general, el puntaje sugiere que la calidad del agua en la cuenca cumple con los requisitos necesarios para uso en las actividades humanas. Considerando los dos años analizados, la calidad del agua no cumplió con los requisitos, particularmente en términos de demanda biológica de oxígeno y concentraciones de nitrógeno total, fósforo total, talio y coliformes fecales en diversas estaciones. Al comparar el puntaje aquí con los puntajes de calidad del agua en la Vitalidad del Ecosistema, el control de las fuentes no puntuales y puntuales de contaminación se presenta como una estrategia para una mejora general.

3.2.3 Regulación de Inundaciones

La regulación de inundaciones es la capacidad del ecosistema para reducir el volumen de la escorrentía de la inundación al disminuir la sincronización de los picos de flujo aguas abajo y / o absorber las aguas de inundación. Las inundaciones son uno de los desastres naturales más costosos, y los bosques y humedales intactos pueden ayudar a reducir el nivel de este peligro y mantener a las personas y las propiedades fuera de peligro. El puntaje casi perfecto (**98**) indica que no hay problemas para regulación de inundaciones en la cuenca Alto Mayo. Sin embargo, faltan los datos para más años, con lo cual se podría conocer si en épocas de presencia del Fenómeno del Niño o de la Niña pudieran haber ocurrido algunos eventos extremos de inundaciones.

3.2.4 Regulación de Enfermedades

El subindicador de Regulación de Enfermedades mide la exposición de la población a enfermedades asociadas al agua. Los ecosistemas de agua dulce desempeñan un papel importante en la transmisión y la contención de patógenos y vectores asociados con varias enfermedades comunes, como el dengue, la malaria o el zika. Estas enfermedades son una de las principales causas de hospitalizaciones en todo el mundo, y su riesgo para las personas aumenta con las modificaciones humanas a los ecosistemas de agua dulce (por ejemplo, construcción de represas, contaminación).

La puntuación para Regulación de Enfermedades en la cuenca Alto Mayo fue de **74**. En general, este puntaje indica una capacidad regular del ecosistema para regular las enfermedades asociadas al agua incluyendo dengue, zika, chikunguña, malaria y una aproximación para diarrea (con base en las concentraciones de coliformes fecales en los ríos). Sin embargo, los resultados específicos indicaron moderada capacidad para regular malaria (puntaje individual de **61**) y baja capacidad de regulación de diarrea (puntaje individual de **37**, **Figura 6**).

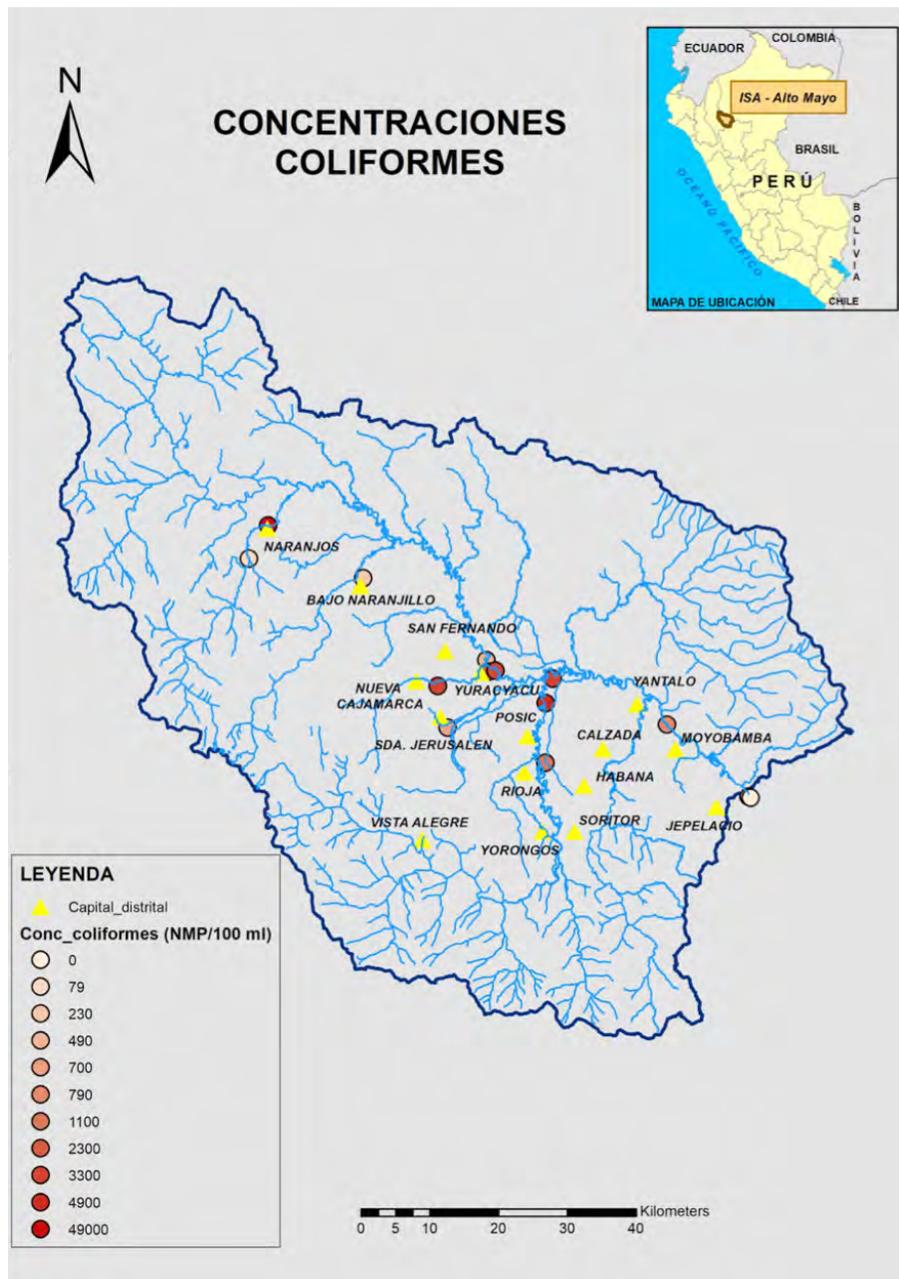


Figura 6. Concentración de coliformes – Alto Mayo.

3.3 Servicios Culturales

Los Servicios Culturales se refieren a los beneficios no materiales que las personas experimentan de los ecosistemas acuáticos, como su belleza estética, oportunidades recreativas y culturales o cumplimiento espiritual. Estos servicios culturales están vinculados a los beneficios de salud física, emocional y mental, así como a las oportunidades de desarrollo económico (como el ecoturismo), los ecosistemas de agua dulce en particular a menudo se asocian con la identidad cultural de una sociedad. Entre los tres indicadores del componente de servicios del ecosistema, las partes interesadas asignaron el peso más bajo a este indicador (0.15), lo que sugiere que actualmente tiene poca importancia en relación con los Servicios de Suministro y Regulación & Soporte. El indicador de Servicios Culturales comprende dos subindicadores basados en los dos componentes del valor experiencial de los servicios de los ecosistemas de agua que pueden ser cuantificado: Conservación & Patrimonio Cultural, y Recreación. Cuando

se combinó este indicador obtuvo un puntaje de **83**, pero se basa únicamente en la puntuación de Conservación & Patrimonio Cultural, ya que los datos para calcular el subindicador de Recreación no están disponibles. Además, las partes interesadas de la cuenca Alto Mayo dieron mucho mayor importancia (0.80) al servicio de Conservación y Patrimonio Cultural.

3.3.1 Conservación & Patrimonio Cultural

El subindicador de Conservación y Patrimonio Cultural mide el grado en que los ecosistemas de agua dulce se conservan por su importancia cultural, incluyendo la importancia biológica. Lugares de conservación y patrimonio cultural están relacionados con valores culturales, religiosos y científicos de una sociedad. Este subindicador recibió una puntuación de **83**, indicando buena conservación y protección de los ríos en la cuenca Alto Mayo. Sin embargo, este puntaje solamente considera aspectos de conservación, es decir, la longitud de ríos dentro de áreas de conservación. Hace necesidad averiguar también si los cuerpos de agua tienen algún valor espiritual para las comunidades indígenas u otra comunidad.

3.3.2 Recreación

Recreación mide cuánto la gente pasa su tiempo en actividades recreativas relacionadas con el agua. Actualmente el monitoreo sistemático del número de visitantes en cascadas, ríos, reservorios, entre otros cursos de agua, en áreas protegidas u otros, no se están realizando o los datos no están disponibles, por lo que este subindicador no fue calculado para la cuenca Alto Mayo.

4. GOBERNANZA & PARTES INTERESADAS: RESULTADOS DE INDICADORES Y SUBINDICADORES

El componente Gobernanza y Partes Interesadas del Índice de Salud de Agua evalúa las estructuras (como las regulaciones) y los procesos mediante los cuales las personas toman decisiones relacionados con los recursos hídricos. En contraste con los indicadores de los componentes de Vitalidad del Ecosistema y Servicios del Ecosistema, donde los datos se recopilan de forma rutinaria y los métodos de medición son ampliamente conocidos, la medición de la gobernanza es un área emergente sin padrones estandarizados. Los temas también son más subjetivos, lo que significa que la percepción de las personas es una fuente de información válida. Para recopilar esta información, se realizó una encuesta a un gran grupo de partes interesadas de la cuenca Alto Mayo. Estas partes interesadas fueron principalmente funcionarios de gobiernos, miembros de la sociedad civil e investigadores con conocimiento detallado de temas de gobernabilidad en la cuenca Alto Mayo. Se debe notar que las partes interesadas que participaron también recomendaron encarecidamente que esta encuesta debería ampliarse, tal vez de forma simplificada, a otros grupos de partes interesadas en la cuenca que no se pudo incluirlos por diferentes motivos.

Al combinar estos resultados, la cuenca Alto Mayo tiene un puntaje de **38** para el componente de Gobernanza & Partes Interesadas. Este es el conjunto de indicadores de desempeño más bajo para la cuenca, lo cual no es sorprendente considerando que mejorar la gobernabilidad del agua es un reto global. Mejorar este puntaje debería ser una prioridad para los tomadores de decisiones en la cuenca Alto Mayo, particularmente teniendo en cuenta los futuros aumentos esperados en la demanda de agua y la variabilidad climática. Afortunadamente, las evaluaciones detalladas a continuación proporcionan conocimiento de dónde y cómo se podrían hacer tales mejoras. También



se puede mencionar que estos indicadores y subindicadores fueron ponderados por las partes interesadas, lo que reveló una preferencia por el indicador de los Compromisos de las Partes Interesadas (0.40).

4.1 Entorno Propicio

El Entorno Propicio se refiere a las políticas, regulaciones, mecanismos de mercado y las normas sociales que existen para ayudar a gobernar y administrar los recursos hídricos. En conjunto, estos atributos determinan qué derechos y activos están protegidos dentro de una cuenca, así como su gestión frente los conflictos. Al combinar los cinco subindicadores a continuación, la cuenca Alto Mayo tuvo una puntuación de **38** para el Entorno Propicio. Esto sugiere una necesidad de mejora significativa, que puede implicar a los actores nacionales, regionales y locales. Entre los cinco subindicadores del Entorno Propicio, las partes interesadas asignaron un similar peso para los subindicadores de Gestión de los Recursos Hídricos (0.27), Capacidad Técnica (0.24) y Capacidad Financiera (0.26).

4.1.1 Estructura para la Gestión de la Cuenca

La Estructura para la Gestión de la Cuenca mide el grado en que las instituciones son responsables por desempeñar funciones tales como la coordinación dentro de la cuenca, la planificación y desarrollo de infraestructura, movilización de recursos financieros y protección de ecosistemas. Esta Estructura para la Gestión de la Cuenca es un conjunto complejo de tareas, típicamente involucrando múltiples agencias públicas y otras partes interesadas. Coordinación frágil entre estos grupos puede llevar a resultados ineficientes, inequitativos o ineficaces. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **40** para la gestión de recursos hídricos. Entre las funciones de la estructura de gestión analizadas, el menor puntaje señalados por los actores fue el de “desarrollo y gestión de la construcción de infraestructura como represas, reservorios y plantas de tratamiento”.

