



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente



 **Siempre**  
con el pueblo



Procedimiento  
metodológico para la  
**IDENTIFICACIÓN,  
CATEGORIZACIÓN  
y PRIORIZACIÓN**  
de áreas degradadas  
en ecosistemas  
terrestres





**Procedimiento metodológico para la identificación,  
categorización y priorización de áreas degradadas en  
ecosistemas terrestres**

Autor:  
Ministerio del Ambiente  
Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos  
Naturales  
Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la  
Gestión Integrada de los Recursos Naturales.  
Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos  
Naturales del Territorio

Editado por:  
© Ministerio del Ambiente (MINAM)  
Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos  
Naturales  
Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la  
Gestión Integrada de los Recursos Naturales.  
Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos  
Naturales del Territorio  
Av. Antonio Miroquesada 425, Magdalena del Mar,  
Lima - Perú

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú n.º 2022 - 01690

Primera edición, febrero de 2022

Diseño y diagramación:  
Alicia Infante Takey

Esta publicación fue posible gracias al generoso apoyo del pueblo de los Estados Unidos de América a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá, como parte del Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, liderado por Forest Trends junto a sus socios Condesan, Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), EcoDecisión y el Imperial College London. Los contenidos son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de USAID, ni del Gobierno de los Estados Unidos de América ni del Gobierno de Canadá.

Procedimiento  
metodológico para la  
**IDENTIFICACIÓN,  
CATEGORIZACIÓN  
y PRIORIZACIÓN**  
de áreas degradadas  
en ecosistemas  
terrestres





# AGRADECIMIENTOS



Foto: Adriana Palma.



A los Gobiernos Regionales de Piura,  
Lima, Junín y Cusco.

Al equipo técnico de la DGOTGIRN – MINAM:  
Johanna Garay Rodríguez, Tatiana Pequeño Saco,  
William Llactayo León, Raúl Tinoco Rodríguez,  
Luis Quispe Canchanya, Germán Marchand Laynes,  
Angélica Sauñe Ferrel y Walter Fajardo.

A CONDESAN, a través del Proyecto  
de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica:  
Francisco Román Dañobeytia, Natalia Aste Cannock,  
Alex Zambrano Ramírez, Cecilia Sandoval Muñoz,  
Víctor Alarcón Jibaja y Zarela Estabridis Davila.

Finalmente, al equipo de profesionales  
que contribuyeron en todas las etapas de elaboración  
y validación del presente documento:  
Raul Tupayachi Trujillo, Estela Paola Martinez Gonzales,  
Felipe Sinca Cansino, Joaquín Abel Grández Casado  
Geishon Tupayachi Trujillo.

# CONTENIDO

○ ○ ○	ANTECEDENTES	10
	<b>PRINCIPIO</b>	
	INTRODUCCIÓN	12
	MEJORA METODOLÓGICA	14
	OBJETIVOS	15
	ALCANCE	15
○	MARCO LEGAL	16

○ ○ ○	PROCESO PARA LA IDENTIFICACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS	18
	<b>DESARROLLO</b>	
	<b>FASE I: IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS</b>	<b>21</b>
	PASO 1. IDENTIFICACIÓN	21
	1.1 Verificación, colecciones y selección de las imágenes satelitales	23
	1.2 Enmascaramiento de las nubes, agua y píxeles saturados	23
	1.3 Cálculos para hallar el NDVI, aplicando el coeficiente de calibración	24
	1.4 Cálculo de los valores estadísticos	24
	1.5 Detección de la degradación en Google Earth Engine	26
	PASO 2. VALIDACIÓN DE LA EXACTITUD TEMÁTICA	27
	2.1 Precampo	27
	2.2 Etapa de Campo	29
	2.3 Etapa de postcampo	34
	<b>FASE II: CATEGORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS</b>	<b>38</b>
	PASO 3. APLICACIÓN DEL CRITERIO ECOSISTÉMICO	39
	PASO 4. APLICACIÓN DEL CRITERIO DE ORIGEN	39
	PASO 5. APLICACIÓN DEL CRITERIO DE INTENSIDAD	42
	PASO 6. CATEGORIZACIÓN FINAL	45
	<b>FASE III: PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS</b>	<b>48</b>
	PASO 7. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE VARIABLES E INDICADORES	49
	PASO 8. VALORACIÓN - MÉTODO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO	59
○	PASO 9. EVALUACIÓN DE LA PRIORIDAD DE INTERVENIR SEGÚN ACTORES O GRUPO DE DISCUSIÓN	69





CONCLUSIONES

72

RESOLUCIÓN

REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

74



ANEXOS

80

AUXILIAR

ANEXO I. ESTUDIO DE CASOS  
APLICANDO LA GUÍA  
METODOLÓGICA DE  
IDENTIFICACIÓN,  
CATEGORIZACIÓN  
Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS  
DEGRADADAS 83

ANEXO II. EJERCICIO DE  
OBTENCIÓN DE VALOR PARA  
LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS  
DEGRADADAS 84

ANEXO III. SCRIPT DE  
PROCESAMIENTO EN R Y GEE 91

# SIGLAS Y ABREVIATURAS

DGCCD:	Dirección General de Cambio Climático y Desertificación.
DGEFA:	Dirección General de Economía y Financiamiento Ambiental.
DGOTGIRN:	Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la Gestión Integrada de los Recursos Naturales.
DMERNT:	Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio.
DDTS:	Desertificación y degradación de las tierras y la sequía.
GEE:	Plataforma web geomática Google Earth Engine, por sus siglas en inglés.
GORE:	Gobiernos Regionales.
GOLO:	Gobiernos Locales.
KML:	Lenguaje de marcado basado en XML para representar datos geográficos, por sus siglas en inglés.
LADA:	Evaluación de la Degradación del Suelo en Tierras Secas.
Landsat:	Satélite de observación de la tierra.
INSH:	Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.
MINAM:	Ministerio del Ambiente.
MEF:	Ministerio de Economía y Finanzas.
MODIS:	Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada, por sus siglas en inglés.
NDVI:	Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.
NDT:	Neutralidad de la Degradación de Tierras.
PAD:	Herramienta para la Priorización de Áreas Degradadas.
PP:	Programa Presupuestal.
Serfor:	Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.
Sernanp:	Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado.
SPDA:	Sociedad Peruana de Derecho Ambiental.
SSEE:	Servicios Ecosistémicos.
TIFF:	Formato de archivo informático para almacenar imagen.
Usaid:	Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
UNCCD:	Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación.
USGS:	Servicio Geológico de los Estados Unidos.
UTI:	Unidad Territorial de intervención.
ZEE:	Zonificación Ecológica y Económica.





Deforestación en bosque de llanura amazónica  
para actividad agrícola. Departamento de San Martín.  
Foto: MINAM.





# ANTECEDENTES

Foto: Adriana Palma



# ANTECEDENTES

En el Perú se han venido realizando distintos esfuerzos a nivel técnico y político en el reconocimiento de la importancia de los ecosistemas para alcanzar el bienestar del país. Esta importancia es señalada tanto en la Política Nacional de Inversión Pública en materia de Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos (RM n.º 199-2015-MINAM) y los Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión pública en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad (RM n.º 178-2019-MINAM); y su operativización ha sido formulada a través de programas presupuestales y de diferentes instrumentos de inversión.

En el 2016, el Ministerio del Ambiente (MINAM) formuló el Programa Presupuestal n.º 144 “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos”, que tiene como objetivo lograr la conservación y uso sostenible de los ecosistemas naturales y sus servicios ecosistémicos. Dicho programa fue producto del rediseño del PP n.º 035 “Gestión sostenible de los recursos naturales y diversidad biológica”. Con el fin de mejorar la caracterización de la “población objetivo” del PP n.º 144, el MINAM ha venido trabajando mejoras en la identificación y categorización de áreas degradadas.

En el 2018, el MINAM, mediante la Dirección de Monitoreo y Evaluación de los Recursos Naturales del Territorio (DMERNT) de la Dirección General de Ordenamiento Territorial y de la Gestión Integrada de los Recursos Naturales - DGOTGIRN, siguiendo las recomendaciones de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD)

para contribuir a la Neutralidad de la Degradación de Tierras (NDT), con un conjunto de variables analizadas en un periodo de 15 años (2001-2015) y el uso de las imágenes del satélite MODIS, identificó áreas degradadas a nivel nacional.

A través de un proceso técnico y de manera consensuada con las direcciones generales, órganos adscritos y programas del MINAM, en el marco del PP n.º 144, se generó el primer **Mapa Nacional de Áreas Degradadas del Perú**. Esta información contribuye con el segundo Objetivo Estratégico Institucional (OEI02) del MINAM, referido a fortalecer las acciones de recuperación de los ecosistemas y los servicios ecosistémicos degradados, constituyéndose en una herramienta de referencia oficial para promover la inversión en la recuperación de áreas degradadas. En este contexto se desarrolla el sistema de *identificación, categorización y priorización de áreas degradadas* operativo para las entidades públicas y privadas, como una Acción Estratégica Institucional (AEI.02.01), en actualización permanente a nivel nacional.

Entre el 2019 y el 2020, el Proyecto Infraestructura Natural para Seguridad Hídrica – INSH<sup>1</sup>, a través del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), dadas las sinergias de trabajo con el MINAM, ha brindado asistencia técnica y financiera para mejorar la propuesta metodológica que aquí se presenta y sus resultados los viene promoviendo en distintos procesos a nivel nacional.

La identificación y categorización de áreas es fundamental para priorizar decisiones y recursos sobre el territorio, y es un proceso continuo de mejora.

<sup>1</sup> Es una iniciativa promovida y financiada por la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) y el Gobierno de Canadá, cuya ejecución está a cargo del consorcio liderado por Forest Trends, y conformado por el Consorcio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN), la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA), EcoDecisión y el Imperial College London.



# INTRODUCCIÓN

Foto: Shutterstock.



# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo tiene como soporte, aspectos metodológicos de la Memoria Descriptiva del *Mapa Nacional de Áreas Degradadas en ecosistemas terrestres* (MINAM 2019), en el cual se abordan los procedimientos y variables a considerar para la identificación, categorización y priorización de áreas degradadas.

Este documento está estructurado en tres fases:

La primera fase, *Identificación*, da a conocer el procedimiento para la identificación de áreas degradadas y el proceso de validación de la exactitud temática, tanto con datos colectados en campo como con información secundaria. Aquí se busca autenticar estadísticamente los resultados de la identificación de las áreas degradadas.

En la segunda fase, *Categorización*, se abordan los procesos para agrupar la información con base a criterios ecosistémicos, de origen y de intensidad. Se describen nueve clases según el origen (factores directos e indirectos) de la degradación y el estado de conservación.

En la tercera fase, *Priorización*, se da a conocer el proceso para asignar un orden de importancia a las áreas degradadas para su atención, tomando como base los lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad<sup>2</sup>. Este análisis se ha realizado considerando la tipología de ecosistemas y su enfoque de servicios, donde se conjugan la recuperación de áreas degradadas y la recuperación de los servicios de regulación hídrica y el de control de erosión de suelos.

Las dos primeras fases son conducidas por el MINAM de manera articulada con los gobiernos regionales y otras entidades interesadas. La tercera fase es conducida principalmente por los decisores en el territorio, con acompañamiento del MINAM.

Esta metodología ha sido aplicada en tres cuencas, a manera de pilotos, con un proceso iterativo de recojo de información y validación con los gobiernos regionales involucrados en dichos ámbitos. Las tres cuencas fueron: Chira-Piura (Piura), Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro (Lima y Junín) y Urubamba - Vilcanota (Cusco) para implementar el desarrollo de la mejora metodológica.

A través de este documento se espera contribuir con procedimientos para mejorar la información generada desde el nivel nacional al nivel local, que permitirá, principalmente a gobiernos regionales y locales, revisar la viabilidad de las opciones de intervención (*ranking* de factibilidad) en las unidades territoriales de intervención (UTI<sup>3</sup>) para la implementación de proyectos de inversión pública (en la tipología de ecosistemas) o privada. Así mismo, permite la articulación de acciones alineadas al programa presupuestal “Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos” PP 0144.

Como resultado, con la aplicación de este procedimiento metodológico se fortalece la estimación de la brecha dentro del sector Ambiente, “porcentaje de superficie de ecosistemas degradados que brindan servicios ecosistémicos que requieren de recuperación”, a partir del cual se desarrollan la cartera de inversión correspondiente.

<sup>2</sup> Resolución Ministerial n.º 178-2019-MINAM.

<sup>3</sup> Pudiendo ser una cuenca, un distrito, un departamento, una región, ACR, ACA u otra delimitación según sea el caso de interés.

# MEJORA METODOLÓGICA

A continuación, se resaltan las principales mejoras metodológicas que comprende este documento. Más adelante, seguirán los detalles de la aplicación de la metodología paso a paso:

## ¿Qué se tenía y qué se ha mejorado?

El enfoque NDT propone tres (3) indicadores para la identificación de las áreas degradadas: 1) Cobertura vegetal, 2) Dinámica de la productividad de la tierra y 3) Carbono orgánico en suelo. Esto no excluye a otros indicadores de ser tomados en cuenta de considerarse pertinentes. Para el caso del Perú, mediante sensores remotos, son factibles de medir la cobertura vegetal y la dinámica de la productividad de la tierra. Se consideró como indicador adicional la fragmentación del bosque amazónico.

La categorización tiene base en el uso de las clases determinadas por las variables y ámbitos geográficos. Asimismo, consideraba de manera general las posibles causas en las áreas identificadas, en las que se establecen tres categorías: alto, medio y bajo.

Los tomadores de decisión usualmente conjugan variada información técnica accesible, empleando métodos distintos para los cuales reciben apoyo de entidades públicas, privadas, de cooperación internacional, etc. Desde el MINAM se ha desarrollado información técnica como el Mapa Nacional de Áreas Degradadas, el Mapa Nacional de Ecosistemas y otros documentos orientadores en la caracterización de las áreas degradadas. Sin embargo, los tomadores de decisión enfrentan diversos retos para la recuperación y/o conservación de las áreas degradadas, motivo por el cual esta publicación provee la taxonomía u organización conceptual respectiva.

Este es el resumen de las principales mejoras:

- ✓ Se ha hecho énfasis en el análisis de las tendencias en la Productividad Primaria Neta, ampliando la temporalidad a un periodo de treinta años a más, desde 1989, basado en los datos Landsat 5, 7 y 8, y produciendo información a resolución espacial a 30 metros por píxel. Estas mejoras fueron posibles mediante el uso de la plataforma de Google Earth Engine.
- ✓ Se definieron criterios para identificar tipo y nivel de degradación, como: ecosistémico, de origen y la intensidad de la degradación.
- ✓ Los criterios se usan para establecer un orden de prelación de áreas degradadas según el servicio ecosistémico (Regulación hídrica, Control de erosión), con base en la intensidad de la degradación, hidrografía e hidrología, ecosistemas como bien; asimismo, el índice de desarrollo humano y otros componentes sociales, como información para la toma de decisiones por parte de los gobiernos regionales y locales. Esta forma de priorizar está sujeta a adecuación, según sea el contexto.

# OBJETIVOS

---

- 1 Difundir procedimientos metodológicos para la identificación y categorización de áreas degradadas en ecosistemas terrestres a escala nacional y subnacional, conducidos por el MINAM de manera articulada con las entidades de interés.
- 2 Brindar consideraciones técnicas para la priorización de áreas degradadas previamente identificadas y categorizadas con el fin de orientar las inversiones en la tipología de ecosistemas, conducidos por tomadores de decisión y con el soporte del MINAM.

# ALCANCE

---

- El presente trabajo tiene como público objetivo al gobierno nacional, gobiernos regionales, gobiernos locales, entidades públicas y privadas, que como parte de sus acciones requieran planificar, diseñar, formular, implementar y sistematizar acciones referidas a la recuperación de áreas degradadas en ecosistemas terrestres.
- Orientar, principalmente a gobiernos regionales y locales, en la priorización de áreas degradadas en el marco de la inversión pública en recuperación de ecosistemas degradados.



# MARCO LEGAL


- Constitución Política del Perú.
- Ley n.º 26821 - Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los Recursos Naturales.
- Ley n.º 28611 - Ley General del Ambiente.
- Decreto Legislativo n.º 1013, que aprueba la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
- Decreto Supremo n.º 023-2021-MINAM, que aprueba la Política Nacional del Ambiente al 2030.
- Resolución Ministerial n.º 167-2021-MINAM, que aprueba el Texto Integrado del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente.
- Ley n.º 28245 - Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Ley n.º 29763 - Ley Forestal y de Fauna Silvestre.
- Ley n.º 27446 - Ley del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Decreto Supremo n.º 018-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal.
- Decreto Supremo n.º 021-2015-MINAGRI, que aprueba el Reglamento para la Gestión Forestal y de Fauna Silvestre en comunidades nativas y campesinas.
- Ley n.º 27972 - Ley Orgánica de Municipalidades.
- Decreto Supremo n.º 019-2009-MINAM, que aprueba el Reglamento de la Ley n.º 27446- Ley del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
- Decreto Legislativo n.º 1252, que crea el Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones y deroga la ley n.º 27293 - Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública.
- Decreto Supremo n.º 027-2017-EF, reglamento del INVIERTE.PE.
- Decreto Legislativo n.º 1432, que modifica el D. L. n.º 1252 INVIERTE.PE.
- Resolución Ministerial n.º-178-2019-MINAM, que aprueba los lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad.



PROTEJAMOS NUESTRA CARRETERA  
NO DESESTABILIZAR LOS TALUDES

Desestabilización de taludes por pérdida  
de cobertura vegetal.  
Foto: Joaquín Grández





# PROCESO PARA LA IDENTIFICACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS





Foto: Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.



En el siguiente esquema se presentan las fases y pasos a seguir que permitirá priorizar las áreas degradadas a intervenir para su recuperación, que se detallarán en adelante. (Figura 1).

**FIGURA 1. FASES Y PASOS DEL PROCESO DE IDENTIFICACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS**



# FASE I:

## IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

En esta fase se detallan las mejoras al procedimiento realizado por el MINAM para la identificación de áreas degradadas, en articulación y coordinación con las entidades de interés.

### PASO 1. IDENTIFICACIÓN

Para la identificación de áreas degradadas se recopila y sistematiza información de cambios de la cobertura vegetal a nivel nacional; adicionalmente se incluye el cálculo de la fragmentación de bosques para los ámbitos amazónicos.

A continuación, se detalla la secuencia a seguir para el caso de la Productividad Primaria Neta (PPN), la que tiene un carácter dinámico en el área de estudio, pudiendo variar positiva o negativamente en el tiempo.

La PPN se cuantifica utilizando, como proxy, el análisis de series de tiempo de la variación de los valores del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado – NDVI, en el periodo de tiempo de interés (Orr *et al.* 2017).

Luego, se analiza los datos de treinta años de imágenes del satélite Landsat 5, 7 y 8, los cuales son estandarizadas para evitar el error y así realizar la detección de la degradación.