4.1.2 Normas para el Uso del Recurso

Las Normas para el Uso del Recurso miden la claridad de los derechos al agua y de los recursos relacionados con el agua. Derechos claros y exigibles, ya sean formales o informales (por ejemplo, derechos comunitarios), son importantes para el uso eficiente de los recursos de agua y para su distribución equitativa en toda la cuenca. La subcuenca Alto Mayo recibió un puntaje de **36**, una puntuación muy baja que indica que las partes interesadas perciben que las reglas para el uso del agua no son transparentes y aplicables. Si bien se tiene claro que la Autoridad Nacional del Agua es el responsable de los recursos hídricos, al parecer en el campo no está claro y más bien hay una superposición de las acciones entre diferentes instituciones, incluido la autoridad municipal. Entre las opciones presentadas, el tópico de norma que

recibió el menor puntaje fue el de la “claridad en las normas para la pesca en aguas continentales”.

4.1.3 Incentivos & Regulaciones

Los Incentivos y Regulaciones se refieren a la disponibilidad de diferentes instrumentos de manejo, tales como evaluaciones de impacto o incentivos financieros, que pueden aplicarse para fomentar la actividad humana con un impacto negativo mínimo en el agua y los recursos ambientales relacionados. En principio, una mayor diversidad de instrumentos de gestión efectivos significa más flexibilidad para diseñar soluciones y, a su vez, producir respuestas eficientes. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **49** para Incentivos y Regulaciones. Este es el subindicador del componente de Gobernanza y Partes Interesadas con el mayor puntaje, lo que indica que los actores conocen sobre que existe los instrumentos, lo que faltaría es aplicarlos o cumplirlos para ser más eficientes y equitativos. Las herramientas adicionales que se están considerando para el Alto Mayo (esquemas de REDD+ y pagos por servicios ecosistémicos) proporcionarían flexibilidad adicional y mecanismos potencialmente más eficientes y equitativos.

4.1.4 Normas para el Uso del Recurso

La Capacidad Financiera mide hasta qué punto las inversiones necesarias son realizadas para apoyar el desarrollo y la protección de los recursos hídricos. La infraestructura hídrica (por ejemplo, represas, plantas de tratamiento) tiene costos altos, mientras instrumentos económicos como el precio del agua o tasas de contaminación pueden ser aplicados para que los consumidores o usuarios (incluidos individuos y corporaciones) ayuden a compensar estos costos altos y financiar medidas adicionales. La inversión pública puede ser necesaria para asegurar el financiamiento adecuado para salvaguardas, protección de ecosistemas y remediación. La Capacidad Financiera recibió la puntuación de **30** en la cuenca Alto Mayo, es el menor puntaje entre todos los indicadores de Gobernanza y Partes Interesadas. Entre los tres aspectos de capacidad financiera analizados (cantidad de personal para completar las funciones necesarias para la planificación, gestión, investigación y evaluación; niveles de conocimiento y educación para completar las funciones necesarias para la planificación, gestión, investigación y evaluación; y oportunidades de capacitación y certificación profesional), la percepción que el grupo de actores tiene es que cantidad de personal (incluidos los asesores locales) para completar las funciones necesarias para la planificación, gestión, investigación y evaluación es el aspecto menos satisfactorio.

4.1.5 Capacidad Técnica

La Capacidad Técnica se refiere a la adecuación de la fuerza laboral, en términos de número, nivel de habilidad y oportunidades de capacitación, para cumplir funciones técnicas relacionadas a la gestión de los recursos hídricos y, no necesariamente, el nivel de tecnología que se encuentra disponible. Mismo con suficiente capacidad financiera, una escasez de habilidades técnicas, tales como la ingeniería ambiental, puede dificultar el desarrollo eficiente y sostenible de los recursos hídricos. La Capacidad técnica recibió la puntuación de **39** en la cuenca Alto Mayo que se puede interpretar que hay una percepción que las instituciones responsables no poseen el nivel o capacidad de personal o especialización para atender las necesidades y problemas de la cuenca. Entre los cinco aspectos analizados (nivel de inversión en el desarrollo de sistemas para el suministro de agua; nivel de inversión en sistemas de prestación de servicios; nivel de inversión en manejo y tratamiento de aguas residuales; nivel de inversión en conservación y restauración ecológica; y nivel de

inversión en monitoreo y cumplimiento), el nivel de inversión en el desarrollo de sistemas para el suministro de agua fue el de menos puntaje.

4.2 Compromiso de las Partes Interesadas

El indicador de Compromiso de las Partes Interesadas se refiere a todas las formas en que los actores interactúan entre sí dentro de la cuenca, y el grado de transparencia y responsabilidad que rodea estas interacciones. Si bien el compromiso de las partes interesadas se lleva a cabo en diferentes formas en todo el mundo, generalmente se considera como un principio clave de la buena gobernanza del agua, garantizar que se tenga en cuenta todas las inquietudes o preocupaciones antes de tomar decisiones importantes, para evitar posibles conflictos y asegurar una distribución equitativa de los beneficios. El indicador de Compromiso de las Partes Interesadas se divide en subindicadores sobre acceso y participación de la información en los procesos de toma de decisiones. En este caso, el Compromiso de las Partes Interesadas en la cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **40**, el más alto entre los indicadores en el componente de Gobernanza y Partes Interesadas, que indica que existe el compromiso de los diversos actores para desarrollar una gestión, pero aún se enfatiza como preocupación. Las partes interesadas asignaron un similar peso entre los dos subindicadores de Información y Conocimientos (0.47), y Participación en los Procesos de Toma de Decisiones (0.53).

4.2.1 Información y Conocimiento

La Información y Conocimientos mide la accesibilidad de los datos sobre la cantidad y calidad de agua, gestión de recursos y desarrollo. Mismo en los casos en que los datos son recolectados de manera rutinaria, si no están disponibles para los interesados para la investigación o análisis, las decisiones pueden ser consideradas menos transparentes. Acceso a los datos también ayuda a las comunidades a responsabilizar a los tomadores de decisión (por ejemplo, para determinar si una determinada política o proyecto está entregando los beneficios previstos). La Información y Conocimientos recibió una puntuación general de **44** para la cuenca Alto Mayo. Esto sugiere que las partes interesadas están aproximadamente un poco menos que 50% satisfechas con la información perteneciente a la gestión de los recursos hídricos en la cuenca. Los actores más específicamente que, entre los cuatro aspectos analizados, la información existente no cumple satisfactoriamente con los estándares de calidad esperados, en términos de frecuencia, nivel de detalle y temas de interés para los actores; y la información disponible, sólida y relevante no se aplica satisfactoriamente rutinariamente en la toma de decisiones.

4.2.2 Participación en los Procesos de Toma de Decisiones

La Participación en los Procesos de Toma de Decisiones mide el alcance de la participación de las partes interesadas en algunos aspectos de los procesos de toma de decisiones y el grado en que tienen voz en el ciclo de política y planificación. Mientras hay diferentes niveles de compromiso “adecuado”, una mayor participación se asocia generalmente con una mejor transferencia de información, planes y políticas más específicos y equitativos, transparencia y responsabilidad, y reducción de conflictos. La Participación en los Procesos de Toma de Decisiones recibió una puntuación de **37**, indicado baja participación de los actores en diferentes procesos de toma de decisiones en la cuenca Alto Mayo. Entre los tres aspectos analizados (todos los actores relevantes han sido identificados y notificados al tomar decisiones importantes; los actores pueden proporcionar comentarios antes de que se tomen decisiones importantes; y las decisiones responden a la participación de los actores), la menos satisfactoria para los actores fue “las decisiones responden a la participación de los actores”.

4.3 Efectividad

La Efectividad se refiere a los resultados de las políticas relacionadas con el agua y las decisiones de inversión: ¿están logrando realmente lo que se pretendía que hicieran? En todo el mundo, a menudo hay una brecha entre la política y la práctica, entre lo que se espera basado en una decisión compleja y lo que realmente ocurre. Este indicador de Efectividad y sus subindicadores intentan evaluar si las decisiones están teniendo los efectos previstos. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **35** para este subindicador, lo que sugiere un alto margen de distanciamiento entre la política y la práctica. Entre los tres subindicadores de Efectividad, las partes interesadas también asignaron pesos de similar importancia para Aplicación y Cumplimiento (0.40) y Distribución de Beneficios de los Servicios del Ecosistema (0.41). Finalmente, el subindicador de Conflicto Relacionado con el Agua es lo menos importante para los actores (0.19).

4.3.1 Aplicación y Cumplimiento

La Aplicación y Cumplimiento mide el grado en que se respetan las leyes y se aplican los acuerdos. Una “brecha de cumplimiento” puede reflejar una capacidad regulatoria insuficiente o una falta de responsabilidad, lo que debilita la efectividad de las leyes y políticas. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **35** para Aplicación y Cumplimiento. Entre los cinco temas analizados (se aplican las normas de extracción de agua superficial; se aplican las normas de extracción de agua subterránea; se aplican las normas de continuidad de flujo; se aplican las normas de calidad del agua; y se aplican las normas de uso del suelo), lo menos satisfactorio para las partes interesadas fue “se aplican las normas de continuidad de flujo”.

4.3.2 Distribución de Beneficios

La Distribución de Beneficios de los Servicios del Ecosistema se refiere a los impactos de las decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos, con especial atención a los diferentes segmentos de la sociedad: trabajadores rurales, urbanos, migrantes y sin registro local, y aquellos empleados en sectores dependientes de los recursos, como los pescadores. Los servicios de los ecosistemas relacionados con el agua están, por su naturaleza, distribuidos de manera desigual en una cuenca, por lo que se deben tomar medidas (como el desarrollo de reservorios y redes de distribución de agua) para asegurar que los recursos se distribuyan equitativamente. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de 31 para este subindicador, el puntaje más bajo de todos los subindicadores del componente de Gobernanza y Partes Interesadas, lo cual sugiere que las partes interesadas piensan que los beneficios de los servicios del ecosistema no están distribuidos equitativamente entre los grupos minoritarios (mujeres, indígenas, etc.). Con tiene el menor puntaje en el componente de gobernanza la mejora de ese indicador debe ser una prioridad.

4.3.1 Conflicto Relacionado con el Agua

El subindicador de Conflicto Relacionado con el Agua refleja las tensiones entre las partes interesadas cuando hay competición por recursos escasos como el agua. La tensión que se intensifica en batallas legales o en conflictos violentos impide el acuerdo y, por lo tanto, puede retrasar o debilitar las decisiones tomadas dentro de la cuenca. Aquí, restringimos la consideración a los conflictos sobre la asignación de agua, el acceso, la contaminación, el desvío o el desarrollo de infraestructura. El conflicto relacionado con el agua en la cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **46** que no es muy bajo y que refleja que hay una institucionalidad sobre la gestión del recurso para hay que mejorarlo buscando una mejor participación de las partes interesadas. Entre los cuatro temas analizados, el menor puntaje fue dada para la frecuencia de conflicto debido a jurisdicciones superpuestas (por ejemplo, entre

regiones, provincias, municipios o entre instituciones). Por lo tanto, ha necesidad de mejorar la coordinación entre los diferentes niveles de administración. Sin embargo, a este subindicador se le asignó el menor peso entre los tres incluidos dentro de la Efectividad (la mitad), lo que sugiere que es una prioridad baja.

4.4 Visión & Gobernanza Adaptativa

El indicador de Visión y Gobernanza Adaptativa mide la capacidad de recopilar e interpretar información, y luego utilizar esa información para establecer políticas, desarrollar planes para la cuenca y adaptarse a los cambios de circunstancias. La gestión eficaz de los recursos hídricos requiere formas de gobernanza flexibles e integradas para hacer frente a las condiciones a veces cambiantes en una cuenca y la incertidumbre asociada con el cambio climático y otros retos emergentes. Por lo tanto, la planificación estratégica es un aspecto importante y es uno de los subindicadores aquí, pero también lo son los mecanismos de monitoreo y aprendizaje establecidos, que permiten actualizar y adaptar los planes estratégicos a medida que cambian las circunstancias. La cuenca Alto mayo recibió un puntaje general de **37** para Visión y Gobernanza Adaptativa. Entre los dos subindicadores de Visión y Gobernanza Adaptativa, las partes interesadas asignaron un peso mayor para el subindicador de Planificación Integral y Gestión Adaptativa (0.64).

4.4.1 Mecanismos de Control

Mecanismos de Control se refiere a la calidad y el uso del monitoreo físico, químico y biológico de los recursos hídricos en la cuenca para guiar las políticas y los procesos de planificación. Idealmente, las decisiones sobre la gestión de los recursos hídricos se basan en datos e información sólidos, pero esto requiere recopilar dicha información (lo que conlleva costos) y hacer que esta información sea comprensible para los tomadores de decisión. La cuenca Alto Mayo recibió una puntuación de **34** para este subindicador lo cual nos indica que aún hay que mejorar los procesos de monitoreo, ya sea involucrando más a las partes interesadas o incrementando los puntos de monitoreo. Aunque, el nivel general de monitoreo de la cantidad de agua fue el indicador menos satisfactorio, las otras variables de monitoreo analizadas (nivel general de monitoreo de la calidad del agua; nivel general de monitoreo biológico y ecológico; y nivel general de monitoreo de acceso y uso de agua) presentaron puntajes muy próximos. Así, en general, las partes interesadas están indicando que el monitoreo de todas las variables se necesita expandir.

4.4.2 Planificación Integral & Gestión Adaptativa

La Planificación Integral y Gestión Adaptativa mide el grado en que la planificación estratégica integral (es decir, la contabilidad del uso de la tierra y el agua y el desarrollo de la infraestructura) tiene lugar dentro de la cuenca. Tener planes integrales, con objetivos bien definidos y prioridades de desarrollo de recursos a largo plazo, puede ayudar a establecer una visión para satisfacer de manera sostenible las necesidades de agua. Pero, lo que es más importante, estos planes deben poder ajustarse a medida que cambien las circunstancias, cuando haya nueva información disponible o cuando ocurren eventos imprevistos. La Planificación Integral y Gestión Adaptativa recibió una puntuación de **38** para la cuenca Alto Mayo. Entre los tres aspectos evaluados (se establece una visión compartida y se usa para establecer objetivos y guiar el desarrollo futuro; la existencia y el uso de mecanismos de planificación estratégica; y la existencia y uso de un marco de gestión adaptativo), la función con menos puntaje fue la existencia y uso de un marco de gestión adaptativo. También vale la pena señalar que las partes interesadas asignaron un gran peso a este subindicador, lo que sugiere que es más del doble de importancia que los Mecanismos de Control.

5. CONCLUSIONES

Los resultados para la cuenca Alto Mayo en general cumplieron con las expectativas, donde los puntajes de los Servicios del Ecosistema sugieren una buena salud al igual que la Vitalidad del Ecosistema, mientras que la Gobernanza & Partes interesadas obtuvieron calificaciones más bajas. La puntuación de Servicios del Ecosistema es el rango más alto, lo que indica que las necesidades humanas se están satisfaciendo por la buena salud de los ecosistemas locales que aún se mantienen, donde los indicadores en Vitalidad del Ecosistema ayudan a mantener esa buena salud, como los demuestran los subindicadores de Desviación de Régimen Natural y Naturalidad de la Cobertura Terrestre. Pero también nos indica que estos valores de buena salud tienen que mantenerse pues hay algunos valores como los del Índice de Calidad de Agua están teniendo valores moderados y deberían por lo menos mantenerse en esos valores. En la actualidad, la gobernanza del agua de la cuenca deberá mejorar y debe responder a las demandas cambiantes dentro de la cuenca (el crecimiento de los centros poblados y áreas urbanas, el aumento de las áreas agrícolas, y de las áreas deforestadas), así como el cambio climático, serán un desafío. El incremento de las preocupaciones sobre la calidad del agua, en especial por el aumento de los valores de coliformes termotolerantes en los puntos de monitoreo y la mayoría cercanas a los mayores centros urbanos, nos indica que no hay un adecuado manejo de residuos orgánicos y un aumento de la contaminación por uso de los pesticidas y residuos de aguas mieles, lo que nos indica que es necesario integrar más el monitoreo de la cantidad y la calidad del agua.

Como consecuencia, la calidad del agua recibió un valor moderado entre los servicios de Regulación y Soporte, lo que refleja las preocupaciones de las partes interesadas con el deterioro de la calidad del agua en la cuenca, algo que ha recibido una atención significativa por parte de los actores locales con solicitudes del establecimiento de estaciones de monitoreo adicionales y de la introducción de sistemas de “quien contamina paga”. Con el creciente cambio de uso de suelo y la posibilidad de que el cambio climático incremente los problemas de contaminación del agua de la cuenca (aumento de la erosión y sedimentación), el monitoreo de la calidad del agua y los estándares requieren mayor atención. El problema de calidad del agua es agravado debido al problema de erosión que se observa en la cuenca en función de la deforestación. La Regulación de Sedimento presentó una puntuación más baja que la Regulación de Calidad del Agua. Es decir, ambos servicios Regulación de Sedimento y Regulación de la Calidad del Agua deben ser observados con atención y deberían ser priorizados por las partes interesadas.

En general, el componente Gobernanza & Partes Interesadas incluyó los indicadores de desempeño más bajos (ningún subindicador con una puntuación superior a **46**), lo que sugiere que esta debe ser un área de preocupación prioritaria para la cuenca Alto Mayo. En la cuenca se están discutiendo mejorar la gestión de la cuenca con el desarrollo de nuevas herramientas como los Mecanismos de Retribución de Servicios Ecosistémicos de Recursos Hídricos. Estos instrumentos pueden permitir generar, canalizar e invertir en acciones orientadas a la conservación, recuperación y uso sostenible de los ecosistemas, como fuente de servicios ecosistémicos, a través de acuerdos voluntarios entre contribuyentes y retribuyentes. La ponderación reveló que las partes interesadas consideran los resultados para Efectividad es igual de importante que el Compromiso de las Parte Interesadas, por lo tanto, las puntuaciones para Información y Conocimiento (**44**) y Participación en los Procesos de Toma de Decisiones (**37**) son probablemente una preocupación similar con el Conflicto Relacionado con el Agua (**48**). El puntaje bajo para Distribución de Beneficios refleja una falta de una estrategia de comunicación para el entendimiento por parte de los actores locales de la importancia de la conservación del ecosistema ayuda a tener una mejor cantidad y calidad del agua en la cuenca. Hay un énfasis de las partes interesadas sobre el Entorno Propicio que se observa con valores

más altos pero también con el valor más bajo, que puede significar que hay un interés en comprender las brechas en la implementación y las relaciones interinstitucionales, particularmente en los niveles locales de gobierno y muestran la voluntad de generar un mejor trabajo de coordinación entre las partes interesadas, que incluye una preocupación por generar más fondos o presupuesto que puedan mejorar la capacidad técnica de las instituciones públicas que trabajan en la gestión del recurso hídrico. Para eventos próximos se ha propuesto que para una nueva evaluación se incluya a otros actores importantes que no fueron tomadas en cuenta.

La evaluación también destacó los problemas para un mayor análisis o la recopilación de información. Si bien las partes interesadas dependen principalmente del agua superficial para satisfacer sus necesidades, el agua subterránea también se está utilizando cada vez más en algunas partes de la cuenca, por lo que es importante tener una base de datos y monitoreo de las aguas subterráneas más detallada y clara, dado que podría ser cada vez más importante para satisfacer la demanda de agua en la zona a futuro. Actualmente, se conoce que por ejemplo las ladrilleras y otras iniciativas privadas son las actividades que usan más este tipo de recurso. Así tendríamos un panorama más completo sobre la cantidad de agua total de la cuenca si dispusiéramos de más datos sobre la disponibilidad, el uso y la calidad del agua subterránea.

A pesar de que la cuenca Alto Mayo aún mantiene un ecosistema saludable y una buena biodiversidad con respecto a la parte baja de la cuenca del río Mayo, establecer un plan de monitoreo de la biodiversidad sería útil para prevenir la pérdida de especies importante en el área, como es el caso del mono tocón y especies acuáticas. Uno de los puntos clave, es evitar la deforestación de los humedales, las cuales cumplen un rol muy importante biológicamente y es un refugio natural para la diversidad de flora y fauna: mamíferos, aves, reptiles, peces e insectos. Otras acciones complementarias serían aumentar y/o mejorar la red de estaciones meteorológicas e hidrométricas que nos puede ayudar a tener una línea base de datos climáticos más adecuada.

Las puntuaciones de los subindicadores para la regulación de inundaciones y sedimentos aún faltan mejorar, pues en el caso de los sedimentos, no se tienen datos medidos en campo para el área de estudio, y lo que se hizo una adecuación de datos regionales. No existe tampoco una norma o regulación sobre sedimentación en los cauces de la red hídrica. Para el tema de inundaciones, se necesita incorporar más datos que abarquen un mayor periodo de tiempo, quizás unos 10 años, pues una característica en Perú es la ocurrencia del Fenómeno del Niño y de la Niña, y que trae como consecuencia el desarrollo de eventos extremos, como es el caso de grandes inundaciones que pueden afectar a los centros poblados y áreas agrícolas. El monitoreo de estos procesos debe ser continuo para proporcionar una comprensión más clara de las acciones que se pueden realizar e implementar acciones de mitigación.

Dada la importancia de mejorar la gobernabilidad del agua en la cuenca, también será útil identificar las necesidades financieras, en términos de la brecha entre los presupuestos propuestos y las asignaciones reales en los sectores de gestión de recursos hídricos. Es importante destacar que una evaluación de la capacidad financiera debe cubrir las necesidades de infraestructura (desarrollo de suministro de agua, redes de distribución y tratamiento de aguas residuales), pero también inversiones en conservación y rehabilitación de ecosistemas, junto con monitoreo y cumplimiento.

Las partes interesadas en la cuenca expresaron un gran interés en continuar con los escenarios de cambios futuros por cambio de uso de la tierra y cambio climático (aumentos/descensos de precipitación y temperatura), para comprender, visualizar y discutir los posibles trayectos que puedan ocurrir en el paisaje para la salud de la cuenca. Estos escenarios incluyen el desarrollo económico futuro (mayor urbanización y aumento

de áreas agrícolas), así como el cambio climático, que puede crear eventos extremos más frecuentes (inundaciones y sequías) en la cuenca. Por lo tanto, un próximo paso sería desarrollar escenarios más detallados con las partes interesadas y modelar estos escenarios con un conjunto de modelos hidrológicos (de mayor periodo de tiempo), de calidad de agua, hidráulicos, de pérdida de suelo y de asignación para evaluar los cambios en indicadores específicos de Vitalidad del Ecosistema y Servicios del Ecosistema. Esto también ayudará a las partes interesadas a identificar áreas geográficas donde priorizar acciones para una mejor gestión de los recursos hídricos.

PARTE II. ESCENARIOS FUTUROS

1. ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO EN EL USO DE LA TIERRA

OBJETIVOS

Se modelaron dos escenarios de cambio de uso de la tierra para la cuenca Alto Mayo para el año 2035, con el objetivo de A) establecer un escenario de “business as usual” basado únicamente en las tendencias recientes en la conversión y restauración de tierras y B) crear un escenario de “Conservación” que incorpora unidades de conservación existentes (SERFOR, SERNANP, GORESAM), para establecer zonas prioritarias para la conservación de bosques. Estos escenarios ofrecen una visión inicial de las diferentes trayectorias que el uso de la tierra en la cuenca puede tomar en un futuro próximo, pero también se utilizan como aportes al modelo hidrológico, para evaluar los impactos potenciales en los flujos de agua superficial.

Es importante tener en cuenta que los modelos de cambio de suelo no están diseñados para “predecir” el futuro, por lo que estos escenarios se crearon para ayudar a explorar posibles cambios en el futuro y sus posibles impactos. Se alienta la exploración adicional, tanto para examinar en mayor detalle los planes específicos y las subcuencas, como también para analizar los impactos adicionales, en particular sobre la calidad del agua y la erosión, que el análisis actual no proporciona.

RESULTADOS

Entre 2000 y 2016, hubo una gran pérdida neta de tierra etiquetada como pastos; la mayoría de esto se convirtió en tierra agrícola. En general, el área de tierra agrícola se duplicó con creces y, para 2016, totalizó alrededor del 20% de las tierras de la cuenca. Durante este mismo período de tiempo, aproximadamente el 7,5% de los bosques remanentes de la cuenca se perdieron, de nuevo principalmente a través de la conversión a tierras agrícolas.

“Business as usual” (BAU)

En el escenario BAU, aunque gran parte del cambio en el uso de la tierra que se produce en toda la cuenca se debe a que los bosques se están convirtiendo a la agricultura, hay un crecimiento significativo (> 200%) en las áreas de asentamiento urbano. Esto es más pronunciado en la región de Nueva Cajamarca (ver **Figura 7**), que podría experimentar una expansión urbana y periurbana sustancial en ausencia de cualquier control de planificación o uso del suelo. Esto es particularmente importante para la salud futura de las aguas en la cuenca del Alto Mayo porque, en la actualidad, las áreas urbanas no están proporcionando una infraestructura de saneamiento adecuada y son fuentes importantes de contaminación. Si esta tendencia continúa, exacerbará el estrés en la red fluvial, particularmente en las áreas Como Nueva Cajamarca. También en el escenario BAU, el área forestal se reduce en un 18% y el área agrícola aumenta en casi un 170%.