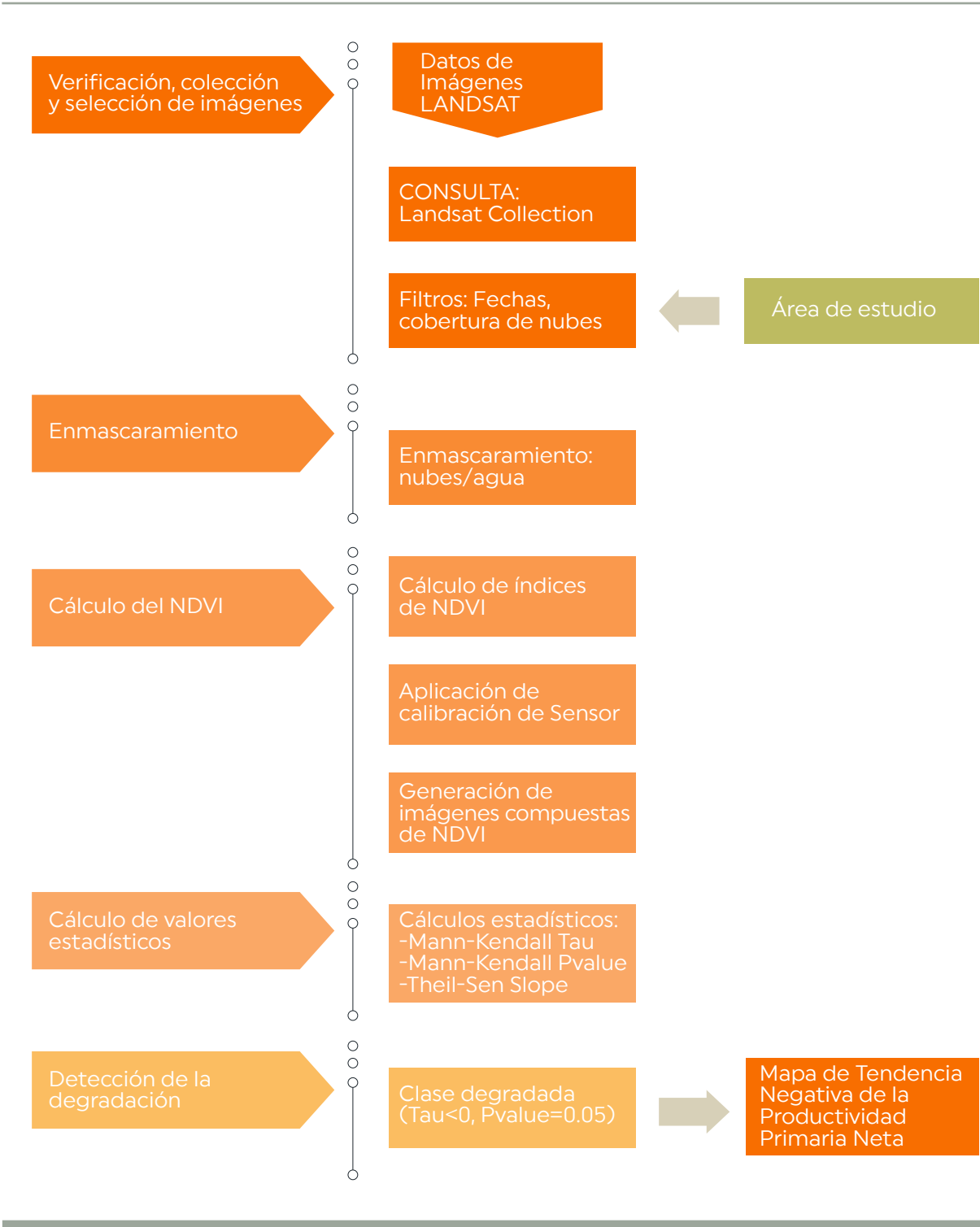
La metodología del modelo propuesto combina las herramientas Google Earth Engine<sup>4</sup> y CRAN R para generar los índices de NDVI a través de imágenes satelitales y, posteriormente, realizar el análisis de series temporales.

En la Figura 2 se muestra la secuencia del procedimiento para la identificación de áreas degradadas.

4 Google Earth Engine (GEE) es una plataforma tecnológica digital *online* libre, que ha puesto a disposición del público colecciones numerosas de imágenes satelitales actuales e históricas con una cobertura a nivel mundial. Las imágenes provienen de diferentes sensores (Modis, Landsat, Sentinel y otras fuentes) con variada resolución espacial y temporal. Esta plataforma digital cuenta con herramientas de alto rendimiento para procesar, analizar e interpretar estos datos en tiempos reducidos. Para más información, puede acceder al siguiente enlace (<https://earthengine.google.com/>).



**FIGURA 2. FLUJO DE ANÁLISIS DE SERIES DE TIEMPO PARA LA FASE 1 – IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS**



## 1.1 VERIFICACIÓN, COLECCIONES Y SELECCIÓN DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Es importante la verificación, colección y selección de las imágenes que nos van a servir para realizar el estudio, verificando el porcentaje de cobertura de nubes, fechas y extensión. Desde el 2008 el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) ha puesto a disposición los datos de Landsat sin costo alguno. Los productos de datos incluyen imágenes Landsat corregidas atmosféricamente, tales como la reflectancia de la superficie e índices de vegetación.

El catálogo de datos públicos de Google Earth Engine proporciona acceso al archivo Landsat completo (Gorelick *et al.* 2017), incluyendo los productos de datos científicos de nivel superior de USGS. Google Earth Engine utiliza el algoritmo USGS para procesar el archivo Landsat al nivel 2 del Producto Científico de Reflectancia de Superficie Landsat de USGS, de modo que cualquier escena debe coincidir exactamente con la misma escena extraída directamente de las herramientas de recuperación de datos de USGS.

Para la selección de imágenes Landsat se requiere tener en cuenta lo siguiente:

- Que abarque toda el área de estudio o Unidad Territorial de Intervención (UTI).
- Que no presenten más del 20 % de cobertura de nubes.
- Que incluya temporadas lluviosas y secas.

## 1.2 ENMASCARAMIENTO DE LAS NUBES, AGUA Y PÍXELES SATURADOS

Las nubes, las sombras de las nubes y la neblina pueden provocar errores de omisión en la tendencia detectada. Para corregirlo, se realiza una serie de funciones de enmascaramiento para excluir los píxeles que contienen nubes, sombras, agua, valores saturados, turbidez e interferencia de aerosoles en función de varias bandas que garanticen la calidad del producto de datos Landsat de nivel superior. Braaten (2018) y Junchang y Masek (2017) utilizaron un enfoque de enmascaramiento similar, aunque las bandas y los valores de garantía de calidad difieren debido a la versión actualizada de los algoritmos de procesamiento del archivo de datos Landsat. La Tabla 1 muestra las bandas de las calidades específicas del sensor Landsat.



**TABLA 1. CALIDADES ESPECÍFICAS DEL SENSOR LANDSAT UTILIZADAS PARA GENERAR MOSAICOS ANUALES LIBRES DE NUBES, AGUA Y TURBIDEZ**

SENSOR TIPO	QUALITY ASSURANCE BANDS
TM (Landsat 5)	Pixel_qa, atmos_qa
ETM (Landsat 7)	Pixel_qa, atmos_qa
OLI (Landsat 8)	Pixel_qa, sr_aerosol

Fuente: MINAM.

Ante esta necesidad se utiliza el código en lenguaje JavaScript para Google Earth Engine con el fin de excluir las nubes, sombras y neblinas.

### 1.3 CÁLCULOS PARA HALLAR EL NDVI, APLICANDO EL COEFICIENTE DE CALIBRACIÓN

Los compuestos NDVI se generan utilizando el entorno de desarrollo integrado de JavaScript en línea en Google Earth Engine. Para cada escena se calcula el NDVI. Estas imágenes NDVI se componen en mosaicos anuales tomando el valor medio de cada píxel, similar al método utilizado por Braaten (2018).

Los coeficientes de calibración se calculan a través del código Javascript, que puede ser consultado en el Anexo III.

### 1.4 CÁLCULO DE LOS VALORES ESTADÍSTICOS

Se utiliza una serie de pruebas estadísticas para analizar los compuestos de NDVI en busca de cambios a lo largo del tiempo. Las pruebas se realizan con el software R, utilizando análisis de series temporales (TSA). El TSA es una adaptación del paquete Regional Kendall Test (RKT) (Marchetto 2017) y se basa en la correlación de rango de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Theil-Sen, que ayuda a detectar un cambio gradual que sea consistente en la dirección; sin embargo, los puntos de corte y las tendencias entre los puntos de corte no pueden aislarse utilizando este script TSA.

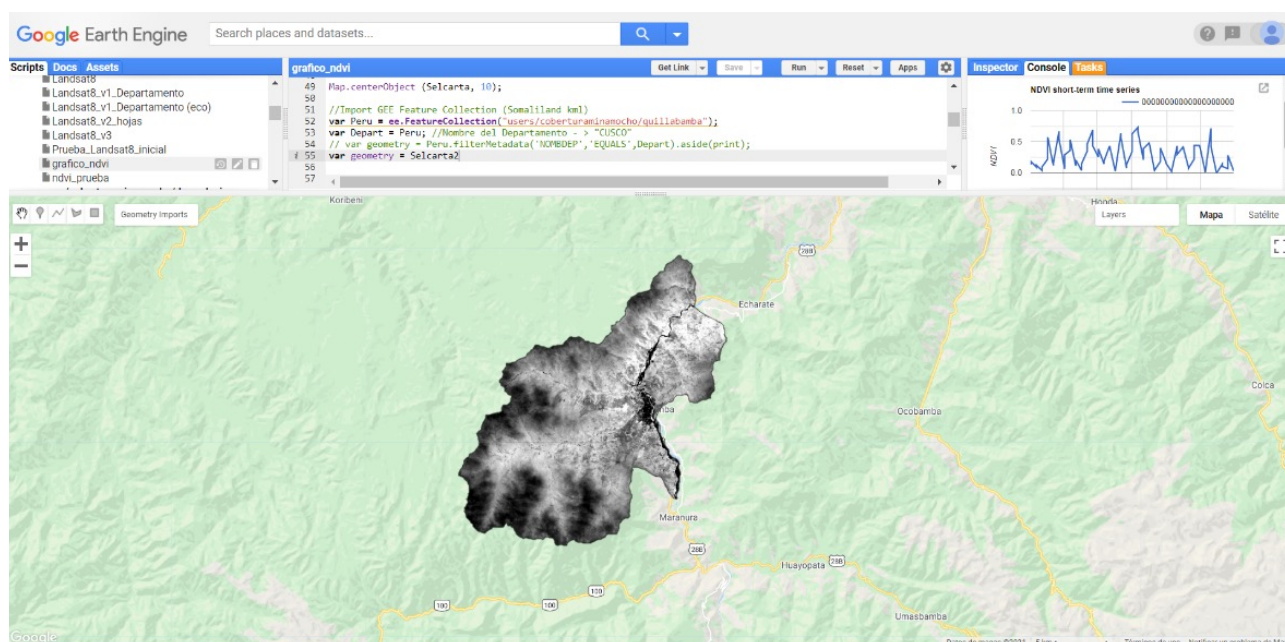
La prueba de Mann-Kendall para tendencias monotónicas (Mann 1945, Kendall 1975) es una prueba no paramétrica y ampliamente aceptada para examinar tendencias significativas a largo plazo en series temporales de datos de sensores satelitales (De Beurs & Henerby 2004, Erasmi *et al.* 2014, Fraser *et al.* 2014, Olto *et al.* 2015).

El paquete RKT se usa para detectar tendencias a largo plazo de patrones de paisaje. La prueba de Mann-Kendall es adecuada para este tipo de series de tiempo porque no requiere una distribución normal, se puede calcular a pesar de los valores faltantes y la magnitud de los valores extremos no afecta los resultados, como es el caso de la regresión y la correlación. Sin embargo, la prueba supone independencia entre las observaciones.

El coeficiente tau de Mann-Kendall oscila entre  $-1$  y  $+1$ . Se demuestra una tendencia estadística cuando el coeficiente de tau es significativamente diferente de cero, y los valores cercanos a cero indican que no hay una tendencia consistente. Un valor positivo implica una tendencia temporal ascendente, mientras que un valor negativo implica una tendencia decreciente. El ráster del valor p de Mann-Kendall proporciona una estimación de probabilidad que la tendencia observada podría haber ocurrido por casualidad, y expresa la importancia de la tendencia. Un valor p de 0.001 indica una mayor confianza en relación con un valor p de 0.05. Un ejemplo del resultado de este análisis se muestra en la figura 4.

El paquete de `rtk{rtk}` presentado en el script (Anexo III, Tabla 4) calcula la prueba de Mann-Kendall y pruebas estacionales. Este paquete es robusto, pero exige una cierta capacidad computacional que puede dificultar el proceso, por lo que se recomienda usarlo en UTI relativamente pequeñas como distritos o microcuencas. Por tal motivo, también se presenta un script para la estimación de la degradación íntegramente en la nube empleando la plataforma de GEE.

### FIGURA 3. CÁLCULO DE LOS VALORES ESTADÍSTICOS EN UN UTI



Fuente: Plataforma de Google Earth Engine.



## FIGURA 4. ESTADÍSTICO DE MANN-KENDALL. RESULTADO DE ANÁLISIS



Fuente: MINAM.

## 1.5 DETECCIÓN DE LA DEGRADACIÓN EN GOOGLE EARTH ENGINE

La detección automatizada usando Google Earth Engine(GEE) consiste en generar una serie de tiempo de NDVI mediante la estimación de un dato representativo anual, vale decir un mosaico de imágenes satelitales libre de nubes anual con el cual se calcula el índice de vegetación de manera iterativa para todos los años (treinta años).

Esta serie de tiempo se realiza en análisis de tendencia no paramétrica (Mann-Kendall) pixel a pixel, permitiendo conocer el estadístico de tendencia y significancia pixel por pixel. Operativamente un pixel es marcado como degradado si la tendencia es negativa (menor a cero) y presenta una significancia menor a 0.05.

Este proceso se ejecuta en la plataforma GEE través del script que puede ser consultado en el anexo III, Tabla 5.

Como resultado final se obtiene una capa de pérdida de la productividad en formato Ráster. Finalmente, dicha capa debe ser integrada con las otras variables establecidas para la identificación de la degradación.

## PASO 2. VALIDACIÓN DE LA EXACTITUD TEMÁTICA

### 2.1 PRECAMPO

En esta etapa se desarrolla la planificación y coordinaciones para el traslado a los diferentes lugares de validación, considerando:

#### PUNTOS DE MUESTREO

Los puntos de muestreo son ubicados de manera aleatoria y se deben distribuir a lo largo de toda la UTI, utilizando la red de vías (carreteras nacionales, departamentales y vecinales) como referencia para crear un área de muestreo mediante un buffer de 200 m a lo largo de la red vial. Esto permitirá el acceso y desarrollo del protocolo de evaluación de una manera eficiente y económicamente razonable.

Para la validación de los píxeles degradados en el área de estudio se utiliza el diseño aleatorio estratificado. Cada píxel representa una unidad de muestreo y el total de píxeles evaluados del área de interés (orden de cuenca, región, etc.), distribuidos en dos estratos: área degradada y área no degradada.

El tamaño de muestra se calcula en base a la fórmula de Cochran (1977), recomendada para casos en que la población tiene un tamaño infinito o muy grande (Boca & Rodríguez 2016; Aja & Micah 2014).

$$n = \frac{Z^2 p(1 - p)}{d^2}$$

Donde:

Z: Valor de la función de distribución normal acumulada para un área  $(1-\alpha)/2$ .

d: Precisión.

p: Proporción estimada de un atributo que está presente en la población.

Para el cálculo de unidades muestrales se recomienda usar un intervalo de confianza de 95% ( $Z=1.96$ ), la proporción estimada para cada atributo (Estratos) de 50% ( $p=0.5$ ) y un valor de confianza de 95% ( $d=0.05$ ).

La exactitud temática se evalúa con los puntos resultantes, los cuales se distribuyen de forma aleatoria en el área (s) de interés, donde se realiza el levantamiento de datos de dos formas: observaciones directas en campo y análisis de imágenes satelitales de alta resolución.



## EQUIPO TRABAJO BASE

- 01 especialista: Profesional responsable de la coordinación y logística del trabajo en campo, así como del correcto desempeño del equipo, recojo de la información y la sistematización de datos obtenidos.
- 01 asistente de campo: Profesional que se encarga del apoyo técnico y logístico en todas las actividades de campo.
- 01 asistente local: Profesional o persona de la zona con conocimiento del área a evaluar; se encarga de apoyar en el guiado y apertura de accesos de ser necesario y dependiendo del tipo de ecosistema donde se trabaje.

## MATERIALES DE TRABAJO

Se preparan todos los materiales, equipos y softwares, dentro los cuales se debe tener especial cuidado y prioridad en la elaboración de los mapas digitales de las áreas degradadas, cobertura y mapas temáticos de la zona de evaluación, los que serán cargados en la tableta (iPad implementado con GPS/GLONASS y con la aplicación IGIS) y GPS, y las fichas de campo donde se registrará la información.

En el caso que no se cuente con una tableta (iPad), se puede utilizar mapas impresos con los diferentes mapas y/o un celular con aplicaciones que soporten archivos de visualización de mapas (Google Earth, Mapinr, iGIS, MAPS.ME, etc.).

Los materiales y equipos se encuentran listados en la siguiente tabla:

**TABLA 2. MATERIALES Y EQUIPOS DE TRABAJO**

MATERIALES	EQUIPOS	SOFTWARE'S
Mapas con los puntos a evaluar	Sistema de Posicionamiento Global (GPS)	Google Earth
Mapas con la cartografía base de referencia de la evaluación	Binoculares	SIG (Qgis, ArcGIS, otros)
Fichas de campo (impresas en papel resistente al agua)	Cámara fotográfica digital	Microsoft Office
Bitácora	Brújula	
Tablero porta hojas	Densitómetro	
Lápices y borradores	Clinómetro	
10 cinta métrica de 50 m	Laptop	
01 Cintas diamétricas	Tablet	
Baterías Alcalinas AA		
05 estacas de madera o metal		
01 cuadrícula de madera o aluminio de 1 x 1m		

Fuente: MINAM.

## 2.2 ETAPA DE CAMPO

### INSTALACIÓN DE LA PARCELA DE EVALUACIÓN

Una vez ubicado el punto a evaluar, se toma el vértice central de la parcela y se georreferencia con el GPS; adicionalmente, se utiliza la opción de “**Promediar ubicación**” por un tiempo mínimo de diez minutos, con la finalidad de conseguir incrementar la precisión y reducir el error. Desde este punto se extenderá cuatro líneas de 10 m hacia los puntos cardinales (norte, este, sur y oeste); con el fin de no sobrepasar el tamaño de píxel (30x30 m), los vértices serán marcados temporalmente con las estacas, los cuales se deben tomar como los vértices de la parcela donde se evaluará todas las variables de acuerdo con el estrato dominante que esté presente.

#### IMPORTANTE:

Aunque el tamaño de la parcela sea menor al del píxel de evaluación, esta diferencia ayuda a reducir el error de posición que puede ser producido por el instrumento y por la ubicación del punto de muestreo. Además, el área total de parcela (0.02 ha) representa el 22 %, siendo un tamaño representativo del área del píxel.

### MEDICIÓN DE LOS INDICADORES

Las variables evaluadas están relacionadas con la alteración parcial o total de la Producción Primaria Neta (PPN), disminuyendo la capacidad del ecosistema de proveer bienes y servicios ecosistémicos. Estas variables representan el grado actual de cada ecosistema, y a pesar de que los ecosistemas tienen características homogéneas en general, la estructura vegetal dentro de estas puede variar y por lo tanto este protocolo deberá aplicarse de acuerdo al estrato vegetal dominante (arbóreo, arbustivo y/o herbáceo) dentro del área del ecosistema donde se ubique el punto de evaluación.