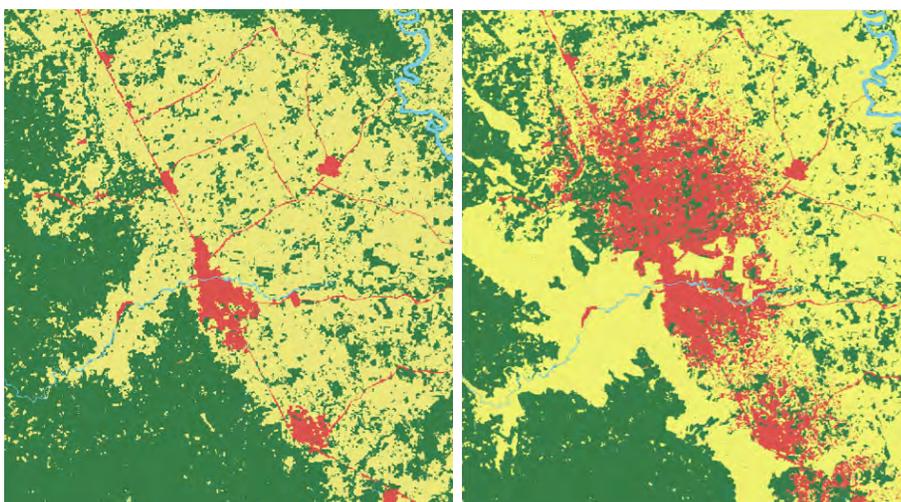


Figura 7. Concentración de coliformes – Alto Mayo.

CONSERVACIÓN

En el escenario de Conservación, el patrón de expansión urbana parecía aproximadamente el mismo que en el escenario BAU porque se espera que el crecimiento urbano se produzca principalmente fuera de las áreas protegidas. Pero la cantidad de área forestal perdida fue menor (7,5%) y la expansión agrícola, si bien aún fue sustancial (127%), fue notablemente menor que bajo el BAU.

Es importante destacar que la pérdida de bosques en el escenario de Conservación se concentró en los territorios de las comunidades Awajún de la cuenca (**Figura 8**). Esto es consistente con el escenario BAU que mostró una concentración similar, y sugiere que, en igualdad de condiciones, estos territorios enfrentan la mayor presión de deforestación basada en las tasas de conversión históricas y en la topografía favorable (pendientes más suaves en comparación con los bosques protegidos en las áreas naturales protegidas).

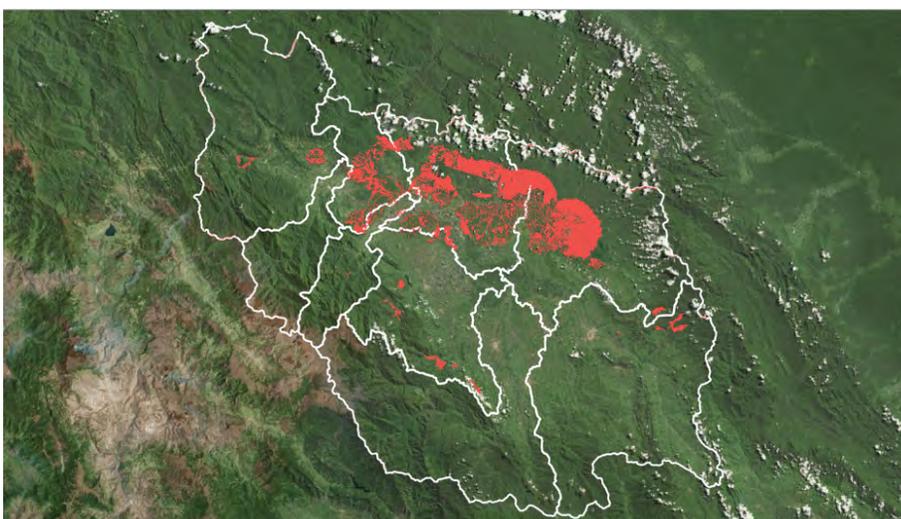


Figura 8. Pérdida de bosque para 2035 (rojo) según lo previsto en el escenario de Conservación.



2. ESCENARIOS FUTUROS DE CAMBIO EN PATRONES DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

OBJETIVOS

El modelamiento tuvo el objetivo principal de establecer escenarios basados en los potenciales cambios en los patrones de temperatura y precipitación para dos Trayectorias de Concentración Representativas (RCP, por sus siglas en inglés). Los RCPs son caracterizados como vías o trayectorias que representan proyecciones de las concentraciones de emisión de gases invernadero siguiendo su trayectoria a través del tiempo. Son representativos porque concentran escenarios diferentes, pero con forzamientos radiativos similares. Existen distintos tipos de escenarios RCP diferenciados por la magnitud de la forzante radiativa. Los dos RCP elegidos para el análisis fueron el RCP 4.5 y RCP 8.5 para representar dos extremos y porque son los empleados en la Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (MINAM, 2016). El escenario 4.5 es un escenario en el que los esfuerzos en mitigación conducen a una condición baja y el RCP 8.5 conduce a un nivel muy alto de emisiones de gases de efectos invernaderos (GEI). Estos escenarios ofrecen una visión inicial de las diferentes trayectorias que el clima, en la cuenca Alto Mayo, puede tomar en un futuro próximo. Además, los resultados del modelo de escenarios de cambio climático, es decir, las series temporales de temperatura y precipitación para el futuro fueron utilizadas como insumo a los modelos hidrológicos para entender los efectos sobre la posible disponibilidad del recurso hídrico en el área del estudio.

Es importante tener en cuenta que los modelos de cambio climático no están diseñados para “predecir” el futuro, por lo que estos escenarios se crearon para ayudar a explorar posibles cambios en el futuro y sus posibles impactos.

RESULTADOS

Los resultados preliminares indicaron, en general, que los cambios de patrones de precipitación para el periodo de 2011-2040 pueden ser muy bajos en relación con la línea de base (periodo de 1981-2010). En el escenario RCP 4.5, las proyecciones prevén incrementos de hasta el 2% en las partes de la cuenca alta mientras que en las partes bajas tiende a ser cero (Figura 9). Este comportamiento no se mantiene en el escenario RCP8.5, en donde en lugar de tener incrementos se observan decrementos de la proyección de la precipitación (Figura 9), siendo -1.3% el valor mínimo. Un valor entre -1.0% a -0.5% se mantiene a lo largo del cauce principal. Sin embargo, se puede concluir que no se presentan decrementos muy drásticos.

Con relación a los patrones de temperatura, los resultados indicaron que para el periodo de 2011-2040 los cambios potenciales muestran una tendencia a permanecer por debajo del 1.5% de incremento para ambos escenarios (RCP 4.5 y RCP 8.5). En el escenario RCP 4.5, los menores incrementos pueden ocurrir en las subcuencas con menor elevación y los mayores incrementos en aquellas subcuencas donde la elevación comienza a incrementarse (zona de montañas) (Figura 9). Para el caso del escenario RCP 8.5, los incrementos tenderían a permanecer entre el 1.3% y 1.4%. (**Figura 9**).

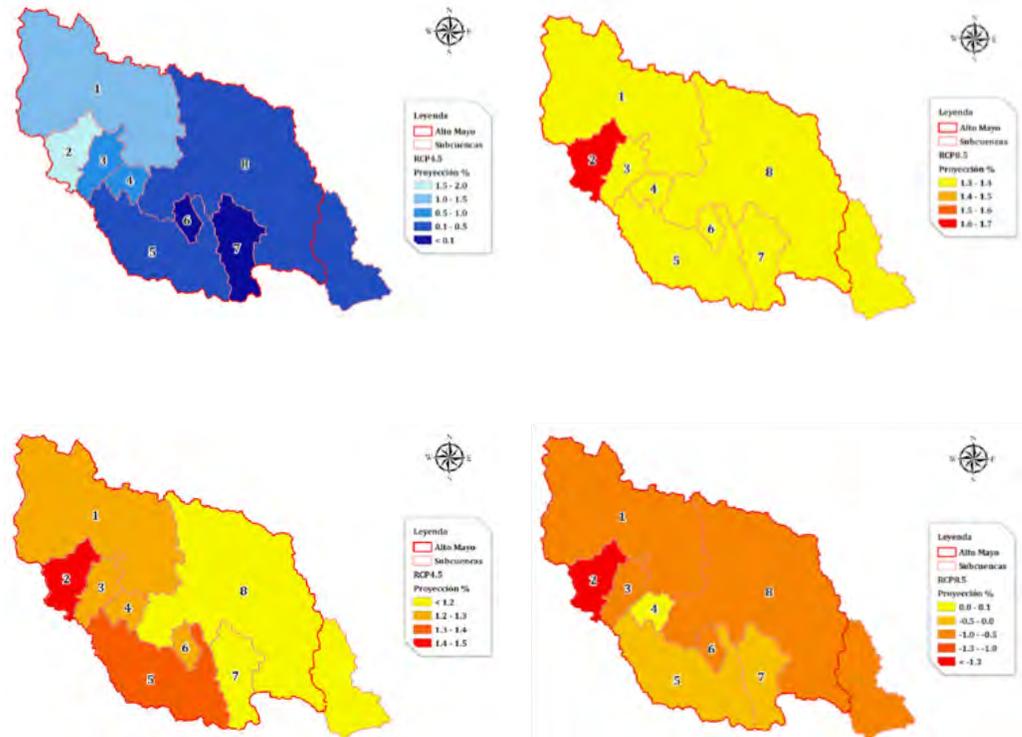


Figura 9. Proyecciones de cambio para precipitación (arriba) y temperatura (abajo) para dos escenarios de cambio climático **RCP 4.5 (izquierda)** y **RCP 8.5 (derecha)** para el periodo de 2011-2040 para la cuenca Alto Mayo. Los resultados se presentan en porcentaje, es decir, la variación media de la variable precipitación en relación con el periodo de base (1981-2010).).

PARTE III. MODELO HIDROLÓGICO

OBJETIVOS

Se modelaron dos escenarios de cambio de uso de la tierra para la cuenca Alto Mayo para El modelado hidrológico tuvo dos objetivos principales A) estimar los flujos que se esperarían en condiciones naturales. Esa información fue necesaria para el cálculo del subindicador Desviación del Régimen de Flujo Natural del componente de Vitalidad del Ecosistema; y B) estimar los efectos de escenarios futuros (cambio climático y cambio de uso de la tierra) sobre la disponibilidad de agua. El área de estudio para el modelado hidrológico fue un poco diferente que el área usada para el cálculo de los indicadores del ISA (**Figura 10**) debido a la distribución de las estaciones de caudal.

Es importante tener en cuenta que el modelo hidrológico no es diseñado para “predecir” el futuro, por lo que los efectos modelados de los escenarios futuros sobre los patrones se crearon para ayudar a explorar posibles trayectorias de los caudales en función de posibles cambios en el futuro. Es información es relevante para ayudar en la planeación de acciones de manejo de los recursos hídricos.

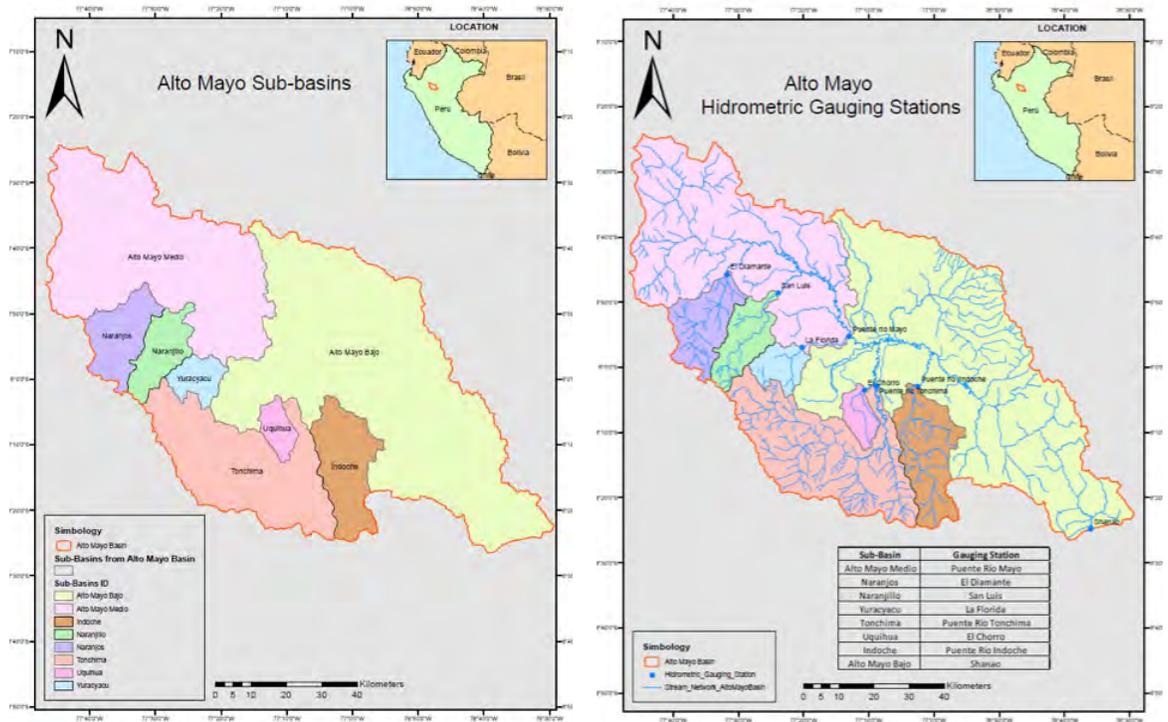


Figura 10. Área de estudio para el modelo hidrológico y las subcuencas analizadas.

RESULTADOS

Los resultados presentados centran en la estación que se encuentra aguas abajo a la salida de la cuenca, en la parte media de la cuenca donde se localiza la estación Shanao. Además, los resultados presentados aquí son los modelados para escenarios futuros que consideran los escenarios de cambio climático y de uso de la tierra conjuntos (RCP 4.5 + “business as usual” y RCP 8.5 + “business as usual”) para el periodo de 2018 hasta 2037. De una manera general, los resultados preliminares indican que hay una tendencia de aumentos de los caudales anuales para ambos los escenarios futuros y los aumentos son mayores durante el periodo de enero y febrero (ver **Figura 11**).

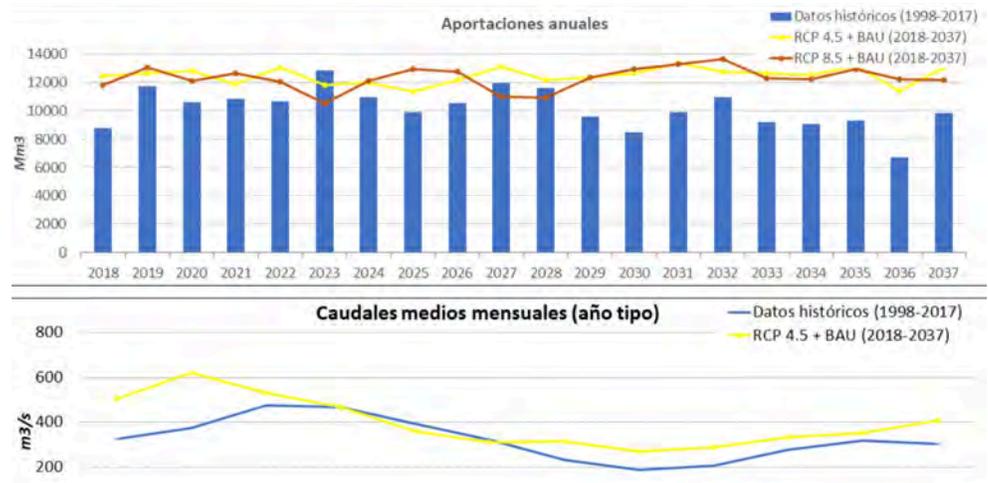


Figura 11. Efectos de los escenarios futuros en los caudales anuales (arriba) y mensuales (abajo).

La variación potencial en la descarga anual para cada subcuenca se muestra en la **Figura 12**. Este resultado también indica que la variación en relación con la descarga histórica no varía mucho entre los dos escenarios, pero la magnitud de la variación entre las subcuencas varía considerablemente. La mayor variación se observó en las cuencas Naranjos y Naranjillos.

A pesar de que el análisis presentado aquí muestra los efectos combinados de los escenarios del cambio climático y el escenario de cambio de uso de la tierra de BAU, el análisis que considera los dos tipos de escenarios por separado indicó que la mayoría de los efectos están asociados con los escenarios del cambio climático. Esto se debe a que el modelo hidrológico se limitó a captar los efectos del cambio en el uso de la tierra, lo cual no es un problema poco común.

Es importante mencionar que los valores específicos presentados para los efectos de los escenarios futuros sobre la hidrología de la cuenca Alto Mayo podrían estar asociados con los artefactos de modelado (inclusión de un aporte de flujo subterráneo para cada una de las subcuencas como explicado en los métodos). Como el modelo utilizado no tiene capacidad de modelar adecuadamente los procesos hidrológicos en áreas dominadas por bosques de montaña lluviosa (como es el caso de algunas subcuencas en el Alto Mayo), las cuales pueden presentar volúmenes anuales de escurrimiento mayores que los volúmenes de precipitación, los valores específicos aquí presentados deben ser usados con cuidado. Se sugiere centrar la atención a la dirección de cambio proyectada y no magnitud de los números presentados. Es decir, que se prevén aumentos de los caudales en los dos escenarios modelados.

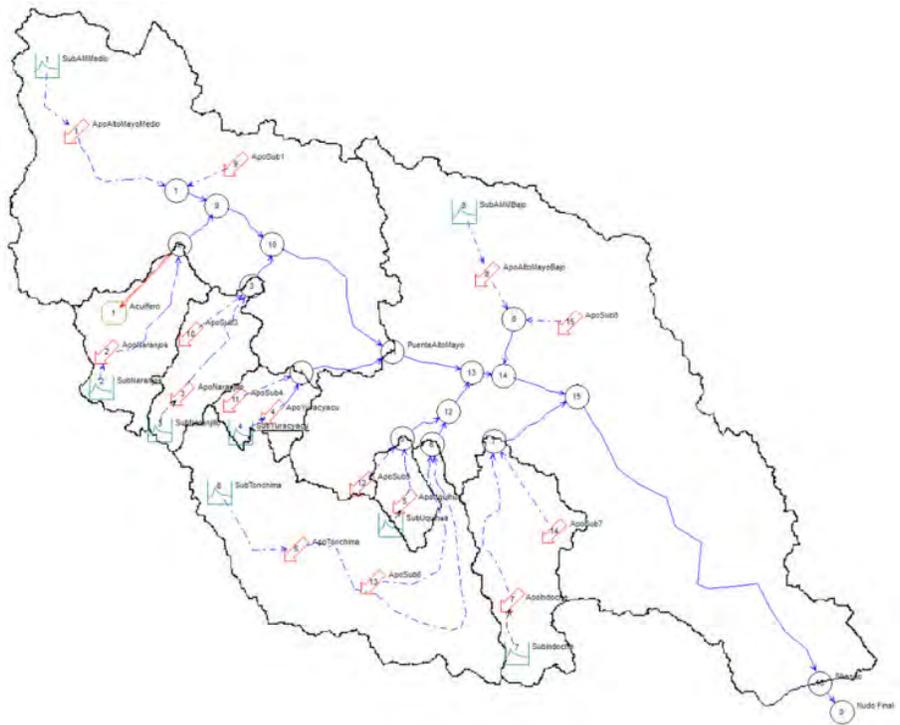


Figura 12. Porcentaje de cambio de los caudales mensuales por subcuencas respecto al escenario base (histórico).

PARTE IV. INDICADORES PARA EL FUTURO

Esta sesión tiene como objetivo proveer un análisis de tendencia sobre cómo los escenarios futuros de cambios climáticos y uso de la tierra podrían influenciar los indicadores del ISA. Es importante resaltar que los pronósticos presentados son especulaciones, dado que análisis más específicos necesitarían ser hecho para realmente simular cómo las puntuaciones podrían variar en los futuros en función de los escenarios.

Para la cuenca Alto Mayo el ejercicio de pronóstico se realizó considerando los resultados para del escenario de cambio climáticos modelados para el RCP 4.5. Cabe destacar, que los cambios climáticos resultantes de los escenarios con RCP 8.5 fueron, de cierta manera, semejantes a los resultados obtenidos para RCP 4.5. Es decir, los pronósticos ejemplificados a continuación, podrían ser resultantes también de los escenarios RCP 8.5. Los análisis de tendencias completadas para un subindicador del componente de Vitalidad del Ecosistema (Modificación del Canal) y tres subindicadores del componente de Servicios del Ecosistema (Regulación de Calidad del Agua, Regulación de Sedimentos, y Regulación de Inundaciones).

Las simulaciones sobre el cambio climático para la cuenca Alto Mayo completadas por el equipo del Instituto Tecnológico de Monterrey (ITESM) al considerar el RCP 4.5 indicaron que pueden existir aumentos y reducción de los patrones de precipitación para la cuenca. Además, se prevé aumento de la temperatura para toda la cuenca del Alto Mayo en este escenario. El modelaje hidrológico considerando esas alteraciones indicó que el conjunto de estos cambios climáticos puede llevar a un aumento la cantidad de agua en la cuenca, principalmente durante los meses de verano (enero, febrero y marzo). Ese aumento en la cantidad de agua disponible en el futuro puede influenciar diferentes subindicadores del ISA en grados variados. También, son destacados efectos potenciales sobre algunos subindicadores, principalmente para aquellos del componente de Servicios del Ecosistema.

Mayor volumen de agua en ríos y arroyos siendo transportada durante los eventos de lluvia implica generalmente en ajustes en las dimensiones del canal debido a la intensificación de procesos erosivos causados por la mayor energía del mayor volumen de agua. Consecuentemente, se espera que la modificación de los márgenes de los arroyos y ríos aumente en ese escenario de cambio climático que resulta en aumentos del volumen de precipitación. En consecuencia, se espera que el subindicador de Modificación del Canal disminuya en el escenario RCP 4.5, dado que una erosión intensificada puede resultar en corrientes más canalizadas. Por ser un proceso erosivo, la Modificación del Canal, invariablemente, resulta en aumento la concentración de sedimentos siendo cargado dentro de arroyos. Por lo tanto, para el escenario RCP 4.5, la Regulación de Sedimentos de la cuenca Alto Mayo puede ser comprometida.

Una mayor cantidad de sedimentos tiene implicación directa sobre la potabilidad del agua, pues cuanto mayor es la cantidad de sedimentos menor y la calidad del agua. Si la calidad del agua fuese dependiente solamente de las concentraciones de sedimento, se esperaría que el indicador de Regulación de Calidad del Agua redujera en ese escenario futuro de cambio climático. Sin embargo, como la calidad del agua y función de varios otros constituyentes y no se sabe las tendencias para esos otros constituyentes dentro de ese escenario, no es posible determinar una tendencia específica hacia ese subindicador. Por ejemplo, aunque exista un aumento de la concentración de sedimentos, con consecuente efecto negativo sobre la calidad del agua, es posible que las concentraciones de coliformes fecales mejore, por ejemplo, en función de instalación de estaciones de tratamiento de aguas residuales, o que tendría efecto positivo sobre la calidad del agua.

Finalmente, los aumentos de precipitación previstos para el escenario de cambios climáticos pueden tener efecto directo sobre el indicador de Regulación de Inundaciones. Especialmente porque los aumentos están previstos para el periodo lluvioso cuando problemas de inundaciones ya son observados en la región.

Como se observa, el escenario de cambio climático más conservador (RCP 4.5) puede influir negativamente en varios atributos de la salud de la cuenca Alto Mayo. Por eso, el ejercicio de desarrollo de escenarios futuros y el análisis sobre cómo esos escenarios pueden influenciar los indicadores del ISA puede ayudar de forma directa a la planificación estratégica de la cuenca. También, puede ayudar a evitar sorpresas y garantizar la distribución sostenida y equitativa del agua entre las diferentes partes interesadas.

APÉNDICE PARTE I: MÉTODOS PARA SELECCIONAR LOS CÁLCULOS DEL INDICADOR

La documentación completa de los métodos del Índice de Salud del Agua (ISA) está disponible en el Manual del Usuario de ISA, al que se puede acceder a través del sitio web (<http://www.freshwaterhealthindex.org/>). A continuación, proporcionamos detalles sobre cómo se aplicaron los métodos y las fuentes de datos utilizadas para producir la evaluación de la cuenca Alto Mayo. Es importante resaltar que todos los subindicadores fueron agregados al nivel de los indicadores y éstos fueron agregados al nivel de los componentes. La agregación de los subindicadores y indicadores del componente de Vitalidad del Ecosistema fue hecha por media geométrica, mientras que los subindicadores e indicadores de los componentes de Servicios Ecosistémicos y Gobernanza y Partes Interesadas fueron agregados por media ponderada, teniendo en cuenta la importancia relativa (peso) dada por las partes interesadas.