#### INDICADOR COBERTURA VEGETAL

Para los ecosistemas con “**estrato arbóreo**” la cobertura vegetal se mide con un densitómetro, para lo cual el evaluador se ubica en cada vértice de la parcela, donde el densitómetro se coloca a la altura de los ojos, de tal forma que la parte vertical del instrumento este nivelado y formando un ángulo recto con el suelo. Una vez instalado y posicionado, se contabiliza las cuadrículas que están cubiertas por el dosel, este número representa la proporción de la cobertura vegetal del vértice. Este procedimiento se realiza en los cinco vértices y el promedio será la cobertura final del punto.

En los ecosistemas con “**estrato arbustivo dominante**”, la cobertura se calcula midiendo el promedio del diámetro a partir del diámetro mayor y menor de todos los individuos. Este promedio sirve para calcular la cobertura individual que, a su vez, sumará la cobertura total del punto de validación.

$$AC = 3.1416 \left( \frac{DC}{2} \right)^2$$

Donde:

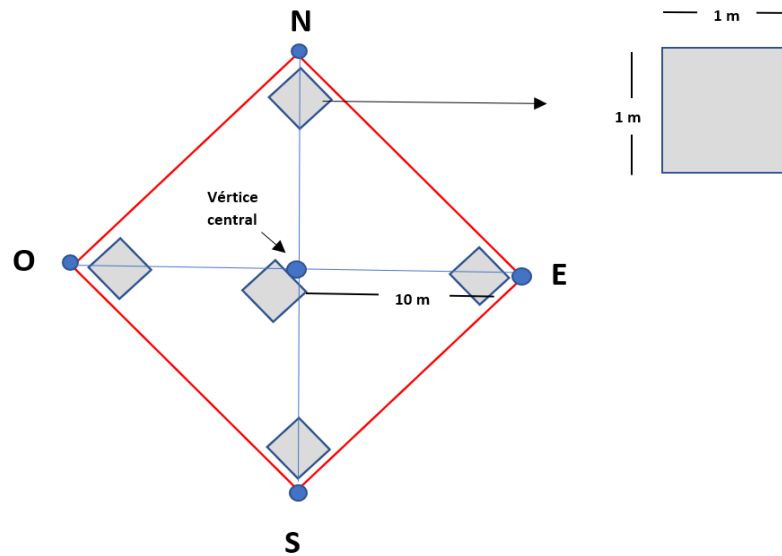
AC = Área de la copa.

DC = Diámetro promedio de la copa.



Para ecosistemas con “**estrato herbáceo dominante**” se utiliza el método del cuadrante (1x1m), el cual consiste en colocar el cuadrante en los vértices marcados por las estacas (Figura 5), donde se evalúa la cobertura total de la vegetación, restando al 100 % el porcentaje de suelo descubierto dentro del cuadrante. El promedio de las cinco medidas representa la cobertura para este punto.

## FIGURA 5. DISEÑO DE PARCELA DE EVALUACIÓN



Fuente: MINAM.

Para el caso de una vegetación con estrato mixto (arbórea/arbustiva, arbórea/herbácea, arbustiva/herbácea), donde ninguno de los estratos esté bien representado, se deberá medir la cobertura de todos los estratos presentes, tanto árboles como arbustos con la metodología arriba descrita.

## INDICADOR BIOMASA AÉREA

Para estimar este parámetro se evalúan todos los árboles  $\geq 10$  cm DAP (diámetro a la altura del pecho 1.3 m) dentro de la parcela de 0.02 ha. Primero se mide el diámetro de cada árbol a 1.3 m de distancia del suelo, a continuación, la altura, usando el clinómetro y la fórmula descrita en Bolfor *et al.* (2000), donde el ángulo “ $\alpha$ ” se mide con un clinómetro a una distancia de 15 a 20 m de cada árbol (esto puede variar de acuerdo con la distancia de la persona al árbol). Además, se debe registrar el nombre de la especie, género y/o familia identificado en campo de cada individuo evaluado.

$$h = d * \tan \alpha + P$$

Donde:

$h$  = Altura total.

$d$  = Distancia al fuste.

$\tan \alpha$  = Tangente del ángulo  $\alpha$ .

$P$  = Altura de la persona que realiza la medición.

Con estos valores se estima la biomasa de cada individuo utilizando la ecuación alométrica para los trópicos propuesta por Chave *et al.* (2014). La suma total representa el valor de biomasa del punto.

## ESPECIES INDICADORAS/ASOCIADAS A LA DEGRADACIÓN

Se considera especies indicadoras de degradación aquellas que puedan aprovechar las áreas descubiertas por la degradación (invasoras, exóticas, pioneras), puesto que su colonización se debe a su potencial de desarrollarse en ambientes abiertos y perturbados. La delimitación de las especies se debe realizar mediante la revisión de trabajos de flora relacionados al área a validar y se elabora un catálogo para su uso en campo.

Para evaluar la presencia de estas especies se realiza una observación rigurosa dentro de la parcela de evaluación. Si en campo no logra determinar si las especies son indicadoras de degradación, estas deberán ser recolectadas para su posterior análisis en gabinete. Todas las especies evaluadas como indicadoras de degradación deben registrarse fotográficamente.

## CAUSAS DIRECTAS DE LA DEGRADACIÓN

Para la medición de este indicador se procede a recorrer toda el área de la parcela instalada y por medio de la observación intensiva se registrará la(s) causa(s) de degradación de la tierra de acuerdo con la Tabla 3.



Junín Deshielo de glaciar.  
Foto: Joaquín Grández



TABLA 3. INDICADORES Y CAUSAS DIRECTAS DE LA DEGRADACIÓN

CÓDIGO	INDICADORES O CAUSAS DIRECTAS DE LA DEGRADACIÓN
A	<b>Deforestación y remoción de la vegetación natural:</b> remoción extensiva de la vegetación natural (usualmente forestación primaria o secundaria), debido a:
1	Forestación comercial a gran escala.
2	Desarrollo urbano.
3	Incendios forestales.
4	Conversión a otros usos de la tierra (especificar el uso).
5	Construcción de caminos.
6	Otros.
B	<b>Sobreexplotación de la vegetación por uso doméstico:</b> en contraste con la "deforestación y remoción de la vegetación natural", este factor causal no necesariamente implica la (casi) completa remoción de la vegetación "natural", pero sí la degeneración de la vegetación remanente, llevando a la insuficiente protección contra la erosión. Esta incluye actividades como:
1	Extracción excesiva para otros usos (leña para combustible, madera [local], vallados de materiales)
2	Remoción de forrajes
3	Otros
C	<b>Sobrepastoreo:</b> en general, lleva a la disminución de la cobertura de las plantas a un cambio negativo de la calidad del forraje y/o a la compactación del suelo. Esto puede, a su vez, causar una disminución en la productividad del suelo y en la erosión hídrica o eólica. Incluye:
1	Número excesivo de cabezas de ganado.
2	Pisoteo de animales a lo largo de los caminos.
3	Otros.
D	<b>Actividades industriales y minería:</b> esta categoría incluye todos los efectos adversos provenientes de la industrialización y las actividades extractivas. Incluye:
1	Liberación de los contaminantes transportados por el aire.
2	Extracción de minerales.
3	Deposición de residuos.
4	Otros.

<b>E</b>	<b>Desarrollo urbanístico e infraestructura:</b> a menudo puede causar considerables escorrentías y erosión, así como otros tipos de degradación (p. ej., contaminación).
1	Asentamientos y caminos.
2	Recreación (urbana).
3	Otros.
<b>F</b>	<b>Sobrecaptación del agua, principalmente por la agricultura/irrigación debido a:</b>
1	Crecimiento de la demanda de riego (irrigación).
2	Disminución del uso eficiente del agua.
3	Otros.
<b>G</b>	<b>Causas naturales:</b> muchas de las erosiones y otras degradaciones no son causadas por las actividades humanas. Aunque el LADA pone énfasis en la degradación inducida por el humano, las causas naturales también pueden indicarse. Sin embargo, los suelos que tienen características naturales desfavorables (o desde hace un período de tiempo considerable), como los desiertos de arena o los suelos salinos naturales, no son considerados como degradados. Estos incluyen:
1	Topografía / Relieves extremos.
2	Lluvias excesivas.
3	Tormentas.
4	Inundaciones.
5	Sequías.
6	Derrumbes naturales en las áreas montañosas altas.
7	Cambio en los patrones de lluvias y/o de temperaturas (cambio climático).
8	Suelos altamente susceptibles.
9	Otros (vientos).

Fuente: MINAM.

## REGISTROS FOTOGRÁFICOS

Para los registros del punto evaluado se toman fotografías a todas las actividades de evaluación de los indicadores. Además, en cada punto evaluado se registra de manera obligatoria cuatro (04) fotografías panorámicas, las cuales se toman apuntando la cámara hacia cada punto cardinal desde el centro de la parcela; asimismo, para los ecosistemas con estrato boscoso se toman fotografías del dosel en cada estaca instalada, para los ecosistemas con estrato herbáceo dominante se toma fotografías a cada cuadrante evaluado y para los ecosistemas con estrato arbustivo o mixtos se tomar fotografías de la vegetación en cada vértice para poder analizar el tipo de vegetación evaluada. Adicionalmente, se toman fotografías panorámicas fuera de la parcela y también a las especies más representativas. Todos los códigos de las fotos se deben registrar en la ficha de campo.



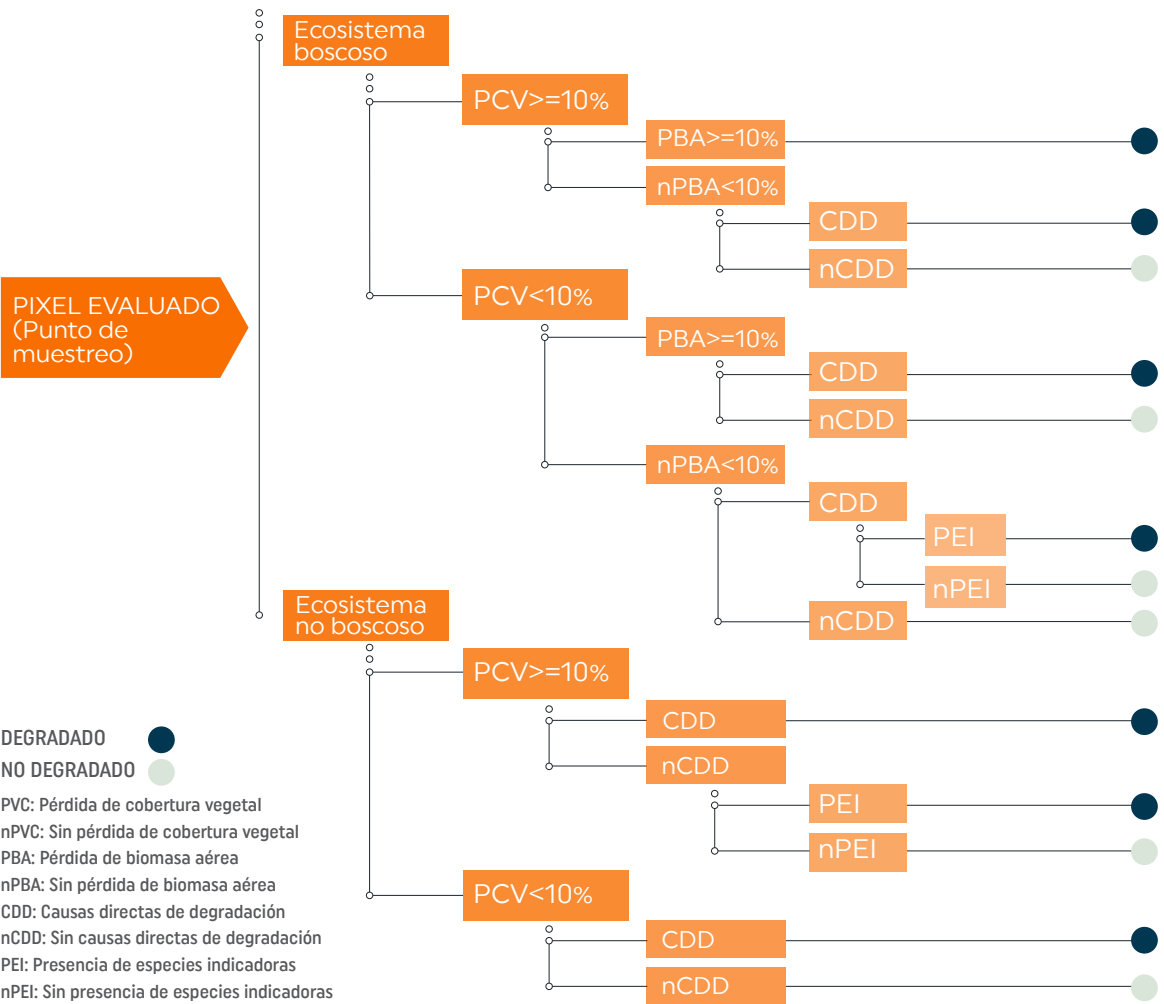
## 2.3 ETAPA DE POSTCAMPO

### ASIGNACIÓN DE CLASES

Esta etapa se desarrolla en gabinete, posterior al levantamiento de datos en campo, donde la información registrada en las fichas de campo se digitaliza en una matriz de Excel y las fotos se organizan en carpetas por cada punto de muestreo. Con los datos organizados se procede a calcular los valores de **cobertura vegetal y biomasa aérea**, la presencia de las causas directas de degradación y el registro de una o más especies indicadoras de degradación.

Con estos valores, cada punto pasará a ser evaluado con todos los supuestos del árbol de decisiones (Figura 6) para ser asignado como clase *área degradada observada* o *área no degradada*.

FIGURA 6. ÁRBOL DE DECISIONES PARA LA VALIDACIÓN DE CAMPO



## VALIDACIÓN CON IMÁGENES DE ALTA RESOLUCIÓN

La validación con imágenes de alta resolución permite analizar visualmente un área mayor de evaluación, permitiendo observar lugares alejados o de difícil acceso. Esta evaluación es complementaria a la validación de campo, y se realiza mediante imágenes de alta resolución, disponibles en varias plataformas de acceso libre (Google Earth Pro, Bing, RapidEye, etc.).

Cada punto de evaluación (que representa un pixel) es analizado con imágenes de series de tiempo, lo que permite visualizar si existe pérdida de cobertura vegetal (indicador de degradación) dentro de la serie de tiempo evaluación, dentro de los últimos treinta años o más. Los puntos que cumplan con este indicador se le asignará la clase de validación de “área degradada” y los que no presenten pérdida de cobertura se les asignará la clase de validación “área no degradada”.

Como indicador adicional se evalúan las causas de la pérdida de cobertura en los distintos puntos de validación, identificando las principales actividades asociadas a la degradación (infraestructura, agricultura, ganadería, minería, actividades extractivas, transporte, otros).

## MATRIZ DE CONFUSIÓN

Con los datos obtenidos en la validación (campo e imágenes de satélite de alta resolución) se contrasta con la información del mapa inicial de identificación de áreas degradadas, mediante una matriz de confusión (Tabla 4), este análisis evalúa la precisión del mapa con el Índice Kappa, interpretando el valor obtenido con la valoración de Landis & Koch (1977).



TABLA 4. MATRIZ DE CONFUSIÓN PARA EL PROCESO DE VALIDACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

MAPA DE IDENTIFICACIÓN						
Mapa de puntos de validación	Clase	Degradado	No degradado	Total	Exactitud usuario	Error comisión
	Degradado	A1	A2	X=A1+A2	EU1	EC1
	No degradado	B1	B2	Y=B1+B2	EU2	EC2
	Total	X1=A1+B1	Y2=A2+B2			
	Exactitud productor	EP1	EP2			
	Error omisión	EO1	EO2			

Fuente: MINAM.

De la matriz se desprende los siguientes datos: Puntos bien estimados: expresa la confiabilidad del mapa (A1, B2). Total de Puntos: es el número total de los puntos de muestreo que son evaluados en la matriz de confusión y que representa de la matriz el valor de X+Y. Total: de puntos evaluados por clase (X, Y, X1, Y2).

Error de comisión: Indica la probabilidad de que el usuario del mapa encuentre información incorrecta durante su uso.

Error de omisión: Indica en qué medida el productor del mapa representó incorrectamente los rasgos del terreno.

Exactitud del usuario: Valor correctamente clasificado de una clase respecto al total dado como dicha clase.

Exactitud del productor: porcentaje de elementos bien clasificados para cada clase en las columnas. Indica en qué medida ha sido bien clasificada una clase dada

$$k = \frac{(Po - Pe)}{(1 - Pe)}$$

Donde:

Po = Número de aciertos / Número total depuntos de evaluación.

Po = (A1 + B2) / (X+Y).

Pe = Cálculo generado desde la matriz de confusión.

Pe = (X1 x X) + (Y2 x Y) / (X + Y)<sup>2</sup>.





Cusco. Recuperación de ecosistemas para mejorar el servicio de regulación hídrica.  
Foto: Joaquín Grández

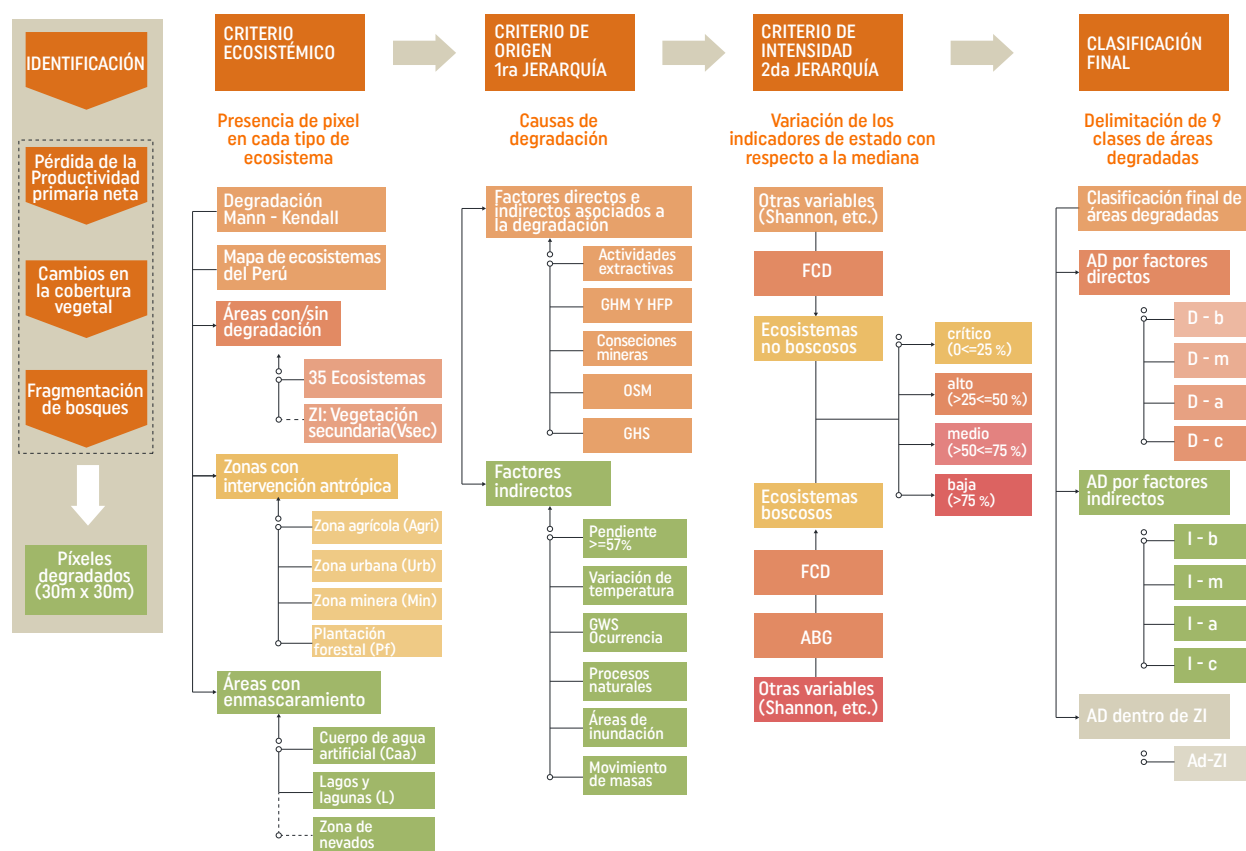


## FASE II: CATEGORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

La categorización es el proceso de jerarquización de las áreas degradadas en en 9 categorías. Esta fase es liderada por el MINAM en coordinación con las entidades de interés.