VITALIDAD DEL ECOSISTEMA

Desviación del Régimen de Flujo Natural

La Desviación del Régimen de Flujo natural mide el grado en que los caudales actuales de agua se diferencian de los caudales naturales históricos (es decir, desarrollo previo) a través del cálculo de la “Proporción Anual Modificada de la Desviación del Flujo” (AAPFD por sus siglas en inglés). Cuanto mayor es el número de la AAPFD, mayor será la alteración del régimen de los flujos en relación con lo que se esperaba en condiciones naturales. El valor del AAPFD es transformado y normalizado a un rango de 0-100, donde 100 indica que no hay desviación del régimen de flujo natural. Para la cuenca Alto Mayo, el AAPFD fue calculado con datos estimados representando los caudales estimados para condiciones naturales y para caudales representando condiciones actuales. El programa AquaTool fue usado con plataforma de modelado hidrológico para estimar dos flujos que se esperaba en condiciones naturales. Más específicamente, se utilizó el módulo EVALHID que es un módulo para el desarrollo de modelos lluvia-caudal en cuencas complejas y que evalúa la cantidad de recursos hídricos producidos. Dentro del EVALHID, el modelo Témez fue el utilizado para estimar el flujo superficial de los ríos en condiciones naturales. El modelo hidrológico para la subcuenca Alto Mayo incluyó 8 subcuencas (Alto Mayo Medio, Alto Mayo Bajo, Indoché, Tónchima, Uquihua, Yuracyacu, Naranjillo, y Naranjos) y fue realizado para el período de enero de 1998 a diciembre de 2017. Los caudales naturales fueron simulados considerando el mapa de cobertura vegetal disponible para el área de estudio (MINAM, 2016).

Calidad del Agua

La calidad del agua se evalúa según los niveles monitoreados de algunos parámetros de calidad del agua considerados cruciales para la “buena” salud ecológica de los ecosistemas de agua dulce. El Índice es calculado utilizando una modificación del método del CCMW sobre calidad del agua - CCMW WQI (Consejo Canadiense de Ministros del Medio Ambiente, 2001). Este Índice incorpora tres elementos: 1) alcance - el número de variables que no cumplen los objetivos de calidad del agua; 2) frecuencia - la cantidad de veces que no se cumplen estos objetivos; y 3) amplitud - la extensión por la cual los objetivos no se cumplen. El índice produjo un número entre 0 (la peor calidad del agua) y 100 (la mejor calidad del agua) que se utiliza como puntaje del ISA. El CCMW utilizado aquí es el mismo que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) propuso para ser usada en Perú. Para la cuenca Alto Mayo, se utilizaron datos para 21 parámetros de calidad del agua (pH, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno, sólidos disueltos totales, fósforo total, nitrógeno total, nitrato, bario, selenio, antimonio, arsénico, cadmio disuelto, cobre, mercurio, cromo, níquel, plomo, talio, zinc, petróleo y grasas, y coliformes termotolerantes) para el periodo de 2 años: 2015 y 2017 (ANA, 2016; ANA, 2018) para 12 estaciones dentro de la cuenca Alto Mayo para las que tenían datos para los dos años (RNara1, RNara2, RNara3, RYuaara1, RYuaara2, RTioy1, RMayo1, RMayo2, RTonch1, RTonch2, RMayo3 y RMayo4) (ANA, 2016 & 2018). Los umbrales utilizados para representar el ideal de salud ecológica de los ecosistemas de agua dulce se derivaron de la regulación peruana emitida por el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) y la literatura científica (Allan y Castillo, 2007). Fue necesario utilizar la literatura científica, pues la regulación del MINAM tiene umbrales que son muy altos para condiciones naturales de algunos parámetros (ejemplo: nitrato). La puntuación final para la cuenca es una media geométrica ponderada entre los valores obtenidos para cada estación de monitoreo, usando la longitud del canal (IGN, 2018) como ponderación.

Modificación del Canal

La pérdida de vegetación ribereña (es decir, el uso de la tierra a lo largo de las áreas ribereñas) se utilizó como proxy para la modificación de la margen de los canales. El uso del suelo para la zona ribereña se extrajo del mapa de uso de la tierra para el año de 2016 (PNCB, 2016, escala 1:100000) para un búfer de 30 metros a lo largo de toda la red de arroyos (IGN 2018, escala 1:100000). Se asignó un puntaje para cada clase de uso de la tierra, que va desde 0 - casi ninguna modificación a 1 - modificación completa (por ejemplo, canalización del río y para canales artificiales). Específicamente para el Alto Mayo, fueron utilizados los siguientes puntajes: 0 para casi ninguna modificación visible; 0.25 para algunas modificaciones, incluidas las granjas / áreas urbanas que alcanzan la orilla del río; y 0.5 para algunas modificaciones son visibles, casi la mitad del canal en la subcuenca se ve afectado. El puntaje de la cuenca es una media geométrica ponderada, utilizando la longitud de los cauces (IGN, 2018) como ponderación.

Conectividad del flujo

El índice de conectividad dendrítica (ICD) (Cote et al., 2009) se utilizó para evaluar la fragmentación del canal del río causada por las represas. El ICD se basa en las obstrucciones presentes en los ríos y arroyos para determinar cuánto la red de drenaje está fragmentada. En otras palabras, el ICD mide el limitado del paso de peces y en una cuenca. Matemáticamente, el ICD es la razón entre la longitud de los fragmentos de los canales (es decir, la red no obstruida entre dos obstrucciones) y la longitud total de la red de drenaje. Los cálculos también consideran obstrucciones naturales como cascadas. En la subcuenca Alto Mayo, no existe ningún tipo de obstrucciones, como barreras de represas, que podrían impedir el tránsito libre de peces a lo largo de la red de drenaje. También no se identificarán obstrucciones naturales significativas en el río Mayo a través de imágenes recientes de satélite (*Google Earth*, acceso en octubre 10, 2018).

Naturalidad de la Cobertura Terrestre

La Naturalidad de la Cobertura Terrestre mide cuánto ha cambiado la tierra desde un estado natural inalterado y fue evaluado usando el mapa de uso del suelo del Programa Nacional de Conservación de Bosques para el año de 2016 (PNCB, 2016). Los tipos de cobertura del suelo en el mapa de uso y cambios del uso de la tierra del Programa Nacional de Conservación de Bosques (PNCB, 2017) recibieron puntajes que van de 0 a 100 según los siguientes criterios: 100 para las coberturas vegetales naturales y seminaturales; 60 para el sistema cultural asistido (mosaico de humedales y agricultura); 50-30 para sistema transformado (pastos y agricultura); y 10 para zonas completamente artificiales, por ejemplo, áreas urbanas. La naturalidad se calculó en una base por píxel (resolución de 30 m) y luego el valor medio es la puntuación de la cuenca. La estadística zonal se usó para calcular los puntajes de las subcuencas en el ámbito del Alto Mayo.

Especies de Interés

El subindicador de Especies de Interés mide el grado que las especies relacionadas a ambientes acuáticos o ribereños están amenazadas en la cuenca. Como no existen datos de monitoreo continuo de especie para la cuenca Alto Mayo, este subindicador representa la proporción de especies con algún tipo de amenaza en relación con la diversidad total de especies ya observadas en la cuenca. Esta razón es ponderada de acuerdo con la clasificación de la International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2018) dada a cada especie, es decir, peligro crítico (CR), en peligro (EN) o vulnerable (VU). Para la cuenca Alto Mayo, los datos de especies de interés fueron obtenidos de tres fuentes: (1) Lista Roja de la IUCN con información espacial para anfibios, reptiles, crustáceos, moluscos, insectos, y plantas (IUCN, 2018); (2) para aves fueron utilizados: el reporte sobre el Corredor de Conservación de Aves Marañón-Alto Mayo (ECOAN, 2008) y el reporte sobre Aves de las Nubes (Plenge et al. 2004); y (3) para peces fue utilizada la tesis de Alessandra Escurra sobre la “Diversidad ictiológica y estado de conservación del río Mayo (provincias de Rioja, Moyobamba y Lamas), cuenca del río Huallaga, San Martín (2006 – 2017)” (Escurra, 2017). Además, las especies “paraguas” no acuáticas también se incluyeron en el análisis dado que existe una relación entre el buen estado poblacional de esas especies y la calidad de los hábitats. Como la calidad del hábitat y positivamente correlacionada con el estado de los ecosistemas acuáticos, la inclusión de las especies de “paraguas” proporcionó una mayor robustez analítica para el cálculo de ese indicador. La clasificación de la IUCN para las especies de peces, aves y especies terrestre “paraguas” fue obtenida consultando el propio sitio de la Lista Roja.

Especies Invasoras

Las especies invasoras mide el predominio de especies invasoras en la cuenca. El puntaje es directamente proporcional al número total de especies invasivas o molestas presentes en el área de estudio, según la siguiente ecuación.

$$I_{IN,i} = \begin{cases} 1 - \frac{n_{IN,i}}{10}, & \text{for } 0 \leq n_{IN,i} \leq 8 \\ 0.1, & \text{for } n_{IN,i} \geq 9 \end{cases}$$

donde $n_{(IN,i)}$ es el número de especies invasoras e indeseadas en la cuenca, en el tiempo $t = i$. El número total de especies invasoras fue determinado a través de una revisión de literatura, siendo la fuente de datos el reporte Dirección Regional de la Producción - Región San Martín (DIREPRO-SM, 2018). El número total de especies invasoras fue determinado a través de una revisión de literatura, siendo la fuente de datos el reporte Dirección Regional de la Producción - Región San Martín (DIREPRO-SM, 2018). Las principales especies exóticas son: carpa común (*Cyprinus carpio*), tilapia del Nilo (*Oreochromis niloticus*) y tilapia azul (*Oreochromis aureus*).

SERVICIOS DEL ECOSISTEMA

Para los indicadores de Servicios del Ecosistema de Suministro y Regulación y Soporte, los puntajes se calcularon en función de factores espaciales, temporales y de magnitud de una variable particular. El enfoque analítico utilizado para el ISA se basa en el método utilizado en el Índice Canadiense de Calidad del Agua (Consejo Canadiense de Ministros de Medio Ambiente, 2001).

Cuando los datos estaban disponibles, intentamos calcular los tres factores (descritos a continuación) para cada subindicador en el componente de Servicios Ecosistémicos.

F1 mide el alcance espacial del sistema para proporcionar el servicio ecosistémico:

$$F_1 = \left(\frac{\text{Número de unidades espaciales que no cumplieron con la demanda al menos una vez}}{\text{Número total de unidades espaciales}} \right) * 100 \quad (\text{ec. 1})$$

Nota: la unidad espacial se define como las unidades de ubicación (por ejemplo, municipio y subcuenca) para las cuales hay datos disponibles.

F2 mide una dimensión temporal para evaluar con qué frecuencia el sistema no puede proporcionar el servicio ecosistémico:

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de instancias donde no se cumplió con la demanda}}{\text{Número total de instancias}} \right) * 100 \quad (\text{ec. 2})$$

Nota: la instancia se define como la cantidad total de unidades espaciales por el número total de períodos de tiempo para las cuales hay datos disponibles.

F3 mide la magnitud de la desviación cuando el servicio no se cumple (ecuaciones 3-6).

$$F_3 = \left(\frac{nse}{nse+1} \right) * 100 \quad (\text{ec. 3})$$

$$nse = \frac{\sum_{i=0}^n Ex_i}{\text{Número total de instancias}} \quad (\text{ec. 4})$$

Cuando el objetivo no está alejado de esta meta, la excursión (Ex) en la ecuación 4 puede definirse como:

$$Ex_i = \left(\frac{\text{objetivo}_i}{\text{valor de la instancia}_i} \right) - 1 \quad (\text{ec.5})$$

De forma alternativa, cuando el objetivo no supera la meta, la excursión puede definirse como:

$$Ex_i = \left(\frac{\text{valor de la instancia}_i}{\text{objetivo}_i} \right) - 1 \quad (\text{ec.6})$$

Usase la media geométrica para sumar los puntajes para obtener el puntaje del Indicador de Servicio del Ecosistema (ESI) de acuerdo con las siguientes reglas:

Regla # 1: si solo es capaz de determinar F1 (evidencia baja):

$$ESI_1 = 100 - F_1 \quad (\text{ec. 7})$$

Regla # 2: De lo contrario, si es capaz de determinar tanto F1 como F2 (evidencia media):

$$ESI_2 = 100 - \sqrt{F_1 * F_2} \quad (\text{ec. 8})$$

Regla # 3: De lo contrario, si es posible determinar los tres factores (evidencia alta):

$$ESI_3 = 100 - \sqrt{F_1 * F_3} \quad (\text{ec. 9})$$

Confiabilidad del Suministro de Agua en Relación con la Demanda

La confiabilidad del suministro de agua compara la demanda y el suministro de agua dulce de los diversos sectores y actores en la cuenca Alto Mayo. El valor de este indicador se basó en los resultados del proyecto “Evaluación y Contabilidad de los

Valores de los Ecosistemas” (EVA por sus siglas en inglés) para la región de San Martín en Perú (incluye la cuenca Alto Mayo), realizado por Conservación Internacional (CI, 2016). Los resultados específicos del proyecto EVA utilizado para la estimación de este subindicador incluyó: asignación anual de agua (proxy para la demanda de agua) para diferentes sectores y volumen acumulado anual de escorrentía superficial, ambos para la subcuenca Alto Mayo. Estos resultados son para existen durante tres años (2009, 2011 y 2013) y estos tres años fueran considerados para ese indicador. Al comparar estos dos conjuntos de datos, fue posible determinar si la demanda de agua para diferentes sectores en diferentes años se ha cumplido. Se asumió un objetivo de atender el 100% de la demanda como objetivo.