Esta categorización se basa en criterios que están soportados por diferentes variables, que ayudan a la delimitación y clasificación de las jerarquías de cada píxel identificado como “área degradada” en la Fase 1. Para esto, se sigue una serie de procesos secuenciales (figura 7) que incorporan la aplicación de criterios, los que se detallan a continuación.

**FIGURA 7. FASE 2: FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE CATEGORIZACIÓN**



AD: áreas degradadas. FCD: densidad de cobertura de bosque. AGB: biomasa aérea. GHM: índice de modificación humana. HFP: índice de huella humana. OSM: open street map. GHS: asentamientos humanos global. GWS: ocurrencia de agua. D: Directo. I: Indirecto. b: bajo. m: medio. a: alto. c: crítico

## PASO 3. APLICACIÓN DEL CRITERIO ECOSISTÉMICO

Considerando que un ecosistema es una unidad funcional compleja, la cual está delimitada por características biofísicas, el primer paso de la categorización es la delimitación de las áreas degradadas (píxeles), identificando su distribución dentro de los ecosistemas presentes en el área de estudio. Para esto, se utilizará el Mapa de Ecosistemas del Perú (MINAM, 2018).

Se propone incluir el análisis de los 36 ecosistemas naturales y la zona intervenida “Vegetación secundaria” (que por su naturaleza tiene áreas de cobertura vegetal similares a los ecosistemas naturales y que son de interés del PP n.º 144), y excluir las unidades que no se viene interviniendo con el PP n.º 144, como son las zonas Intervenidas (plantación forestal, zona agrícola, zona urbana, zona minera y cuerpos de agua artificial), y enmascarar en el análisis a los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos y lagunas).

Luego de este proceso, se tendrán identificadas cuatro capas:

- Ecosistemas con degradación
- Ecosistemas sin degradación
- Áreas de enmascaramiento
- Zonas de intervención antrópica

## PASO 4. APLICACIÓN DEL CRITERIO DE ORIGEN

Este criterio se enfoca en delimitar los píxeles dentro de las áreas que presentan factores directos de degradación (actividades antrópicas estresantes a los ecosistemas), y factores indirectos (variables no relacionadas a las actividades antrópicas), para luego reclasificar en función a ellos.

Dentro de los factores directos se incluye:

**INTERVENCIÓN ANTRÓPICA:** esta capa se conforma por las cuatro clases del Mapa de Ecosistemas del Perú (MINAM 2018): plantación forestal, zona agrícola, zona urbana y zona minera). También se puede considerar el Índice de Modificación Humana (GHM) o similar, que cuantifica la modificación de la tierra (excepto Antártica) que se genera por la actividad humana, proporcionando una medida acumulativa de trece actividades principales que, directa y/o indirectamente, alteran o degradan las áreas naturales (Kennedy *et al.* 2019). Los valores tomados como parte de los factores directos son alto a muy alto ( $GHM \geq 0.4$ ) y/o el índice de la Huella Humana (HFP) o similar. Este índice resume la información compilada de ocho variables que miden de forma directa e indirecta la presión humana a nivel global entre 1993 y 2009 (Venter *et al.* 2016); los valores tomados como parte de los factores directos es alto y muy alto ( $HFP \geq 6$ ).

**RED VIAL:** para esta variable se toma en cuenta los datos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, u otra disponible que asegure su confiabilidad, como Open Street Map (OSM), siendo este un proyecto colaborativo que usa información geográfica capturada con dispositivos GPS móviles, ortofotografías y otras fuentes libres para crear un mapa cartográfico vectorial que se distribuye bajo una Licencia Abierta de Bases de Datos (ODbL). El área de influencia de esta red vial se tomó en cuenta un buffer de 100 m.

**ASENTAMIENTO HUMANO GLOBAL (GHS) O SIMILAR:** esta capa es un producto multitemporal que contiene la información de la presencia de construcciones derivada de la colección de imágenes Landsat entre 1975 y 2014 (Florczyk *et al.* 2019), de la cual se tomaron los valores mayores a 3 (que corresponde a áreas con construcciones entre 1975 y 2014).

## FACTORES INDIRECTOS:

Para la capa de factores indirectos se incluye:

- Pendiente mayor a 57 %, donde se han registrado áreas de deslizamiento en los andes (Blodgett & Isacks 2007, Clark *et al.* 2016).
- Variación mayor a 0.5° C de la temperatura en últimos 30 años.
- Área de ocurrencia de agua entre el periodo 1984 hasta 2018.
- Áreas de susceptibilidad física a eventos climáticos (movimiento de masas e inundaciones).

## IMPORTANTE:

Para este criterio de origen, queda abierta la posibilidad de considerar otras variables relacionadas a cambios de la cobertura, que permita aportar información en el análisis para determinar si el pixel de degradación corresponde a factores directos o indirectos. También se puede tener en cuenta la actualización o mejora de alguno de los índices mencionados, por ejemplo, el índice de Huella Humana para Perú (Aragón-Osejo *et al.*, en preparación) a través del Proyecto Vida sobre la Tierra (NASA), disponible a partir del 2021.

## RECLASIFICACIÓN

Los indicadores de cada variable se reclasifican de acuerdo con sus parámetros para construir la capa de factores directos e indirectos de degradación (Tabla 5).

Con las capas de los factores directos asociados a la degradación se genera una capa con la información de presencia de estos factores y los píxeles que estén distribuidos dentro de esta capa se reclasifica como Áreas degradadas asociadas a factores directos (D-). El resto de los píxeles como complemento se reclasifica en Áreas degradadas asociadas a factores indirectos (I-), las cuales están relacionadas a las capas de fenómenos climáticos y procesos naturales de cambio de cobertura vegetal (fenología, dinámica de bosques, etc.).



**TABLA 5. RECLASIFICACIÓN DE LOS VALORES DE VARIABLES ASOCIADAS A LOS FACTORES DE DEGRADACIÓN**

VARIABLES / PARÁMETROS	REFERENCIA Y/O FUENTE	ESCALA DE VALORES	RECLASIFICACIÓN	FACTOR DE DEGRADACIÓN
Red vial	Open Street Map ( <a href="https://planet.openstreetmap.org/">https://planet.openstreetmap.org/</a> )	Mapa de vías terrestres	Búfer de 100 m a ambos lados de las vías	Directo
Global Human Modification (GHM)	Kennedy <i>et al.</i> (2019)	0 - 1	$\geq 0.4$	Directo
Human Footprint (HFP)	Venter <i>et al.</i> (2016)	0 - 50	$\geq 6$	Directo
Global Human Settlement (GHS)	Pesaresi <i>et al.</i> (2019), Florczyk <i>et al.</i> (2019)	0-6	3 - 6	Directo
Zonas con intervención antrópica (Agri, Urb, Min y Pf)	Mapa de Ecosistemas del Peru (2018)	Área de ecosistema	Presencia del pixel en el área	Directo
Áreas de actividad extractiva	INGEMMENT	Área de actividades extractivas	Presencia del pixel en el área	Directo
Pendiente	DEM (12.5 m) (elaboración propia)	$\geq 0 \%$	$\geq 57 \%$	Indirecto
Variación de la temperatura (30 años)	Elaboración propia	$< 0 > C^{\circ}$	$\geq -0.5 \geq 0.5 C^{\circ}$	Indirecto
GWS-Ocurrencia (1984-2018)	Pekel <i>et al.</i> (2016)	0 -100 %	Presencia del pixel en el área	Indirecto
Áreas de inundación	MINAM (2015)	Mapa de Áreas Inundables	Presencia del pixel en el área	Indirecto
Movimientos de masa	INGEMMENT (2010), Villacorta & Zavala Carrión (2012)	Muy baja - Muy alta	Alta y Muy alta	Indirecto

Fuente: MINAM.

## PASO 5. APLICACIÓN DEL CRITERIO DE INTENSIDAD

Para este criterio, se debe determinar el estado del ecosistema, basado en la disminución de la productividad primaria neta en las áreas degradadas, la cual puede medirse indirectamente por variables como la cobertura, biomasa, diversidad, etc. Estas variables están relacionadas con el estado de la vegetación medida en cada píxel a partir indicadores provenientes de las imágenes satelitales.

La selección de los indicadores es crítica al inicio del proceso y se debe tener en cuenta que la cobertura vegetal es uno de los indicadores básicos, ya sea para ecosistemas boscosos y no boscosos; adicionalmente, para los ecosistemas boscosos se evalúa la biomasa. Se propone el uso de la Densidad de Cobertura Forestal (FCD) para medir la cobertura vegetal y la Biomasa Aérea sobre el Suelo (AGB) para medir la biomasa del ecosistema.

La Densidad de Cobertura Forestal (FCD) es un indicador que está compuesto por tres índices: el Índice de Vegetación Ashburn (AVI), el Índice de Suelo Desnudo (BI) y el Índice de Sombra Escalado (SSI). Este indicador, además de ser sensible a la cobertura de la vegetación está relacionado a la estructura de la vegetación y el suelo descubierto, por lo que es usado para monitorear la deforestación y degradación vegetal (Panta *et al.* 2008, Deka *et al.* 2013). Los valores que puede tomar son de 0-100 %.

La biomasa aérea (AGB) es la forma natural de almacenamiento de carbono en la vegetación leñosa arbórea. Los valores se pueden obtener del mapa de biomasa aérea del Perú realizado por Asner, 2013 *et al.* en colaboración con el MINAN (2014).

Además de estos dos indicadores se puede adicionar otros de acuerdo con el grado de correlación con la degradación o la disponibilidad de la capa para el área de interés de evaluación (p. ej., Índice de diversidad de Shannon, NDVI, etc.).

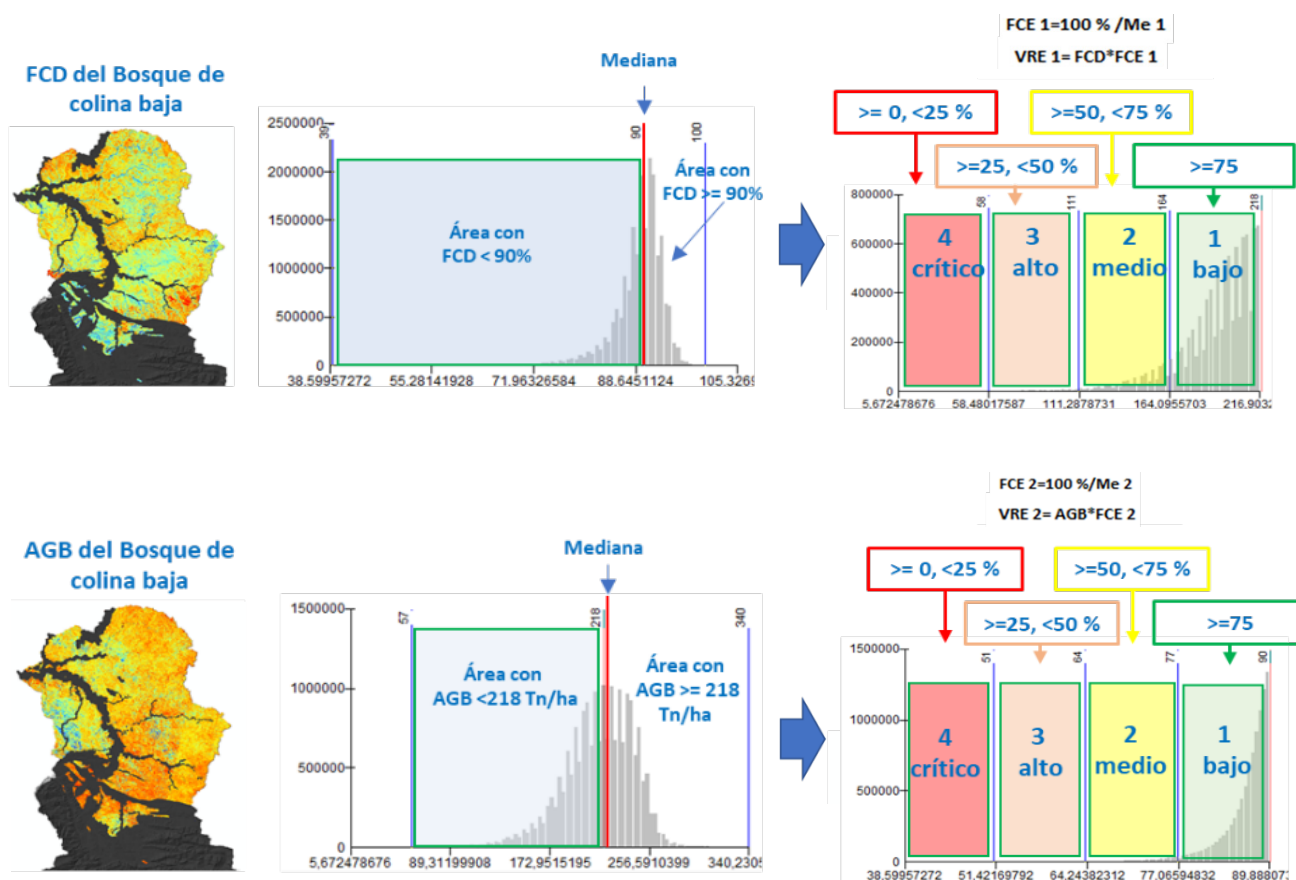
Una vez seleccionados los indicadores se procede a calcular la mediana de cada uno de ellos por ecosistema, la cual representa el comportamiento normal de este indicador dentro del ecosistema cuando no está degradado. Luego, se calcula el "Factor de Conversión de Estado" (FCE), que es igual al porcentaje que aporta el indicador dividido entre la mediana del ecosistema.

Con el FCE se estima el valor relativo de estado de cada píxel por ecosistema. La suma total del valor relativo del total de indicadores utilizados representa el valor relativo final del estado del píxel.

Entonces, la suma de todos los valores relativos de estado se reclasifica en cuatro clases:

- **Baja** (> 75 %), indica que el estado de conservación del píxel ha sido poco alterado.
- **Medio** (>50<=75 %), indica que el píxel ha sido alterado de forma considerable.
- **Alto** (>25<=50 %), indica que el píxel ha sido altamente alterado.
- **Crítico** (0<= 25 %), cuando ha sufrido una alteración cercana al total o total.

**FIGURA 8. DELIMITACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE DEGRADACIÓN EN BASE A LA INTENSIDAD**





En la siguiente tabla se explica la delimitación de las categorías para múltiples variables:

**TABLA 6. DELIMITACIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE INTENSIDAD DE DEGRADACIÓN**

Variable / parámetro	Valores / unidades	Mediana del ecosistema	Factor de conversión de estado (FCE)	Valor relativo de estado (VRE)	Categoría de degradación por variable	Categoría de degradación
<b>Var 1: FCD</b>	0 – 100 %	Me 1	<b>FCE 1=</b> <b>100 %/Me<sub>1</sub></b>	<b>VRE 1=</b> <b>FCD*FCE 1</b>	1: >=75 %	<b>bajo</b> <b>(=1)</b>
					2: >=50, <75 %	<b>medio</b> <b>(=2)</b>
					3: >=25, <50 %	<b>alto</b> <b>(=3)</b>
					4: >= 0, <25 %	<b>crítico</b> <b>(=4)</b>
<b>Var 2: AGB</b>	0-167.6 Tn/ha	Me 2	<b>FCE 2=</b> <b>100 %/Me<sub>2</sub></b>	<b>VRE 2=</b> <b>AGB*FCE 2</b>	1: >=75 %	<b>bajo</b> <b>(&lt;=2)</b>
					2: >=50, <75 %	<b>medio</b> <b>(&gt;2, &lt;=4)</b>
					3: >=25, <50 %	<b>alto</b> <b>(&gt;4, &lt;=6)</b>
					4: >= 0, <25 %	<b>crítico</b> <b>(&gt;6, &lt;=8)</b>
<b>Var 3: p. ej. Shannon</b>	0-5 bits	Me 3	<b>FCE 3=</b> <b>100 %/Me<sub>3</sub></b>	<b>VRE 3=</b> <b>Shannon* FCE 3</b>	1: >=75 %	<b>bajo</b> <b>(&lt;=3)</b>
					2: >=50, <75 %	<b>medio</b> <b>(&gt;3, &lt;=6)</b>
					3: >=25, <50 %	<b>alto</b> <b>(&gt;6, &lt;=9)</b>
					4: >= 0, <25 %	<b>crítico</b> <b>(&gt;9, &lt;=12)</b>
<b>Var n</b>	X (unidad)	Me n	<b>FCE n=</b> <b>100 %/Me<sub>n</sub></b>	<b>VRE n=</b> <b>Var n*FCE n</b>	1: >=75 %	<b>bajo</b> <b>(&lt;=n)</b>
					2: >=50, <75 %	<b>medio</b> <b>(&gt;n, &lt;=2n)</b>
					3: >=25, <50 %	<b>alto</b> <b>(&gt;2n, &lt;=3n)</b>
					4: >= 0, <25 %	<b>crítico</b> <b>(&gt;3n, &lt;=4n)</b>

Leyenda: Var: Variable / Indicador; Me: Mediana; PA: porcentaje de aporte al estado de conservación PA=100%

## PASO 6. CATEGORIZACIÓN FINAL

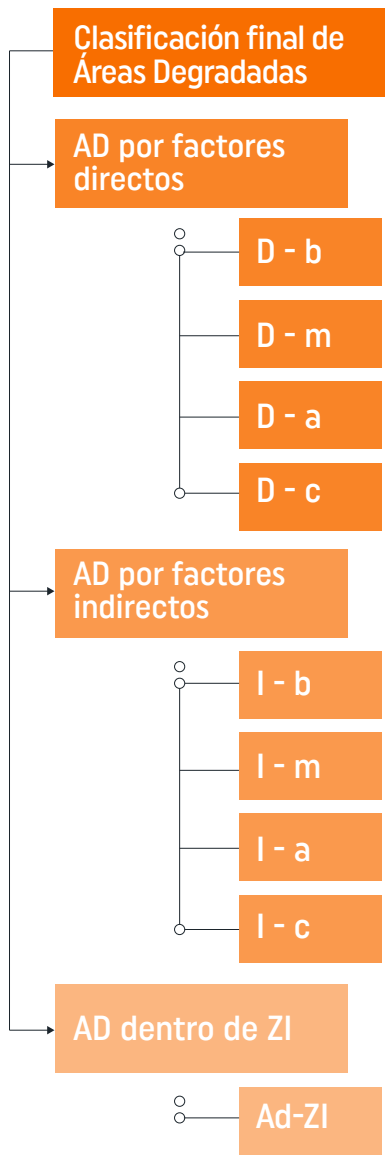
---

La información de los tres criterios explicados anteriormente, se integran espacialmente para generar, mediante sus distintas combinaciones, las nueve categorías finales (ver figura 9).