Regulación de Sedimentos

Actualmente, las estimaciones de los sedimentos atrapados por la erosión y la deposición en el canal no están disponibles. Sin embargo, el riesgo de erosión causado por el cambio en la cobertura del suelo se ha modelado para la región San Martín en el estudio de Contabilidad de los Ecosistemas (CI, 2016) y se han utilizado para calcular el indicador para la cuenca Alto Mayo. En concreto, se utilizaron las tasas de erosión estimadas para los años 2011 y 2013 (ver en la **Figura 6**), donde para cada uno de esos años, se derivó la tasa de erosión media en áreas deforestadas dentro de cada una de las 8 subcuencas. Dado que el modelo de erosión no estaba calibrado y validado, no fue posible utilizar valores tolerables de erosión descritos en la literatura científica como umbral. Los umbrales de erosión se debieron derivar del propio modelado. En este caso, se determinó como tasa de erosión umbral la tasa media de erosión observada en áreas cubiertas por vegetación natural dentro de la subcuenca Alto Mayo para cada uno de los dos años en análisis.

Regulación de la Calidad del Agua

Para la cuenca Alto Mayo, se utilizaron datos para 22 parámetros de calidad del agua (pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, demanda biológica de oxígeno, sólidos disueltos totales, fósforo total, nitrógeno total, nitrato, bario, selenio, antimonio, arsénico, cadmio disuelto, cobre, mercurio, cromo, níquel, plomo, talio, zinc, petróleo y grasas, y coliformes termotolerantes) para el periodo de 2 años (2015 y 2017) para 12 estaciones dentro de la subcuenca Alto Mayo para las que tenían datos para los dos años (RNara1, RNara2, RNara3, RYuara1, RYuara2, RTioy1, RMayo1, RMayo2, RTonch1, RTonch2, RMayo3 y RMayo4) (ANA 2016, 2018). Los umbrales de comparación para todas las subcuencas son aquellos establecidos para la Categoría 1, Subcategoría A2 utilizados por el Ministerio del Medio Ambiente (MINAM, 2017).

Regulación de Inundaciones

Para el caso de la cuenca Alto Mayo, los datos de número de personas afectadas por inundaciones de 15 distritos de las provincias de Rioja y Moyobamba (Calzada, Habana, Jepelacio, Moyobamba, Soritor, Yantaló, Awajún, Nueva Cajamarca, Pardo Miguel, Posic, Rioja, San Fernando, Yorongos, Yuracyacu) para el periodo de 2015 hasta 2017 fueron utilizados para estimar la regulación de inundación. Estos datos fueran obtenidos del reporte de la Defensa Civil sobre la evaluación de daños y ocurrencia de fenómenos naturales u antrópicos en la región de San Martín (SINPAD, 2018).

Regulación de Enfermedades

En el área de estudio se obtuvieron datos (CDC, 2018) sobre la ocurrencia de cuatro enfermedades relacionadas con el agua (dengue, zika, chikungunya y malaria) en 15 distritos de las provincias de Rioja y Moyobamba (Calzada, Habana, Jepelacio, Moyobamba, Soritor, Yantaló, Awajún, Nueva Cajamarca, Pardo Miguel, Posic, Rioja, San Fernando, Yorongos, Yuracyacu) durante los últimos tres años (2015-2017). Los umbrales fueran establecidos por revisión de regulaciones y literatura relacionada con lo que se consideraría una tasa “normal” de una enfermedad particular en una determinada población. Para cada una de las cuatro enfermedades una tasa de brote anual fue encontrada. En el caso de dengue, zika y chikungunya, la tasa de brote considerada fue de 3 ocurrencias para cada 1000 personas y la tasa de brote para malaria fue de 1 ocurrencia para cada 100 personas. El análisis también incluyó datos de coliformes fecales (ver **Figura 7**) como aproximación de la ocurrencia de diarrea que puede ser relacionada con el agua. Para cada una de las enfermedades se calculó una puntuación distinta. La puntuación final y la media geométrica de las puntuaciones obtenidas para cada una de las enfermedades.

Conservación y Patrimonio Natural

Este subindicador fue evaluado determinando el porcentaje de la longitud de la red de drenaje dentro de áreas protegidas. La longitud del río dentro del sistema de áreas protegidas y la longitud de los arroyos que formaron los límites de las áreas protegidas se determinaron a partir del conjunto de datos de la red del río. En el área de estudio estos se compararon con la longitud total del río dentro del Alto Mayo, la longitud de los ríos dentro de las áreas protegidas y considerando un buffer de 100 metros. Adicionalmente, con el objetivo global de humedales y vías fluviales mínimas en áreas protegidas se estableció el valor de 17% en virtud del Convenio sobre la diversidad biológica de Aichi para la diversidad biológica. Se utilizaron áreas de conservación según

las siguientes fuentes (SERNANP, 2018; IBC, 2016) y datos de redes de flujo según el IGN (2018) para calcular el subindicador.

GOBERNANZA & PARTES INTERESADAS

Los indicadores de Gobernanza & Partes interesadas fueron determinados por el método de investigación, que consiste en la aplicación de un cuestionario de percepción con 51 preguntas, utilizando una escala de 5 puntos. Los cuestionarios de percepción fueron aplicados en el primer taller con las partes interesadas en mayo de 2018. En total, 30 actores participaron, representando sectores del gobierno regional y local, de la sociedad civil, academias, industrias e iniciativas privadas, con conocimientos sobre las cuestiones de gobernanza en la Cuenca Alto Mayo. Las puntuaciones de cada pregunta fueron entonces agregadas en valores medios dentro de módulos, donde cada módulo estaba relacionado con cada subindicador e incluía de 3 a 6 preguntas. Los valores medios se normalizaron a una escala de 0 a 100.

PONDERACIÓN

Las ponderaciones principales y subindicadores para los componentes de Servicios de Ecosistemas y Gobernanza & Partes Interesadas se obtuvieron de las partes interesadas a través de una encuesta usando un Proceso Analítico de Jerarquía de dos niveles. Se les pidió a los 30 participantes del primer taller que hicieran una serie de comparaciones por pares (por ejemplo, ¿considera que la “Provisión de agua” o “Biomasa para Consumo” son más importantes?) y luego califican la fuerza de sus preferencias. Estas ponderaciones se aplicaron al combinar subindicadores en puntuaciones de indicadores principales, y al combinar indicadores principales en calificaciones de componentes.

APÉNDICE PARTE II: MÉTODOS PARA EL MODELO DE CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA

1. MODELO DE CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA

Datos de entrada y suposiciones

El cambio en el uso de la tierra se modeló utilizando el Modelador de Cambio de la Tierra IDRISI (Clark Labs). Se utilizaron dos conjuntos de datos de cobertura terrestre para calibrar el modelo (2000 y 2016). Los datos de la cobertura del suelo de 2000 se derivan de los datos de la Deforestación de GEI, mientras que los datos de 2016 son de PNCB. Por lo tanto, estos dos conjuntos de datos debían armonizarse en términos de su sistema de clasificación para diferentes tipos de cobertura de la tierra, lo que significa que se perdió algún detalle para 2000 (las tierras clasificadas como un bosque secundario y la agricultura fueron reclasificadas a la agricultura) y de 2016 (los bosques inundados fueron reclasificados a simplemente bosque). Estos dos conjuntos de datos luego determinaron la “demanda” para diferentes usos del suelo entre 2000 y 2016. Para evaluar los factores geográficos que influyeron en el cambio del uso del suelo durante el período, utilizamos datos de la red de carreteras (IGN, 2018), Pendiente y Elevación (IGN, 2018), y proximidad a las áreas de asentamiento.

Configuración del modelo

Modelar estos tipos de cambios en el futuro es, por lo tanto, sencillo. En el escenario Business as Usual (BAU), la demanda de tierras agrícolas (y nueva área de asentamiento urbano) se extrapolaron a partir de la tendencia observada de 16 años. Las probabilidades de transición, es decir, la probabilidad de que cualquier parcela de tierra dada experimente un cambio de un tipo de uso de la tierra a otra, se calcularon para todas las transiciones pertinentes, en función de la experiencia histórica y la influencia que tienen las variables espaciales de la proximidad a las carreteras, pendiente de la tierra, y otros factores jugados en las transiciones observadas. El modelo luego asigna la tierra de acuerdo con el presupuesto de demanda para 2035, seleccionando entre los sitios de mayor probabilidad para cada transición.

Para crear el escenario de “Conservación”, se creó una entrada de datos espaciales adicionales. Las áreas protegidas administradas por el Gobierno Regional de San Martín y el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) y la capa temática de las Comunidades Indígenas (IBC, 2016) se incorporaron como restricciones para guiar la asignación de tierras del modelo (**Figura 13**). Estas áreas colectivamente son los que podemos denominar Bosques Protegidos del Alto Mayo, pero en realidad son manejados por tres niveles diferentes de gobierno (comunidad indígena, nivel regional y nivel nacional). Para el propósito del escenario modelado, a cada área protegida se le asignó el mismo nivel de protección, lo que significa que el modelo priorizaría los cambios fuera de las áreas protegidas primero, pero luego seleccionaría parcelas de tierra dentro de estas áreas según su idoneidad para la conversión a la agricultura.

Además, para el escenario de Conservación, la demanda de tierras agrícolas se redujo con el objetivo de representar un esfuerzo más activo para preservar la cobertura forestal existente, ya sea eliminando la agricultura o introduciendo más

agroforestería como el café cultivado a la sombra. Por lo tanto, no está diseñado para predecir cuánto bosque podrías protegerse, sino más bien, para identificar qué áreas de las tierras actualmente forestadas podrían estar bajo la mayor amenaza de conversión (al ser seleccionadas como “agricultura” en ambos escenarios).



Figura 13. Las unidades de conservación (verde claro) utilizadas en el modelo de cambio de tierra.

Método y Datos de entrada

Para efecto de este trabajo se aplicó el modelo de circulación global (GCM) CSIRO-MK3.0 (Gordon et al. 2002), que corresponde a un modelo acoplado oceánico-atmosférico que contiene una representación completa de los cuatro componentes principales del sistema climático (atmósfera, superficie terrestre, océanos y hielo marino). En la forma utilizada es tan completa como cualquiera de los modelos acoplados globales disponibles en todo el mundo. Se optó por este modelo ya que es utilizado en varios reportes, como el realizado por el Ministerio del Ambiente (MINAM) en el estudio “El Perú y el Cambio Climático” (MINAM, 2016). Posteriormente, la escala del GCM fue reducida utilizando un método estadístico, denominado, “*Statistical Downscaling Model (SDSM)*” (Wilby y Dawson, 2007) para obtención de las proyecciones futuras para la cuenca Alto Mayo. El proceso de reducción de escala do modelo global (GCM) necesita de una calibración del modelo SDSM. Para ese proceso fueron utilizados datos históricos de reanálisis (ERAINTERIM) una resolución de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Una vez hecho lo anterior, se calculó la proyección en porcentaje de cambio a partir de los datos históricos diarios de precipitación y temperatura obtenidos de dos fuentes: estaciones climatológicas locales (ALA, ANA, PEAM y SENAMHI), Global Land Data Assimilation System (GLDAS) una resolución horizontal de $0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$. Los datos de GLDAS fueron necesarios porque las series temporales de las estaciones climatológicas muchas veces contenían con datos faltantes. Los datos históricos fueron representaron el periodo de 1981-2010 para proyectar escenarios para el periodo de 2011-2040.