Finalmente, al terminar el proceso anterior de categorización se obtienen nueve clases de áreas degradadas:

- Áreas degradadas por factores directos e intensidad baja (D-b).
- Áreas degradadas por factores directos e intensidad medio (D-m).
- Áreas degradadas por factores directos e intensidad alta (D-a).
- Áreas degradadas por factores directos e intensidad crítica (D-c).
- Áreas degradadas por factores indirectos e intensidad baja (I-b).
- Áreas degradadas por factores indirectos e intensidad medio (I-m).
- Áreas degradadas por factores indirectos e intensidad alta (I-a).
- Áreas degradadas por factores indirectos e intensidad crítica (I-c).
- Áreas degradadas dentro de las zonas de intervención Antrópica (Ad-ZI).

FIGURA 9. ESQUEMA DE LAS CLASES FINALES DE LA CATEGORIZACIÓN







Cusco. Cárcava y deslizamiento  
en Willoq.  
Foto: Joaquín Grández

## FASE III: PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

El procedimiento para la priorización de áreas degradadas está dirigido principalmente a los decisores del gasto público y especialistas: funcionarios del gobierno regional o local, así como a profesionales, técnicos, líderes sociales, representantes de instituciones públicas y privadas interesados en participar en el proceso de recuperación de áreas degradadas, con acompañamiento del MINAM. Esta priorización debe contribuir a la elaboración de la cartera de inversiones.

La priorización se apoya en los lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad, establecidos en las directrices que orienten la formulación de proyectos de inversión y la Programación Multianual de Inversiones del sector Ambiente.

El proceso de priorización de áreas degradadas se aplica a un territorio pudiendo ser una cuenca, un distrito, un departamento, una región, área de conservación u otra delimitación según sea el caso. Para fines prácticos, en este documento se denominará Unidad Territorial de Intervención (UTI). Asimismo, las variables que se proponen en este procedimiento pueden ser ajustadas según el acceso a la información y otros factores relevantes para el territorio.

La priorización se enfoca en la tipología de **Ecosistemas**, donde, según los objetos de intervención, el alcance de los proyectos puede ser la recuperación de las áreas degradadas de ecosistemas (objeto como bien) o la recuperación de las áreas degradadas de los ecosistemas de interés hídrico (objeto como servicio), cuyos principales servicios ecosistémicos son los relacionados a la regulación hídrica y/o servicios de control de erosión de suelos.

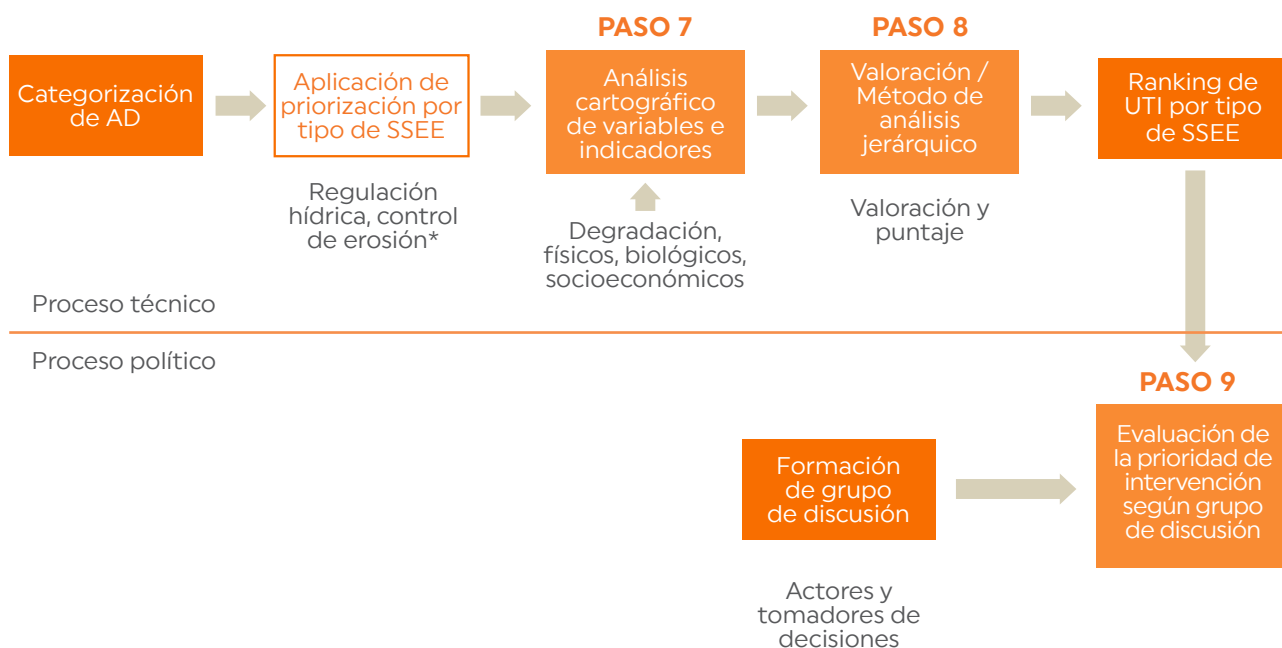
Por un lado, la priorización de las áreas de importancia para el servicio de regulación hídrica se propone con base a las variables de intensidad de la degradación, posición relativa de la cuenca, hidrogeología, ecosistemas de importancia para regulación hídrica, ecosistemas frágiles e índice de desarrollo humano. Por otro lado, la priorización de las áreas de importancia para el servicio de control de erosión de suelos se propone reemplazando las variables de posición relativa de la cuenca y ecosistemas de importancia por las de intensidad de la pendiente e intensidad de la erosión, respectivamente. Asimismo, se invierte la ponderación de otras variables como la hidrogeología.

Estas variables siguen un proceso lógico y matemático correspondiente al método de jerarquías analíticas (AHP), el cual se encuentra simplificado en la tabla de Priorización de Áreas Degradadas (Tabla PAD), donde se llena la información requerida de las variables de priorización para poder obtener el *ranking* de las UTI.

Este ranking nos da la información biofísica necesaria para decidir con qué UTI debemos empezar a trabajar. Sin embargo, la última variable de la priorización “Componente socioeconómico” es muy importante porque trata de entender los factores sociales y económicos que afectan al UTI de interés.



**FIGURA 10. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRIORIZACIÓN EN ÁREAS DEGRADADAS PARA LA TIPOLOGÍA ECOSISTEMAS (OBJETO COMO SERVICIOS)**



Elaboración: DGOTGIRN.

## PASO 7. ANÁLISIS CARTOGRÁFICO DE VARIABLES E INDICADORES

Según la ruta de la priorización de áreas degradadas, las variables a utilizar serán seleccionadas de acuerdo a la disponibilidad de información para su aplicación. Estas variables corresponden a condiciones y características físicas, biológicas y socioeconómicas que serán evaluadas en la UTI, de acuerdo a las áreas degradadas en ecosistemas con servicios regulación hídrica y control de erosión.

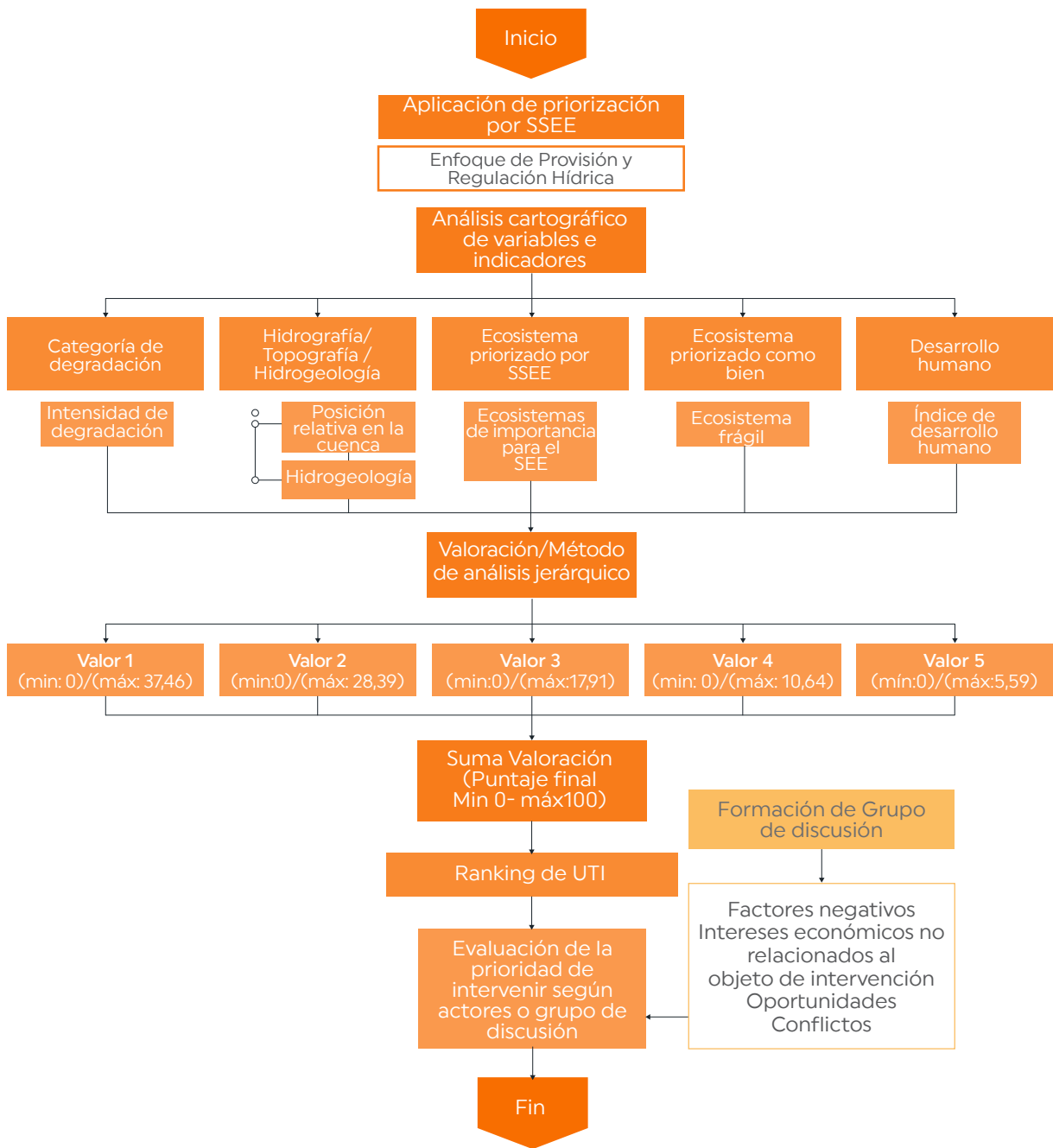
En el caso de la priorización de áreas degradadas en ecosistemas con importancia para el servicio de regulación hídrica, se proponen las siguientes variables:

- Categoría de degradación.
- Hidrografía – Hidrogeología.
- Ecosistema como servicio.
- Ecosistemas como bien.
- Índice de desarrollo humano.

De verse conveniente, según el área de estudio, se puede modificar el número de variables a emplear en el análisis.



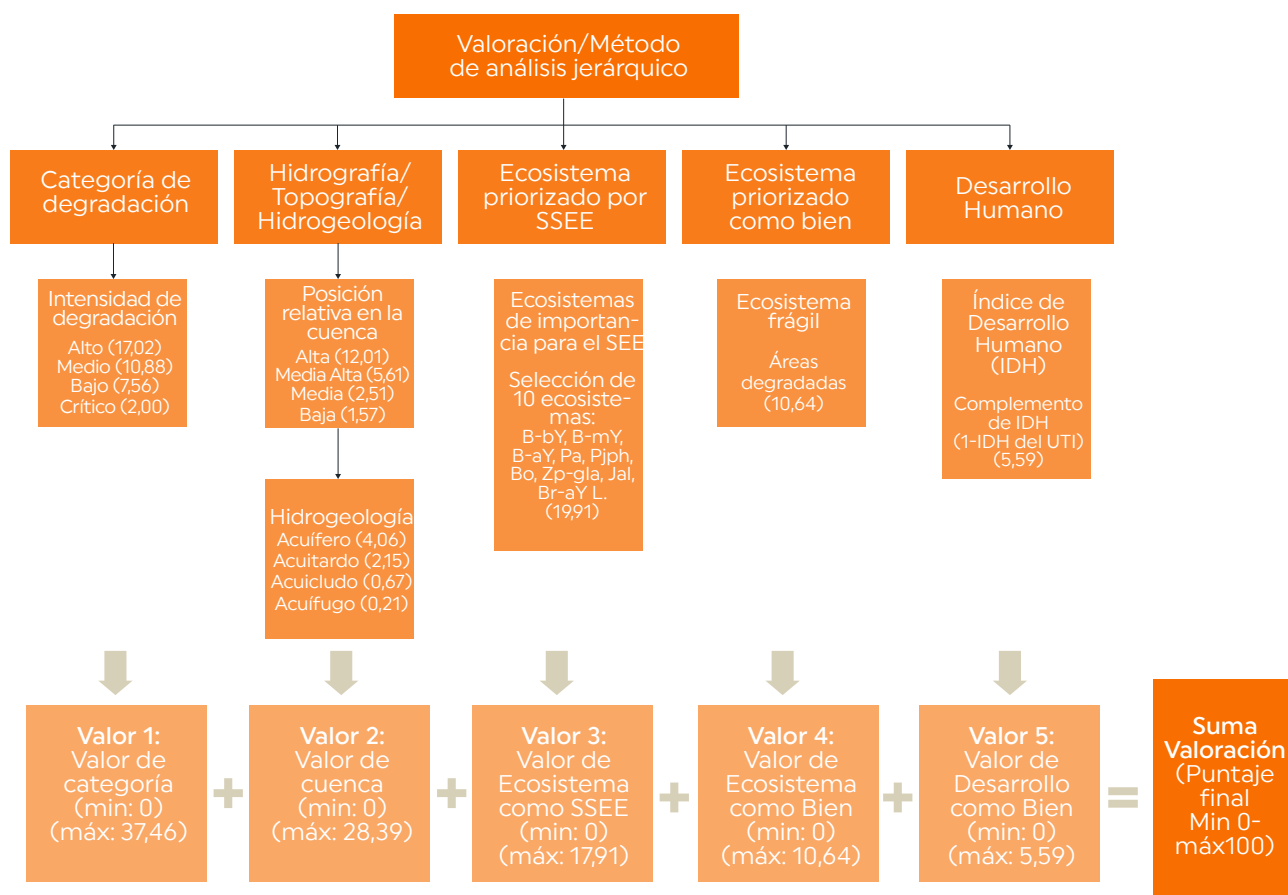
**FIGURA 11. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA LA REGULACIÓN HÍDRICA**



Elaboración: DGOTGIRN.

Cada uno será valorado de acuerdo a sus respectivos pesos, según se muestra en la siguiente figura:

**FIGURA 12. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE VALORACIÓN DE VARIABLES PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA LA REGULACIÓN HÍDRICA**

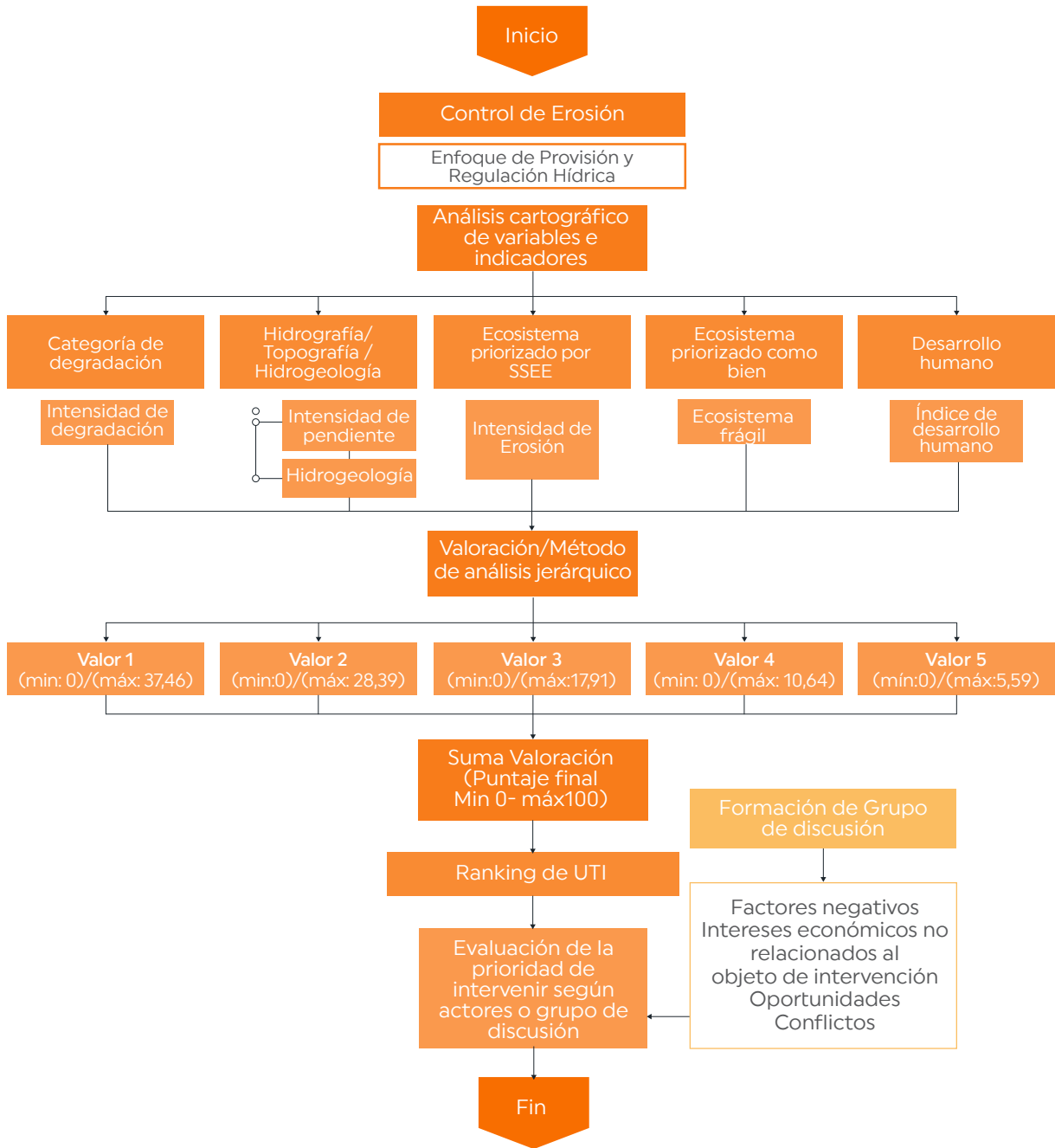


Fuente: MINAM.

En el caso de la priorización de áreas degradadas en ecosistemas con importancia para el servicio de control de la erosión, se proponen las siguientes variables e indicadores:

- Categoría de degradación.
- Topografía – Hidrogeología.
- Ecosistema como servicio.
- Ecosistemas como bien.
- Índice de desarrollo humano.

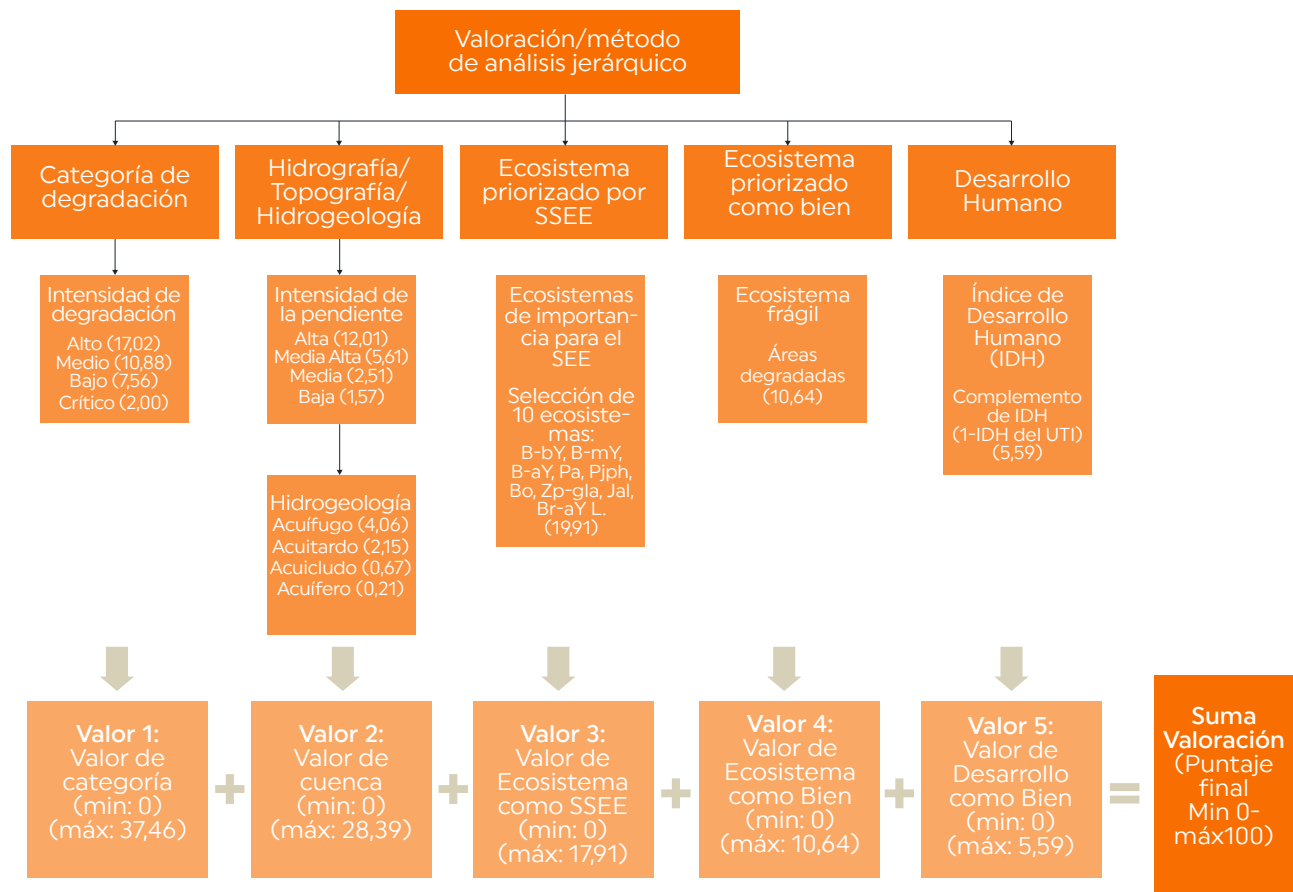
**FIGURA 13. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN**





Cada uno será valorado de acuerdo a sus respectivos pesos de sus indicadores, según se muestra en la siguiente figura:

**FIGURA 14. FLUJOGRAMA DEL PROCESO DE VALORACIÓN DE VARIABLES PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN**



Elaboración: DGOTGIRN.

Los indicadores y sus pesos también cambian según la ruta de priorización (por regulación o por control de la erosión), las cuales serán explicadas a continuación:

## VARIABLE # 1: CATEGORÍA DE DEGRADACIÓN

Esta variable es generada en la Fase 2, *Categorización de áreas degradadas* (ver Paso 5. Criterio de intensidad) y nos da la información de píxeles degradados y categorizados de las UTI. La categorización de píxeles degradados genera cuatro categorías: Bajo, Medio, Alto y Crítico.

Esta variable es compartida por las dos rutas de priorización, pero el ingreso de los indicadores varía, siendo para la ruta de importancia de regulación hídrica de mayor a menor peso: Alto, Medio, Bajo y Crítico (ver Gráfico 10), por considerar la importancia de la recuperación de cobertura vegetal para el mantenimiento del servicio de regulación hídrica.

La ruta de importancia de control de erosión de suelos va de mayor a menor peso: Crítico, Alto, Medio y Bajo (ver Gráfico 12), por el riesgo de erosión de suelo, considerándose el crítico más vulnerable.

## VARIABLE # 2: HIDROGRAFÍA, TOPOGRAFÍA E HIDROGEOLOGÍA

En esta parte del proceso se diferencian las variables e indicadores según la ruta de priorización.

La ruta de importancia para la regulación hídrica considera las variables de hidrografía e hidrogeología: la primera establece una posición relativa en la cuenca, reclasifica las microcuencas en función de la posición y la elevación con énfasis en las cabeceras de cuenca; la segunda se considera especialmente por su interés en la provisión hídrica a la población humana, de acuerdo con su capacidad de los materiales del medio para almacenar y transmitir el agua subterránea.

En la ruta de la priorización con importancia de control de erosión de suelos las variables son topografía e hidrogeología: la primera, con la variable Intensidad de Pendiente, que reclasifica las microcuencas en función de la pendiente; la segunda, por su importancia en su formación geológica.

Los indicadores a considerar son:

### A) POSICIÓN RELATIVA EN LA CUENCA

Este indicador solo es usado en la ruta de priorización de importancia para la regulación hídrica (no para el servicio de control de la erosión). Para implementar la capa de Posición Relativa en la Cuenca, primero se estima la media de la elevación del área de cada microcuenca, con datos obtenidos del DEM (se sugiere usar el DEM ALOS PALSAR, que tienen una resolución espacial de 12,5 metros). Las medias estimadas se utilizan para delimitar un rango máximo y mínimo de elevación, que posteriormente se usa para hallar la elevación relativa de las microcuencas de interés y se les agrupa en cuatro clases, de acuerdo con la posición relativa en la cuenca, y son (Tabla 7):

**TABLA 7. CLASES DE POSICIÓN RELATIVA DE CUENCA**

CLASES	POSICIÓN RELATIVA DE CUENCA
Baja	0% - 25%
Media	25% - 50%
Media Alta	50% - 75%
Alta	75% - 100%

Fuente: MINAM.

Para facilitar el proceso, sugerimos usar la plataforma HydroSHEDS de WWF <https://www.hydrosheds.org/> que proporciona una delimitación de microcuencas de nivel 12. HydroATLAS, que es una base de datos integral que reúne y presenta una amplia gama de atributos hidroambientales de conjuntos de datos globales existentes de manera coherente y organizada.

## B) INTENSIDAD DE PENDIENTE

Este indicador solo es usado en la ruta de priorización de importancia en control de erosión de suelos (no para el servicio regulación hídrica). Para implementar la capa de Intensidad de Pendiente, primero se estima la media de la pendiente del área de cada microcuenca, con datos obtenidos del DEM (se sugiere usar el DEM ALOS PALSAR, que tienen una resolución espacial de 12,5 metros).

Las medias estimadas se utilizan para delimitar un rango máximo y mínimo de pendiente, que posteriormente se usa para hallar la intensidad de pendiente de las microcuencas que están en el área de interés y se les agrupa en cuatro clases de acuerdo con la intensidad de pendiente y son (Tabla 8):

**TABLA 8. CLASES DE INTENSIDAD DE PENDIENTE**

CLASES	INTENSIDAD DE PENDIENTE
Baja	0% - 25%
Media	25% - 50%
Media alta	50% - 75%
Alta	75% - 100%

Fuente: MINAM.

Para facilitar el proceso, se sugiere usar la plataforma de HydroSHEDS de WWF <https://www.hydrosheds.org/>, que proporciona una delimitación de microcuencas de nivel 12. HydroATLAS, que es una base de datos integral que reúne y presenta una amplia gama de atributos hidroambientales de conjuntos de datos globales existentes de manera coherente y organizada.



## C) HIDROGEOLOGÍA:

Para este indicador se utiliza la capa de Hidrogeología del Perú, generada por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET), tomando como indicadores los procesos que rigen los movimientos de las aguas subterráneas en el interior de las rocas y de los sedimentos. Esta capa ha sido clasificada en:

**Acuífero:** Formación geológica capaz de contener y transmitir agua en cantidades significativas. Por ejemplo, las terrazas fluviales, etc.

**Acuitardo:** Formación geológica capaz de contener agua y transmitirla lentamente. Por ejemplo, los limos arenosos.

**Acuícludo:** Formación geológica capaz de contener agua, pero no transmitirla. Por ejemplo, las formaciones arcillosas; de hecho, se consideran como “impermeables”.

**Acuífugo:** Formación geológica que no contiene ni transmite agua. Por ejemplo, las rocas ígneas no fracturadas ni meteorizadas.

Los pesos de los indicadores de esta variable se modifican en ambas rutas de priorización, donde la ruta con importancia de provisión y regulación hídrica considera los pesos de mayor a menor a los acuíferos, acuitardos, acuícludos y acuífugos por su importancia en almacenar y transmitir aguas subterráneas. En la ruta de priorización de importancia de control de erosión de suelos considera los pesos de mayor a menor los acuífugos, acuícludos, acuitardos y acuíferos por el riesgo de erosión de suelo.



## VARIABLE # 3: ECOSISTEMA PRIORIZADO POR SSEE

Esta variable se enfoca en el objeto de intervención en áreas degradadas en ecosistemas con servicios ecosistémicos relacionados a la regulación hídrica y control de erosión de suelos. Se propone los siguientes ecosistemas relacionados a la regulación hídrica:

**TABLA 9. ECOSISTEMAS RELACIONADOS A LA REGULACIÓN HÍDRICA**

Humedales - Lagos y lagunas (L)*
Bofedal (Bo)*
Periglacial y glaciar (Zp-gla)
Bosque basimontano de yunga (B-bY)
Bosque montano de yunga (B-mY)
Bosque altimontano (pluvial) de yunga (B-aY)
Bosque estacionalmente seco internadino *
Páramo (Pa)*
Pajonal de puna húmeda (Pjph)*
Pajonal de puna seca *
Matorral de puna seca *
Matorral andino *
Jalca (Jal)*
Bosque relicto altoandino (queñoal y otros)*
Bosque relicto montano de vertiente occidental *
Bosque relicto mesoandino*

\*considerados por el Instructivo Ficha Técnica Simplificada De Proyectos De Inversión - Recuperación Del Servicio Ecosistémico De Regulación Hídrica (FTS-SERH). RM N.º 066-2020-MINAM.

Determinada la lista, se identifica en el UTI de estudio los ecosistemas presentes en la anterior lista, el cual determinará su peso final para esta variable.

En la ruta de priorización para control de erosión de suelos se identifica la intensidad de erosión; para ello, se utiliza el mapa de erosión de suelos del Perú (Senamhi 2017), que cuantifica la tasa de pérdida de suelos por erosión hídrica a nivel nacional, con énfasis en las regiones hidrológicas.

Con este mapa se pueden identificar las zonas de mayor riesgo al fenómeno de erosión hídrica, porque considera factores característicos del suelo, la vegetación del lugar, su topografía y la pluviosidad representada por la lluvia. Se puede descargar en <http://catalogo.geoidep.gob.pe> en formato raster GeoTIFF y sus valores lo agrupamos en tres niveles según su intensidad de erosión.

TABLA 10. CLASES DE INTENSIDAD DE EROSIÓN

CLASES	INTENSIDAD DE EROSIÓN
Baja	0% - 33%
Media	33% - 66%
Alta	66% - 100%

Fuente: MINAM.

## VARIABLE # 4: ECOSISTEMAS PRIORIZADO COMO BIEN

Para la variable de ecosistema como bien, se toma a los ecosistemas frágiles por su alto valor en la conservación y su vulnerabilidad frente a actividades antrópicas, lo cual constituye un factor importante para la restauración de estos. La Ley general del ambiente (Ley 28611 Art. 99, 2005) establece que son ecosistemas frágiles los bofedales, humedales, ecosistemas altoandinos, lomas costeras, bosques de neblina, entre otras.

Para la identificación de los ecosistemas frágiles se toma como base el mapa de humedales del Perú del MINAM 2010. Este mapa comprende cuatro grandes unidades: 1) Aguajales y pantanos, 2) Manglares, 3) Bofedales y 4) Humedales costeros; estos están considerados como ecosistemas frágiles. Siguiendo el procedimiento, se identifica el área presente de las cuatro unidades del mapa de humedales del Perú en las UTI y el área de estudio y se busca la proporcionalidad entre ambas.

## VARIABLE # 5: ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO

En esta variable se considera el desarrollo del capital humano en una determinada sociedad. Esto implica su desarrollo económico, social y su proyección al futuro para su bienestar en común. Teniendo como indicador el Índice de Desarrollo Humano (IDH), que engloba datos de población, acceso de la salud, educación e ingreso per cápita. Para la priorización, se toma el IDH del UTI y se compara con la clasificación elaborada por el PNUD (2018), donde los rangos se agrupan en tres clases:

TABLA 11. AGRUPACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE DESARROLLO HUMANO

CLASES	IDH
Baja	0.00 - 0.550
Media	0.550 - 0.699
Alta	0.700 - 0.799

Fuente: MINAM.



## PASO 8. VALORACIÓN - MÉTODO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

El método de análisis jerárquico forma parte de las técnicas de multicriterio discretas y su utilidad resalta en escenarios con conflictos o problemas que requieren la toma de decisiones entre varios responsables o decisores.

La toma de decisiones consiste en que los decisores identifiquen sus criterios y asignen un valor de importancia, resultando en una comparación de criterios por pares, todo en función a una escala de intensidad de importancia absoluta, la cual ya se encuentra predefinida (Tabla 12). Asimismo, dicha comparación genera un peso que va de mayor a menor importancia y es asignado un valor a cada criterio (Saaty 1977, Saaty 1987, Toskano 2005).

A continuación, las características por las que se considera ventajoso usar este método en contraste con otros, dentro de las técnicas de multicriterio:

- Tiene un sustento matemático.
- Permite desglosar y analizar un problema o caso por partes.
- Permite medir criterios cualitativos y cuantitativos mediante una escala en común, incluye la participación de diferentes personas o grupos de interés que llegan a un consenso.
- Permite verificar el índice de consistencia y hacer las correcciones, si se necesita.
- Genera una síntesis y da la posibilidad de realizar análisis de sensibilidad.
- Es de fácil uso y permite que su solución se pueda complementar con métodos matemáticos de optimización.



Cusco. Deslizamiento en carretera  
Ollantaytambo Ocobamba.  
Foto: Joaquín Grández

TABLA 12. ESCALA DE INTENSIDAD DE IMPORTANCIA

INTENSIDAD DE IMPORTANCIA EN UNA ESCALA ABSOLUTA	DEFINICIÓN	EXPLICACIÓN
1	Igual importancia.	Dos actividades contribuyen de igual manera a un objetivo.
3	Moderada importancia.	Experiencia y juicio ligeramente más a favor que otra.
5	Importancia fuerte.	Experiencia y juicio fuertemente a favor de otra.
7	Importancia demostrada o muy fuerte.	La actividad favorece fuertemente una sobre otra, su dominancia se corrobora en la práctica.
9	Extremadamente importante.	La evidencia que está favoreciendo una actividad sobre otra, es el orden más alto de afirmación al que puede ser asignado.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	Algunas veces una necesita comprometer un juicio numérico porque no hay una palabra adecuada para describirla.
Valores recíprocos de arriba	Si la actividad "i" tiene asignado uno de los números distintos de cero presentados anteriormente, en comparación con la actividad "j", entonces "j" tiene el valor recíproco cuando se compara con "i".	Una comparación que selecciona el elemento más pequeño como la unidad y estima el largo de uno como un múltiplo de esa unidad.
Racionales	Relaciones que surgen de la escala.	Si la consistencia fuera forzada por obtener un valor "n" numérico para abarcar la matriz.
1.1 - 1.9	Para actividades vinculadas.	Cuando los elementos son estrechamente indistinguibles, 1.1 es moderado y 1.9 es extremo.

Fuente: Saaty (1994). How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process.

En la tabla se describe la explicación que amerita cada valor, que va del 1 al 9, siendo 1 el menor valor de importancia de un criterio frente a otro, y 9 extremadamente importante. A continuación, se estima los pesos del método de jerarquías analíticas.

## ESTIMACIÓN DE PESOS CON EL MÉTODO DE ANÁLISIS JERÁRQUICO

Para obtener los puntajes de priorización de las variables e indicadores, primero se ordenan solo las variables en un cuadro de doble entrada (Tabla 9), se mantiene el mismo orden tanto en la columna como en la fila. Luego se compara en pares y se asigna un valor que va de una escala del 1 al 9 (Tabla 8), donde los extremos como el 1 representa a la igualdad de importancia entre dos variables y el 9 se atribuye a una variable que tiene importancia absoluta sobre otra.

**TABLA 17. ORDENAMIENTO DE CRITERIOS (A), VALORES (A) Y ESTIMACIÓN DE PESOS**

CRITERIOS	A1	A2	A3	A4	A5	W	C (PESO)	$\lambda$
A1	1	a1	a2	a3	a4	$W1 = \frac{1}{\sqrt[n]{1 \cdot a1 \cdot a2 \cdot a3 \cdot a4}}$	$C1 = \frac{W1}{\sum W}$	$\lambda1 = C1 \times v1$
A2	1/a1	1	a5	a6	a7	$W2 = \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{1}{a1} \cdot 1 \cdot a5 \cdot a6 \cdot a7}}$	$C2 = \frac{W2}{\sum W}$	$\lambda2 = C2 \times v2$
A3	1/a2	1/a5	1	a8	a9	$W3 = \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{1}{a2} \cdot \frac{1}{a5} \cdot 1 \cdot a8 \cdot a9}}$	$C3 = \frac{W3}{\sum W}$	$\lambda3 = C3 \times v3$
A4	1/a3	1/a6	1/a8	1	a10	$W4 = \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{1}{a3} \cdot \frac{1}{a6} \cdot \frac{1}{a8} \cdot 1 \cdot a10}}$	$C4 = \frac{W4}{\sum W}$	$\lambda4 = C4 \times v4$
A5	1/a4	1/a7	1/a9	1/a10	1	$W5 = \frac{1}{\sqrt[n]{\frac{1}{a4} \cdot \frac{1}{a7} \cdot \frac{1}{a9} \cdot \frac{1}{a10} \cdot 1}}$	$C5 = \frac{W5}{\sum W}$	$\lambda5 = C5 \times v5$
$\Sigma$	v1	v2	v3	v4	v5	$\sum W$	$\sum C$	$\sum \lambda$

Fuente: MINAM.

Donde:

$A$  = Criterio

$a$  = Valor de importancia de un criterio

$v$  = Sumatoria de valores de criterio (columna)

$W$  = Vector de prioridad

$C$  = Coeficiente

$\lambda$  = LAMDA

$n$  = Número de criterios



Luego de decidir qué valores de importancia tendrán los criterios considerados para la resolución del problema, se realiza una sumatoria de los valores de todas las columnas ( $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$ ); asimismo, se calculan los vectores de prioridad ( $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$ ) y el coeficiente ( $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ) o también llamado *peso*.