APÉNDICE PARTE III: MÉTODO PARA MODELO HIDROLÓGICO & MÉTODOS PARA PROYECCIONES DE ESCENARIOS FUTUROS HIDROLÓGICOS

Método, datos de entrada y calibración del modelo hidrológico

La herramienta AQUATOOL (Andreu et al., 1996) fue utilizada para la construcción del modelo hidrológico para las dos áreas. El AQUATOOL es un Sistema de Apoyo a la Toma de Decisión (SSD) para planificación y gestión de cuencas hidrográficas. Dentro del AQUATOOL, se utilizó el EVALHID que es un módulo con diferentes tipos de modelos de precipitación-escorrentía semi-distribuido. Específicamente, se utilizó el modelo Témez (Témez, 1997) lo cual necesita de datos de precipitación, temperatura,

evapotranspiración potencial y caudal para ser calibrado. Informaciones cartográficas (mapa de tipo de suelo, topográficos, e hidrográficos) también fueran necesarias para el desenvolvimiento del modelo y obtenidos de fuentes oficiales (MINAM, 2007; IGN, 2018).

Se utilizaron datos mensuales de precipitación y temperatura de 16 estaciones climatológicas (ALA, ANA, PEAM y SENAMHI) que cubren la totalidad del área de estudio para un periodo de 20 años (1998 a 2017). Como las series temporales presentaran datos faltantes, se usaron información satelital proveniente de la base de datos GIOVANNI (NASA, 2018) como complemento. En esto caso, se analizó la correlación entre las series de GIOVANNI y las series observadas de las estaciones climatológicas y posterior ajuste por medio de la multiplicación de un factor de corrección tomando el criterio de minimizar el Error Cuadrático Medio (ECM) entre ambas series para que los datos se asemejara en magnitud. Como dato de entrada propiamente dichos, el modelo utiliza valores mensuales de precipitación, los cuales fueran obtenidos utilizando el método de polígonos de Thiessen (Thiessen, 1911). Los datos de temperatura fueran utilizados para estimar la evapotranspiración potencial por el método de Thornwhite (Thornwhite, 1948).

Los datos de caudal necesarios fueran obtenidos de ocho estaciones de medición de caudal con datos para un periodo de 11 años (2001-2011). La ubicación de estas estaciones de medición de caudal determinó las subcuencas de análisis; un total de ocho subcuencas fueran elegidas: Alto Mayo Medio, Naranjos, Naranjillo, Yuracyacu, Uquihua, Tónchima, Indoche y Alto Mayo Bajo (Figura 11). El periodo de calibración del modelo fue de 2001 a 2011.

Visión general del proceso de validación del modelo hidrológico

El modelo hidrológico fue calibrado para las 11 subcuencas dentro del área del estudio, pero los resultados presentados centran en la estación que se encuentra aguas abajo a la salida de la cuenca, Alto Mayo-bajo. El proceso de calibración fue realizado para el periodo de enero 2001 a diciembre de 2011 y simulaciones mensuales y anuales acumulados fueran consideradas. De una forma general, el modelo hidrológico simula más agua que la cantidad observada por mediciones en campo. Sin embargo, se obtuvo indicador satisfactorio de calibración ($r = 0.76$).

Es importante mencionar, todavía, que un análisis cuidadoso de la serie de tiempo de descarga y precipitación indicó que la descarga anual en la salida de las subcuencas fue menor que la precipitación anual observada. Por lo tanto, el modelo hidrológico incluyó entradas de agua subterránea para igualar el volumen de precipitación y descarga. Este aporte se calculó a partir del valor medio de la diferencia entre los caudales observados y los caudales simulados. De esta forma se pudo ajustar el modelo a la realidad física basado en las magnitudes de los caudales registrados por las estaciones hidrométricas. Sin embargo, este procedimiento probablemente resultó en errores particularmente para aquellas áreas en la cuenca dominadas por el bosque de montaña lluviosa. Las descargas anuales mayores que el volumen total de precipitación se observan comúnmente en las corrientes que drenan los bosques de montaña lluviosa (Bruijnzeel et al. 2010). Además, las diferencias entre los volúmenes anuales de precipitación y caudales en algunas subcuencas pueden estar asociados al hecho de que existen resurgencias de agua subterránea en la región. La cuenca Alto Mayo presenta una de las fuentes de agua subterránea más importantes de las formaciones kársticas en América del Sur debido a que los caudales de esas resurgencias pueden alcanzar hasta 24 m³/s (Grandjouan et al. 2017, Bigot et al. 2014). Este factor no fue utilizado en el modelo hidrológico.

Configuración del modelo hidrológico para proyecciones de escenarios futuros

Las implicaciones del cambio climático y el cambio de uso de suelo en la disponibilidad futura de agua en la cuenca Alto Mayo fueran analizadas conjuntamente. O sea, fueran analizados implicaciones de dos escenarios: RCP 4.5 + BAU y RCP 8.5 + BAU. Los resultados son presentados de dos maneras: (i) como las proyecciones de los caudales anuales y mensuales para el periodo de estudio y porcentaje de cambio de los caudales por subcuencas respecto al escenario base (histórico). De forma práctica, las simulaciones fueran hechas modificando el modelo hidrológico calibrado, o sea, se aportaran las series temporales de precipitación y temperatura proyectadas para el futuro (datos de salida el modelo de escenarios de cambio climático) para cada RCP (4.5 y 8.5) y se modificó el parámetro de Hmax que se tenía en el modelo hidrológico calibrado y se sustituyó por el valor del mismo parámetro correspondiente a las coberturas vegetales proyectadas para el escenario BAU).

2. MODELO DE ESCENARIOS DE CAMBIOS CLIMÁTICOS

BIBLIOGRAFIA

Allan, J. D.; Castillo, M. M. (eds.). 2007. Stream Ecology. Structure and Function of Running Water. – 2nd Edition; Springer; Dordrecht, Netherlands; 435 pages.

Andreu, J., Capilla, J., & Sanchis, E. (1996). AQUATOOL, a generalized decision support system for water resources planning and operational management. Valencia: Journal of Hydrology.

Asociación Ecosistemas Andinos (ECOAN). 2008. Corredor de Conservación de Aves Marañón – Alto Mayo. Octubre.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2016. Informe de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca Mayo.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2017a. Resolución Jefatural N° 095-201-ANA. Publicado en el diario El Peruano, 27 de abril de 2017.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2017b. Estudio de Delimitación de los Ámbitos Territoriales de las Administraciones Locales de Agua de la Autoridad Administrativa del Agua – Huallaga.

Autoridad Nacional del Agua (ANA). 2018. Informe de Monitoreo Participativo de la Calidad de Agua Superficial de la Cuenca del río Huallaga.

Bigot, J.Y., Guyot, J.L., Fabre, O. 2014. Pérou, Alto Mayo 2013. Spelunca, v. 133, p.9-11.

Bruijnzeel, L.A., Kappelle, M., Mulligan, M., Scatena, F. N. 2010. Tropical montane cloud forests: state of knowledge and sustainability perspectives in a changing world. In Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management, eds. L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena, and L. S. Hamilton. pp.691-740. New York: Cambridge University Press.

Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). 2001. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User's Manual. In: Canadian environmental quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg.

Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades (CDC). 2018. Sala situacional. En: <http://www.dge.gob.pe/salasituacional/>

Conservación Internacional Perú (CI). 2016. Cuentas Experimentales de los Ecosistemas en San Martín – Perú. Marzo.

Cote, D.; Kehler, D.G.; Bourne, C.; Wiersma, Y.F. 2009. A new measure of longitudinal connectivity for stream networks. Landscape Ecology 24(1):101-113.

Escurra, A. Diversidad ictiológica y estado de conservación del río Mayo (provincias de Rioja, Moyobamba y Lamas), cuenca del río Huallaga, San Martín (2006 – 2017). Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.

Dirección Regional de la Producción – San Martín (DIREPRO-SM). 2018. Autorización para Desarrollar la Actividad de Acuicultura de Recursos Limitados.

Dirección Regional de la Producción – San Martín (DIREPRO-SM). 2018. Autorización para Desarrollar la Actividad de Acuicultura de Recursos Limitados.

Gehrke, P.; Brown, P.; Schiller, C.B.; Moffatt, D.B.; Bruce, A. 1995. River regulation and fish communities in the Murray–Darling river system, Australia. Regulated Rivers: Research and Management 15:181–198.

Gippel, C.J., Zhang, Y., Qu, X., Kong, W., Bond, N.R., Jiang, X.; Liu, W. 2011. River health assessment in China: comparison and

development of indicators of hydrological health. ACEDP Australia-China Environment Development Partnership, River Health and Environmental Flow in China. The Chinese Research Academy of Environmental Sciences, the Pearl River Water Resources Commission and the International Water Centre, Brisbane, September.

Gordon, H.B., Rotstayn, L.D., McGregor, J.L., Dix, M.R., Kowalczyk, E.A., O'Farrell, S.P., Waterman, L.J., Hirst, A.C., Wilson, S.G., Collier, M.A., Watterson, I.G. and Elliott, T.I. (2002). The CSIRO Mk3 Climate System Model, CSIRO Atmospheric Research technical paper, 60, 130pp.

Grandjouan, O., Hidalgo, L., Apaéstegui, J., Baby, P., Cochonneau, G., Condori, E., Espinoza, J.C., Fraizy, P., Huaman, D., Jourde, H., Mazzilli, N., Morera, S., Peña, F., Renou, F., Robert, X., Santini, W., Sifeddine, A., Guyot, J.L. 2017. Las resurgencias del Alto Mayo (San Martín, Perú): estudio hidrológico sobre un karst tropical andino-amazónico. Sociedad Geológica del Perú, Volumen Jubilar N° 8, p. 83-96.

Instituto del Bien Común (IBC). Sistema de Información sobre Comunidades Nativas de la Amazonia Peruana (SICNA). 2016.

Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2018. Infraestructura de Datos Geoespaciales. Geovisor de Datos Fundamentales. En: <https://www.idep.gob.pe/geovisor/DatosFundamentales/>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). 2018. Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD. En: <http://sinpad.indeci.gob.pe/sinpad-js/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). 2018. Sistemas de Consultas de Información de los Censos Nacionales 2017.

International Union for Conservation of Nature (IUCN). 2018. Red List of Threatened Species. En: <https://www.iucnredlist.org/>

Lai, C., Wang, Z., Chen, X., Xu, C.Y., Yang, B., Meng, Q. and Huang, B., 2016. A procedure for assessing the impacts of land-cover change on soil erosion at basin scale. *Hydrology Research*, 47(5), pp.903-918.

MINAM. (2016). El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Retrieved from <http://unfccc.int/resource/docs/natc/pernc3.pdf>

Ministerio del Ambiente (MINAM). 2017. Decreto Supremo N° 004-2017. Publicado en el diario El Peruano, 07 de junio de 2017.

NASA. (2018, Mayo). Earth Data. Retrieved from Giovanni: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

Plenge, H.; Williams, R.; Valqui, T. 2004. Aves de las Nubes. GTZ. Setiembre.

Proyecto Especial Alto Mayo (PEAM). 2009. Evaluación Local Integrada e Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del río Mayo.

Programa Nacional de Conservación de Bosques (PNCB). 2017. Mapa de Uso y Cambios de Uso de la Tierra. Plataforma de Monitoreo de Cambios sobre la Cobertura de los Bosques - GeoBosques.

Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNANP). 2018. Geoservidor. En: <http://geo.sernanp.gob.pe/geoserver/principal.php>

Témez, J. (1977). Modelo matemático de transformación precipitación - aportación. ASINEL.

Thiessen, A. H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Monthly Weather Review*, 1082-184.

Thornwhite, C. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev* 38.

Wilby, R. L., Dawson, C. W., & Barrow, E. M. (2002). SDSM — a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental and Modelling Software*, 17, 147–159.

NOTA FINAL

El equipo de Conservación Internacional (CI) fue responsable de recopilar y organizar los datos necesarios para los análisis de todas las sesiones en este informe, calcular los indicadores de Índice de Salud de Agua, realizar el análisis de los escenarios de cambio de uso de la tierra y los impactos de futuras situaciones en los indicadores, así como crear el presente informe. El equipo del Instituto Tecnológico de Monterrey fue responsable de desarrollar los escenarios de cambio climático, el modelo hidrológico, el análisis relacionado con los impactos de los escenarios futuros sobre hidrología, y buscar datos adicionales cuando los disponibles de fuentes públicas compartidos por CI no eran suficientes para llevar a cabo los análisis.



ÍNDICE DE SALUD DEL AGUA