Una vez obtenido los *pesos*, se debe verificar si son razonablemente consistentes, por lo que se calcula  $\lambda$  y  $\lambda_{max}$ :

$$\lambda = C * v$$

$$\lambda_{max} = \sum \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5$$

El valor obtenido en  $\lambda_{max}$  y  $n$  permiten calcular el índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Luego se calcula el valor de índice de consistencia aleatoria (RCI):

$$RCI = 1.98(n - 2)$$

Para finalizar, la razón de consistencia resulta de la división de CI y RCI:

$$CR = \frac{CI}{RCI}$$

Si el valor de CR es menor a 0.1, entonces se considera que tanto los *pesos* como el ordenamiento de los valores de importancia de criterios son razonablemente aceptables. De lo contrario, se debe reasignar los valores de importancia para los criterios hasta que CR sea menor a 0.1.

Luego de comprobar que nuestros valores y pesos son consistentes, los pesos son porcentualizados (P), donde la sumatoria de P ( $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5$ ) representa el 100% (Tabla 18).

TABLA 18. CÁLCULO DE PESOS PORCENTUALIZADO POR CRITERIO

CRITERIOS	C O PESOS DE CRITERIOS	PESOS PORCENTUALIZADO DE CRITERIOS (P)
A1	C1	$P1 = C1 * 100$
A2	C2	$P2 = C2 * 100$
A3	C3	$P3 = C3 * 100$
A4	C4	$P4 = C4 * 100$
A5	C5	$P5 = C5 * 100$
$\Sigma$	1	100

Fuente: MINAM.

Los criterios pueden estar conformados por uno o más subcriterios, por lo que se calcula los pesos siguiendo el mismo proceso que tuvieron los criterios (Tabla 19):

TABLA 19. ORDENAMIENTO DE SUBCRITERIOS (B), VALORES (B) Y ESTIMACIÓN DE PESOS

SUBCRITERIOS	B1	B2	B3	B4	W	C (PESO)	$\lambda$
<b>B1</b>	1	b1	b2	b3	$w1 = \sqrt[3]{1 * b1 * b2 * b3 * b4}$	$c1 = \frac{w1}{\sum W}$	$\lambda1 = c1 * x1$
<b>B2</b>	1/b1	1	B4	B5	$w2 = \sqrt[3]{\frac{1}{b1} * 1 * b4 * b5}$	$c2 = \frac{w2}{\sum W}$	$\lambda2 = c2 * x2$
<b>B3</b>	1/b2	1/b4	1	B6	$w3 = \sqrt[3]{\frac{1}{b2} * \frac{1}{b4} * 1 * b6}$	$c3 = \frac{w3}{\sum W}$	$\lambda3 = c3 * x3$
<b>B4</b>	1/b3	1/b5	1/b6	1	$w4 = \sqrt[3]{\frac{1}{b3} * \frac{1}{b5} * \frac{1}{b6} * 1}$	$c4 = \frac{w4}{\sum W}$	$\lambda4 = c4 * x4$
$\Sigma$	x1	x2	x3	x4	$\sum W$	$\sum X$	$\sum \lambda$

Fuente: MINAM.

Donde:

$B = \text{Subcriterio}$

$b = \text{Valor de importancia de un subcriterio}$

$x = \text{Sumatoria de valores del subcriterio (columna)}$

$W = \text{Vector de prioridad}$

$C = \text{Coeficiente}$

$\lambda = \text{LAMDA}$

$n = \text{Número de criterios}$

Luego de decidir qué valores de importancia tendrán los subcriterios considerados para la resolución del problema, se realiza una sumatoria de los valores de todas las columnas ( $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5$ ), así mismo, se calculan los vectores de prioridad ( $W_1, W_2, W_3, W_4, W_5$ ) y el coeficiente ( $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5$ ) o también llamado *peso*.

Una vez obtenido los *pesos*, se debe verificar si son razonablemente consistentes, por lo que se calcula  $\lambda$  y  $\lambda_{max}$ :

$$\lambda = C * v$$

$$\lambda_{max} = \sum \lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 + \lambda_5$$

El valor obtenido en  $\lambda_{max}$  y  $n$  permiten calcular el índice de consistencia (CI):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Luego se calcula el valor de índice de consistencia aleatoria (RCI):

$$RCI = 1.98(n - 2)$$

Para finalizar, la razón de consistencia resulta de la división de CI y RCI:

$$CR = \frac{CI}{RCI}$$

Si el valor de CR es menor a 0.1, entonces se considera que tanto los *pesos* como el ordenamiento de los valores de importancia de subcriterios son razonablemente aceptables. De lo contrario, se debe reasignar los valores de importancia para los subcriterios hasta que CR sea menor a 0.1.



TABLA 20. CÁLCULO DE LOS PUNTAJES DE LOS INDICADORES DE UNA VARIABLE DE CASO

SUBCRITERIO	C Ó PESOS DE SUBCRITERIOS	PESO PORCENTUALIZADO DE SUBCRITERIOS (PS)
B1	C1	$Ps1 = \frac{C1 * P}{100}$
B2	C2	$Ps2 = \frac{C2 * P}{100}$
B3	C3	$Ps3 = \frac{C3 * P}{100}$
B4	C4	$Ps4 = \frac{C4 * P}{100}$
Σ	1	P

Fuente: MINAM.

Como se ha mencionado, los criterios se encuentran conformados por uno o varios subcriterios, por lo que el cálculo del *peso* porcentualizado de los subcriterios (Ps) resulta del producto del *peso* del subcriterio (Ps1, Ps2, Ps3, Ps4) y el *peso* porcentualizado del criterio (P), dividido por el 100%; asimismo, la sumatoria de todos los Ps resulta en P (Tabla 21).



## PESOS DE LAS VARIABLES E INDICADORES: TIPOLOGÍA ECOSISTEMAS CON IMPORTANCIA EN REGULACIÓN HÍDRICA Y CONTROL DE EROSIÓN DE SUELOS

Para la priorización de áreas degradadas, los criterios y subcriterios mencionados en el método análisis jerárquico son equivalentes a variables e indicadores. Los pesos que se obtienen de cada indicador, proveniente de cada variable responde a una lógica, cuya importancia se enfoca en la regulación hídrica (Tabla 21) y, en el control de erosión de suelo (Tabla 22). Estos pesos y valores son propuestos y pueden ser aplicados de forma general a cualquier área de estudio, las cuales pueden ser adoptados o modificados dependiendo las características particulares del territorio.

**TABLA 21. PESOS DE VARIABLES E INDICADORES PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA LA REGULACIÓN HÍDRICA**

VARIABLES	INDICADORES	PARÁMETROS	PESOS		
			PARÁMETROS	INDICADORES	VARIABLES
Categoría de degradación	Intensidad de degradación	Alto	17.02	37.46	37.46
		Medio	10.88		
		Bajo	7.56		
		Crítico	2.00		
Hidrografía - Hidrogeología	Posición relativa de la cuenca	Alto	12.01	21.29	28.39
		Medio alto	5.61		
		Medio	2.51		
		Bajo	1.17		
	Hidrogeología	Acuífero	4.06	7.10	
		Acuitando	2.15		
		Acuicludo	0.67		
		Acuífugo	0.21		
Ecosistema como servicio	Ecosistemas importantes para la provisión y regulación hídrica	Ecosistemas	11.41	17.91	17.91
Ecosistemas frágiles como bien	Ecosistemas frágiles	Ecosistemas frágiles	10.64	10.64	10.64
Desarrollo humano	Índice de Desarrollo Humano	IDH	5.59	5.59	5.59
TOTAL					100

**TABLA 22. PESOS DE INDICADORES Y VARIABLES PARA LA PRIORIZACIÓN ÁREAS DEGRADADAS CON IMPORTANCIA PARA EL CONTROL DE EROSIÓN DE SUELOS**

VARIABLES	INDICADORES	PARÁMETROS	PESOS		
			PARÁMETROS	INDICADORES	VARIABLES
Categoría de degradación	Intensidad de degradación	Crítico	17.02	37.46	37.46
		Alto	10.88		
		Medio	7.56		
		Bajo	2.00		
Topografía - Hidrogeología	Intensidad de la pendiente	Alto	12.01	21.29	28.39
		Medio alto	5.61		
		Medio	2.51		
		Bajo	1.17		
	Hidrogeología	Acuífugo	4.06	7.10	
		Acuicludos	2.15		
		Acuitardos	0.67		
		Acuíferos	0.21		
Ecosistema como servicio	Intensidad de la erosión de los suelos	Alto	11.41	17.91	17.91
		Medio	4.63		
		Bajo	1.88		
Ecosistemas frágiles como bien	Ecosistemas frágiles	Ecosistemas frágiles	10.64	10.64	10.64
Desarrollo humano	Índice de Desarrollo Humano	IDH	5.59	5.59	5.59
TOTAL					100

Fuente: DGOTGIRN.

## USO DE LA HERRAMIENTA PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS (HOJA DE CÁLCULO PAD)

La herramienta PAD es una hoja de cálculo que se diseña en el programa Excel y su uso tiene dos etapas: la primera, que sirve de soporte de información correspondiente a la degradación en las UTI dentro del área de estudio; esta información se obtiene del procesamiento de imágenes y mapas (explicado en el ítem anterior, Pesos de las variables e indicadores). La segunda etapa usa la información de soporte para calcular automáticamente (por medio de fórmulas) el valor prioritario y el ranking de las UTI presentes en el área de estudio.

Con la finalidad de atender los servicios de regulación hídrica y control de la erosión, se diseñan dos hojas de cálculo por área de estudio. El nombre que se le asigna a la hoja de cálculo es la abreviación de priorización de áreas degradadas "PAD", seguido de un subguión, el nombre de la cuenca y objeto de intervención, por ejemplo, "PAD Cuenca Vilcanota-Urubamba - Recurso hídrico", "PAD Cuenca Vilcanota-Urubamba - Control de erosión de suelo".

La hoja de cálculo PAD contiene seis pestañas, las pestañas se conforman de una o varias tablas que contienen información de soporte, con excepción de la última que, por medio de una tabla con fórmulas predefinidas, utiliza toda la información que se genera anteriormente, y es donde se lleva a cabo el cálculo de los valores de prioridad, así como el ranking de las UTI, correspondiente a su área territorial de intervención.

**Cálculo de Pesos:** Esta pestaña contiene las tablas donde se calculan los pesos por el método de análisis jerárquico. Esta pestaña no es editable y sirve de soporte para la última pestaña (Tabla PAD).

**Desarrollo humano:** Esta pestaña contiene tres tablas, una con el índice de desarrollo por UTI, otra con los ecosistemas importantes para el recurso hídrico y una tabla con los distritos y sus respectivos ecosistemas.

**Categoría de degradación:** Esta pestaña contiene la información de la intensidad de degradación (en hectáreas) de cada UTI, asimismo, contiene los puntajes de cada indicador. También tiene una columna de hectáreas degradadas por UTI y el factor de área degradada.

**Hidrografía - Hidrogeología o Topografía - Hidrogeología:** Esta pestaña contiene la información de la variable Hidrografía - Hidrogeología, conformada por la posición relativa en la cuenca (en caso de regulación hídrica), intensidad de la pendiente (para el caso de control de erosión) e Hidrogeología para cada UTI. Los valores de las variables están en hectáreas y los puntajes también están incluidos en esta tabla, que se calcula automáticamente al ingresar el valor en hectáreas degradadas.

**Ecosistemas - Servicio y bien:** Esta pestaña contiene la información del indicador de ecosistemas priorizados por SSEE y ecosistemas priorizados como bien (frágiles), estos se ingresan con valores en hectáreas. Para el caso de ecosistemas como servicio, se encuentran los indicadores de ecosistemas con importancia en la regulación hídrica, y los ecosistemas con importancia para el control de erosión de suelo. Los puntajes para estos dos indicadores se generan automáticamente tras ingresar los valores en hectáreas.

**Tabla PAD:** Esta es la pestaña que contiene en una tabla todos los puntajes de los indicadores correspondiente a cada UTI, así como el *ranking* de los cuales UTI son considerados más prioritarios dentro del área de estudio. Toda la información es autogenerada en base a la información de las anteriores tablas.

Con el fin de concluir la explicación del método de análisis jerárquico y el uso de la tabla PAD, se presenta un ejercicio de cómo se obtiene el valor de priorización del UTI en el Área de estudio. Ver anexo II.



## PASO 9. EVALUACIÓN DE LA PRIORIDAD DE INTERVENIR SEGÚN ACTORES O GRUPO DE DISCUSIÓN

Se recomienda que el área u oficina vinculada a la gestión de los recursos naturales, luego de haber ejecutado el proceso de priorización (pasos 7 y 8) convoque a un grupo de discusión conformado por diferentes funcionarios decisores en la propia entidad (planificación, oficina de inversiones y área de recursos naturales, por ejemplo) para evaluar los resultados obtenidos.

Se recomienda también, convocar a un representante del MINAM para que explique los antecedentes metodológicos y el soporte técnico a brindar desde el sector.

Para la evaluación, a partir de los resultados de las unidades de intervención territorial se podrán sumar variables socioeconómicas y otras más específicas de acuerdo al contexto, tales como vocación productiva, conflictividad o factores negativos existentes, problemas de tenencia de tierras, etc. Proceso por el cual cada institución nacional, regional o privada tiene autonomía por tener información clave para ver la realidad de las UTI.



Ucayali. Deforestación de bosque amazónico para plantaciones de palma aceitera.  
Foto: Raúl Tinoco

## CONFORMACIÓN DE GRUPO DE DISCUSIÓN

El grupo de discusión debe estar conformado por representantes de la entidad: áreas u oficinas vinculadas a la gestión ambiental y/o de recursos naturales, oficina de programación de inversiones, la oficina de planificación y otras que se consideren relevantes. Asimismo, también podrá convocarse a la participación de otras plataformas tomadoras de decisión vinculante en el territorio, de acuerdo a sus competencias.

## METODOLOGÍA Y DINÁMICA DEL GRUPO DE DISCUSIÓN

La metodología debe ser cuidadosamente diseñada por el equipo a cargo de la evaluación del proceso.

Se deberá contar con un método de discusión que considere criterios tales como: estructurado con base a resultados, envío de información previa, interactivo, que promueva la participación ágil de cada uno de los participantes ya sea de manera presencial y/o virtual (uso de matrices, mapas, diagramas, otros).

La implementación de esta evaluación debe llevarse a cabo en un ambiente relajado, confortable, agradable, donde los participantes se influyen, responden a preguntas y discuten ideas y comentarios surgidos en la propia discusión (Krueger, 1991).

Debe considerarse grupos reducidos, entre ocho y diez personas, debe ser heterogéneo, es decir de diversas áreas/oficinas de la institución y tanto de nivel técnico como de gestión.

Se deberá contemplar el uso de herramientas dependiendo si se implementa de manera presencial y/o virtual.

Si la reunión es presencial, el ambiente físico debe de cumplir, en la medida de lo posible, con las siguientes condiciones:

- Suficientemente espacioso y cómodo, siguiendo reglas y protocolos de seguridad y salud.
- Sin ruidos que puedan interrumpir el trabajo del grupo.
- Un lugar relacionado con la temática que se trata.

Si la reunión es virtual, se deben considerar las siguientes condiciones:

- Buen acceso a internet de todos los participantes, con recomendación de que se ubiquen en un espacio con el menor ruido posible.
- Evaluar opciones de uso de plataforma que sea ampliamente compatible y que permita buena interacción entre participantes. Se deberá testear el audio y cómo funcionan las herramientas.
- Verificación de accesos y orientaciones sobre uso de la plataforma virtual a los participantes de manera previa a la reunión.

En cualquiera de los casos, es importante contar con pausas, para este caso se recomienda incluir uno o dos recesos de cinco minutos. Puede considerarse tomar dicha pausa entre cada fase (identificación, categorización y priorización).

Es necesario considerar que el silencio no significa necesariamente estar de acuerdo, por lo que se debe promover la participación de cada persona con un tiempo establecido. Es importante manejar bien el tiempo, un exceso puede resultar en fatiga, falta de concentración y desconexión en el público asistente.

Otro aspecto relevante es recoger las opiniones sobre el método de evaluación, sobre todo si se han programado más de un grupo de evaluación, para así poder hacer mejoras al método de manera inmediata.

Asimismo, se debe considerar el registro de la discusión con los siguientes elementos:

- Que el registro en audio/video tenga una utilidad práctica.
- Usar simultáneamente la grabación de vídeo y audio si es posible. El método menos invasivo es la grabación del audio, el vídeo es un método que produce más datos. En cualquier caso, debe informarse a todos los participantes.
- Las notas escritas también pueden apoyar, cuando no hay vídeo ni audio, por lo que deben asignarse relatores.

## MODERACIÓN

Se recomienda que el grupo sea conducido por un moderador/moderadora debidamente preparado, que dirija al grupo con el objetivo de validar los resultados del proceso de identificación, categorización y priorización. Es el responsable de mantener el ambiente deseado en la discusión.

El moderador deberá tener conocimiento y experiencia laboral en la temática ambiental y en procesos de inversión pública. De preferencia, un especialista técnico de la propia entidad y que haya participado en el proceso que se evaluará.

A continuación, se presentan las principales funciones del moderador:

- Plantear el tema de tal manera que a la gente le apetezca discutirlo. Para ello deberá participar también en el diseño de la reunión y planteamiento de preguntas guía o base.
- No intervenir de manera subjetiva en el proceso, solo moderando y explicando los fundamentos técnicos si los domina o convocando la complementación de otro especialista.
- Controlar el desarrollo de la discusión, sobre todo en el tiempo para conseguir los resultados de consenso.
- Evitar dispersión hacia otros temas y reducir tensiones.
- Conducir la discusión para generar con los datos obtenidos un análisis cualitativo que conlleve a la toma de decisiones que permitan movilizar las inversiones para la restauración de los ecosistemas degradados.
- Ayudar a transmitir las conclusiones.



# CONCLUSIONES

Foto: Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.



- La metodología desarrollada para la identificación, categorización y priorización que se propone es aplicable a todo el Perú, fue diseñada considerando la diversidad de ecosistemas y paisajes, principalmente terrestres, la disponibilidad de información a escala nacional o global, por lo que es importante entender que pueden presentarse casuísticas específicas que requerirán un análisis a nivel local detallado.
- Es importante remarcar que la metodología es flexible en cuanto al uso de variables lo cual le permite ajustarse para responder condiciones específicas de cada territorio, así como permite la incorporación de nuevas variables o información actualizada que pueden estar disponibles a nivel regional o local.
- La metodología constituye una herramienta para la gestión pública y constituye un soporte para diversos instrumentos de gestión territorial, focalizando las inversiones del estado en materia de recuperación de ecosistemas terrestres. La Unidad Territorial de Intervención (UTI) podría variar según el objetivo que el ente formulador se propone atender, por ejemplo: cuencas, microcuencas, provincias, distritos, ANP, ACR, ACA, comunidades, etc. Las variables son flexibles y actualizables según el interés de priorización, estableciéndose una estructura sólida en la lógica para mantener la metodología al cambiar las variables.
- A pesar de que los recursos utilizados en los procesos de la categorización están sujetos a las características de origen (resolución, series de tiempo, precisión, procesamiento de datos, etc.), los resultados obtenidos deben ser tratados a escala regional, sin embargo, se podrían realizar ajustes en las variables utilizadas para aplicarse de manera local a un área determinada o particular.
- En el proceso de priorización, toma como variable relevante la capa de las categorías de degradación directa del criterio de origen del proceso de categorización y dependiendo la ruta de priorización varían sus pesos.
- El proceso de priorización tiene como salida un *ranking* de priorización de las Unidades Territoriales de Intervención, siendo necesaria la incorporación de variables socioeconómicas de particular interés que cada gobierno regional tenga dentro de su área territorial de intervención el cual se implementa a través de una evaluación de la prioridad que es discutida con actores o grupo de discusión.
- El procedimiento metodológico ha sido validado en las cuencas de Chira-Piura (Piura), Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro (Lima y Junín) y Vilcanota-Urubamba (Cusco); con una alta confianza estadística. Se pueden revisar los resultados en el Anexo I.
- El proceso de identificación fue validado en campo mediante una matriz de confusión de estudios piloto en 3 cuencas; los resultados obtenidos fueron: cuenca Vilcanota-Urubamba (Cusco) tienen una fuerza de concordancia 0.668 “Buena”; para la cuenca Chira-Piura (Piura), tienen una fuerza de concordancia 0.862 “Muy Buena” y la cuenca Chira-Piura (Piura) y Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro (Lima y Junín), tienen una fuerza de concordancia 0.862 “Muy Buena”.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Foto: Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.



- Aguirre, M., Ruíz, R., Torres, H. (2005). Marco conceptual y manejo de cuencas en el Perú. Instituto Nacional de Recursos Naturales. Intendencia de Recursos Hídricos del Perú.
- Armenteras, D., González, T., Retana, J., Espelta, J. (ed.). (2016) Degradación de bosques en Latinoamérica: Síntesis conceptual, metodologías de evaluación y casos de estudio nacionales. Publicado por IBERO-REDD+.
- Asner G. P., D. E. Knapp, R. E. Martin, R. Tupayachi, C. B. Anderson, J. Mascaro, F. Sinca, K. D. Chadwick, M. Higgins, W. Farfan, W. A. Llactayo León & M. R. Silman. (2014). Targeted Carbon Conservation at National Scales With High-Resolution Monitoring. PNAS 111 (47) E5016-E5022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1419550111>
- Asner, G., Knapp, D., Martin, R., Tupayachi, R., Anderson, C., Mascaro, J., Sinca, F., Chadwick, K., Sousan, S., Higgins, M., Farfán, W., M. R. Silman, Llactayo, W., Neyra, F. (2014). The High-Resolution Carbon Geography of Perú. A Collaborative Report of the Carnegie Airborne Observatory and the Ministry of Environment of Perú.
- Asner G. P., Keller M., Pereira R. Jr., Zweede JC. (2002). Remote Sensing of Selective Logging in Amazonia Assessing Limitations Based on Detailed Field Observations, Landsat ETM+ and Textural Analysis. Remote Sensing of Environment 80(3): 483-496.
- Boca, T., Rodríguez, G. Métodos estadísticos de la evaluación de la exactitud temática de los productos derivados de los sensores remotos. Instituto de Clima y Agua, INTA Castelar.
- BOLFOR; Mostacedo, B., Fredericksen, T. (2000). Manual de métodos básicos de muestreo y análisis en ecología vegetal. Santa Cruz, Bolivia.
- Brako, L., Zarucchi, J. (1993). Catálogo de las angiospermas y gimnospermas del Perú. Monogr. Syst. Bot. Missouri Bot. Garden. Vol. 45.
- CDE/WOCAT, F. I. (2008). Un cuestionario para posibilitar la realización de mapas de la degradación de la tierra y el desarrollo de mecanismos para el manejo sostenible de la tierra. Switzerland: Hanspeter Liniger, Godert van Lynden, Freddy Nachtergaele, Gudrun Schwilch.
- Ceamanos, X., Valero, S. (2016). Processing Hyperspectral Images. *Optical Remote Sensing of Land Surface*, 163–200. doi: 10.1016/b978-1-78548-102-4.50004-1
- Cochran, W.G. (1977). Sampling Techniques; Third Edition; Wiley. New York.
- Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina (CONDESAN). (2007). Gestión integral de cuencas. La experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas. Moreno Díaz, Alonso; Renner, Isabel (ed.).
- Cowie, A., Orr, B., Castillo, V., Chasek, P., Crossman, N., Erlewein, A., Welton, S. (2018). Land in Balance: The Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science and Policy*, 79, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>

- Cabello, D. (2017). Métodos de decisión multicriterio y sus aplicaciones. Universidad de la Rioja. Grado en Administración y Dirección de Empresas.
- Damaso, W., Aponte, H., Cano, A. (2010). Flora vascular y vegetación del humedal de Santa Rosa (Chancay, Lima). *Rev. peru. biol.* 17(1): 105-110.
- De Beurs, K., Henebry, G. (2004). Trend Analysis of the Pathfinder AVHRR land (PAL) NDVI Data for the Deserts of Central Asia. *IEEE Geoscience Remote Sensing Letters* 1: 282-286.
- De la Colina, A., Machin, J. (2017). Evaluación de la degradación de tierras a nivel nacional. Herramienta metodológica de soporte a la integración y ampliación del manejo sostenible de tierras y al apoyo a la toma de decisiones. (Evaluation of Land Degradation at the National Level. Methodological Tool to Support the Integration and Expansion of Sustainable Land Management and Support for Decision-Making). 10.5281/zenodo.1127739.
- DGIP-MEF (Dirección General de Inversión Pública-Ministerio de Economía y Finanzas) (2015). Lineamientos para la Formulación de Proyectos de inversión pública en Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos. Lima: DGIP-MEF.
- Dillon, M., Leiva, S., Lezama, P., Quipuscoa, V. (2011). Floristic Checklist of the Peruvian *Lomas* Formations. *Arnaldoa* 18(1) 07-32.
- Doxsey-Whitfield E., MacManus K., Adamo S. B., Squires, Olena Borkovska L. P. J. & Baptista, S. R. (2016). Taking Advantage of the Improved Availability of Census Data: A First Look at the Gridded Population of the World, Version 4. *Applied Geography* 1(3): 226-234.
- Elvidge, C. D., Imhoff, M. L., Baugh, K. E., Hobson, V. R., Nelson, I., Safran, J., Tuttle, B. T. (2001). Night-Time Lights of the World: 1994–1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, 81-99.
- Erasmi, S., Schucknecht, A., Barbosa, M., Matschullat, J. (2014). Vegetation Greenness in Northeastern Brazil and its relation to ENSO Warm Events. *Remote Sensing* 6: 3041-3058.
- Feret, J. (2019). BiodivMap: an-R Package for  $\alpha$ - and  $\beta$ -Diversity Mapping Using Remotely Sensed Images.
- Féret, J., Asner, G. (2014). Mapping Tropical Forest Canopy Diversity Using High - Fidelity Imaging Spectroscopy. *Ecological Applications*, 24(6), 1289-1296. <https://doi.org/10.1890/13-1824.1>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). Assessing Forest Degradation. Towards the Development of Globally Applicable Guidelines. Roma-Italia.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú. Roma-Italia.
- Forest Trends y Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA). (2016). Informe Nacional REDD+: Perú Seguimiento al Financiamiento para REDD+ Periodo 2009-2014.
- Fraser R. H., I. Olthof, M. Carrière, A. Deschamps & D. Pouliot. (2011). Detecting Longterm Changes to Vegetation in Northern Canada Using the Landsat Satellite Image Archive. *Environmental Research Letters* 6: 045502



- Toskano, G. (2005). El proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Monografía para optar por el título profesional de Licenciado en Investigación Operativa. UNMS.
- Gonzalez-Ollauri, A., Mickovski, S. (2017). Shallow Landslides as Drivers for Slope Ecosystem Evolution and Biophysical Diversity. *Landslides*. DOI 10.1007/s10346-017-0822-y
- Jenness, J. (2006). Topographic Position Index (tpi\_jen.avx) extension for ArcView 3.x, v. 1.3a. Jenness Enterprises.
- Kennedy, C., Oakleaf, J., Theobald, D., Baruch-Mordo, S., Kiesecker, J. (2018). Global Human Modification. Figshare. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7283087.v1>
- Kennedy, C., Oakleaf, J., Theobald, D., Baurch-Murdo, S., Kiesecker, J. (2019). Managing the Middle: A Shift in Conservation Priorities Based on the Global Human Modification Gradient. *Global Change Biology* 00:1-16. <https://doi.org/10.1111/gcb.14549>
- Ley N.º28611, Ley General del Ambiente. Diario El Peruano, Lima, Perú, 15 de octubre del 2005.
- Marchi, M., Ducci, F. (2018). Some Refinements on Species Distribution Models Using Tree-Level National Forest Inventories for Supporting Forest Management and Marginal Forest Population Detection. *iFor* 1441-011. Vol.11, pp. 291-299.
- Matteucci, D., Colma, A. (1982). Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C., 168 pp.
- Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). (2015). Actualización de unidades hidrográficas y codificación de fuentes de agua superficial en ámbitos de administraciones locales de agua. Memoria descriptiva.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2015). Guía de inventario de la flora y vegetación. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2016). Resolución Ministerial N° 183 – 2016 – MINAM Guía complementaria para la compensación ambiental: Ecosistemas Altoandinos. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2017). Anexo 2: Programa Presupuestal N° 0144: Conservación y uso sostenible de ecosistemas para la provisión de servicios ecosistémicos. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM) y A. Tovar. (2018). Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2018). Guía metodológica para la evaluación del estado de los ecosistemas bosque húmedo de la llanura amazónica. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2018). Mapa nacional de ecosistemas del Perú. Memoria descriptiva. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Estudio para la identificación de áreas degradadas y propuesta de monitoreo. (Versión preliminar). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Guía de campo para la validación de las áreas degradadas identificadas en los ecosistemas a nivel nacional. (Versión preliminar). Lima, Perú.

- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Guía de caracterización para la priorización de áreas degradadas. (Versión preliminar). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). INFORME N.º 00005-2019-MINAM/VMDERN/DGOT-GIRN/DMERNT-TRPR: Evaluación de la exactitud temática de la identificación de áreas degradadas (diseño de muestreo, respuesta y exactitud). Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2019). Memoria descriptiva: Mapa nacional de identificación de áreas degradadas en ecosistemas terrestres. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2018). Guía metodológica de evaluación del estado de los ecosistemas de bofedal. Lima, Perú.
- Mukherjee, S., Mukherjee, S., Garg R., Bhardwaj, A., Raju P. (2013). Evaluation of Topographic Index in Relation to Terrain Roughness and DEM Grid Spacing. *J. Earth Syst. Sci.* 122, No. 3, pp. 869-886.
- Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín. (2019). Diagnóstico inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca (p. 151). Lima, Perú.
- Observatorio Internacional de Ciudadanía y Medio Ambiente Sostenible (CIMAS). (2009). Manual de metodologías participativas. Madrid, España.
- Ochoa, J., Germán, I. (2003) Flora introducida en el Santuario Histórico de Machu Picchu: Inventario y prioridades de manejo para la conservación de la biodiversidad. *Ecología en Bolivia*, 38(2): 141-160.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). Los bosques y el cambio climático en el Perú. Bosques y cambio climático: Documento de Trabajo N° 14. Lima, Perú.
- Orr, B. J., A. L. Cowie, V. M. Castillo Sánchez, P. Chasek, N. D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, G. I. Metternicht, S. Minelli, A. E. Tengberg, S. Walter & S. Welton. (2017) Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD), Bonn, Germany.
- Palmer, M., Earls, P., Hoagland, B., White, P., Wohlgemuth, T. (2002). Quantitative Tools for Perfecting species lists. *Environmetrics* 13, 121-137. <https://doi.org/10.1002/env.516>
- Pekel, J., Cottam, A., Gorelick, N., Belward, A. (2016). High-Resolution Mapping of Global Surface Water and it's Long-Term Changes. *Nature* Vol. 540.
- Quiroga, R. (2009). Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe. Naciones Unidas. Santiago de Chile, Chile.
- Saaty, R. (1987). The Analytic Hierarchy Process – What it is and How it is Used. *Mathl Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161-176.
- Robinson, T., William, G., Conchedda, G., Van Boeckel, T., Ercoli, V., Palamara, E., Gilbert, M. (2014) Mapping the Global Distribution of Livestock. *PLoS ONE*, 9, e96084.
- Rocchini, D. *et. al.* (2010). Remotely Sensed Spectral Heterogeneity as a Proxy of Species Diversity: Recent Advances and Open Challenges. *Ecol. Inform.* 5, 318-329.

- Ruiz, L. (2018). Guía Herramientas metodológicas para evaluar el estado de degradación de las tierras y su aplicación en instrumentos de planificación territorial. Colombia.
- Salinas-Melgoza, M., Skutsch, V., Lovett, J. (2018). Predicting Aboveground Forest Biomass with Topographic Variables in Human-Impacted Tropical Dry Forest Landscapes. *Ecosphere* Vol. 9(1).
- Sabino Rojas, E., F. Obando, Osar G., Lavado-Casimiro. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. <https://hdl.handle.net/20.500.12542/261>.
- Soliz, F. y Maldonado, A. (2012). Guía 5 \* Guía de metodologías comunitarias participativas. Edición Clínica Ambiental. Ecuador.
- Stavi, I., Lal, R. (2014). Achieving Zero Net Land Degradation: Challenges and Opportunities. *Journal of Arid Environments*. 112. 10.1016/j.jaridenv.2014.01.016.
- Saaty, T. (1977). A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15, 234-281.
- Saaty, T. (1994). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, pp. 19-43.
- Tipper, R. (1998). Update on Carbon Offsets. *Tropical Forest Update* 8(1): 2-5.
- Torres, J., Guevara, A. (2002) El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica INE* n. 63.
- Waldner, F., Fritz, S., Di Gregorio, A., Plotnikov, D., Bartalev, S., Kussul, N., Defourny, P. (2016). A Unified Cropland Layer at 250 m for Global Agriculture Monitoring.
- Weiss, A. (2001). Topographic Position and Landforms Analysis. Poster Presentation, ESRI User Conference, San Diego, CA.



# ANEXOS

Foto: Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.







# ANEXO I.

## ESTUDIO DE CASOS APLICANDO LA GUÍA METODOLÓGICA DE IDENTIFICACIÓN, CATEGORIZACIÓN Y PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

Se incluyen como anexos tres casos prácticos resultantes de la aplicación de la mejora metodológica y la priorización en las cuencas de Chira-Piura (Piura), Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro (Lima y Junín) y Urubamba-Vilcanota (Cusco), realizados con la participación de los gobiernos regionales correspondientes.

### LA METODOLOGÍA SE APLICÓ EN CUENCAS DE LOS SIGUIENTES DEPARTAMENTOS:

#### PIURA: LINK DE DESCARGA



ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA CHIRA - PIURA



ACCESO A LA BASE DE DATOS ESPACIAL Y TABLAS PAD

#### CUSCO: LINK DE DESCARGA



ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA VILCANOTA - URUBAMBA



ACCESO A LA BASE DE DATOS ESPACIAL Y TABLAS PAD

#### LIMA: LINK DE DESCARGA



ESTUDIO DE CASO EN LA CUENCA CHILLÓN - RÍMAC - LURÍN - ALTO MANTARO



ACCESO A LA BASE DE DATOS ESPACIAL Y TABLAS PAD

## ANEXO II. EJERCICIO DE OBTENCIÓN DE VALOR PARA LA PRIORIZACIÓN DE ÁREAS DEGRADADAS

En este ejercicio se toma como ejemplo el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayan con el objeto de intervención del recurso hídrico. Asimismo, las fórmulas se explican con los valores de las variables que están dentro de las líneas punteadas.

El valor de priorización se genera por medio de la Tabla PAD y es el resultado de la sumatoria todos los valores de los indicadores provenientes de un distrito/UTI.

**TABLA 22. CATEGORÍA DE DEGRADACIÓN EN EL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Categoría de degradación (Área degradada)			
	Alto	Medio	Bajo	Crítico
Santa Bárbara de Carhuacayan	67.50	574.20	2411.91	1.98
Total del área degradada del área de estudio	4041.18	12764.61	42440.04	535.5

Fuente: MINAM.

La tabla de categoría de degradación contiene los valores de los indicadores en hectáreas, así como el total de hectáreas degradadas del área de estudio (para este, caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro). Para este caso se calculará la variable Alto.

**TABLA 23. PUNTAJES DE CATEGORÍA DE DEGRADACIÓN EN EL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Puntaje de Categoría de degradación			
	Alto (17.02)	Medio (10.88)	Bajo (7.56)	Crítico (2.00)
Santa Bárbara de Carhuacayan	0.28	0.49	0.43	0.01

Fuente: MINAM.



Para obtener el puntaje Alto de categoría de degradación se divide las hectáreas degradadas del indicador alto entre el total de hectáreas degradadas de la variable en el área de estudio. El resultado es multiplicado por el peso que le corresponde.

$$\text{Categoría de degradación alto} = \frac{67.50}{4041.18} * 17.02$$

$$\text{Categoría del estado de conservación alto} = 0.28$$

**TABLA 24. POSICIÓN DE ELEVACIÓN DE MICROCUENCA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Hidrografía - Hidrogeología			
	Posición de elevación de microcuenca (Área degradada)			
	Alto	Media alto	Medio	Bajo
Santa Bárbara de Carhuacayan	3056.22	0.00	0.00	0.00
Total del área degradada del área de estudio	22935.96	3387.33	7807.23	25640.28

Fuente: MINAM.

La tabla de posición de elevación de microcuenca contiene los valores de los indicadores en hectáreas, así como el total de hectáreas degradadas del área de estudio (para este caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro). Para este caso se calcula la variable alto.

**TABLA 25. PUNTAJE DE LA POSICIÓN DE ELEVACIÓN DE MICROCUENCA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Hidrografía - Hidrogeología			
	Puntaje de la posición de relativa en la cuenca			
	Alto (12.01)	Medio alto (5.61)	Medio (2.51)	Bajo (1.17)
Santa Bárbara de Carhuacayan	1,60	0.00	0.00	0.00

Fuente: MINAM.

Para obtener el puntaje alto de posición de elevación de microcuenca se divide las hectáreas degradadas de la variable alto entre el total de hectáreas degradadas del indicador en el área de estudio. El resultado es multiplicado por el peso que le corresponde.

*Posición relativa de la cuenca* =  $\frac{3056.22}{22935.96} * 12.01$

*Posición relativa de la cuenca* = 1.6

**TABLA 26. HIDROGEOLOGÍA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Hidrografía - Hidrogeología			
	Hidrogeología (Área degradada)			
	Acuíferos	Acuitardos	Acuicludos	Acuífugos
Santa Bárbara de Carhuacayan	1276.11	1780.83	0.00	0.00
Total de área degradada del área de estudio	16738,65	42946,38	0,00	0,00

Fuente: MINAM.

La tabla de hidrogeología contiene los valores de los indicadores en hectáreas, así como el total de hectáreas degradadas del área de estudio (para este caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro). Para este caso se calcula la variable acuíferos.

**TABLA 27. PUNTAJE DE LA HIDROGEOLOGÍA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Hidrografía - Hidrogeología			
	Hidrogeología (Área degradada)			
	Acuíferos (4.06)	Acuitardos (2.15)	Acuicludos (0.67)	Acuífugos (0.21)
Santa Bárbara de Carhuacayan	0.31	0.09	0.00	0.00

Fuente: MINAM.

Para obtener el puntaje de acuíferos en hidrogeología, se divide las hectáreas degradadas del indicador entre el total de hectáreas degradadas de la variable en el área de estudio. El resultado es multiplicado por el peso que le corresponde.

$$Acuíferos = \frac{1276.11}{16738.65} * 4.06$$
$$Acuíferos = 0.31$$

TABLA 28. PUNTAJE DE SS.EE. DE REGULACIÓN HÍDRICA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN

UTI	Ecosistemas como servicio	
	Nº de ecosistemas importantes para regulación hídrica (Máximo 10)	Total de área degradada del UTI
Santa Bárbara de Carhuacayan	3	3055.59
Total de área degradada del área de estudio	59781.33	

Fuente: MINAM.

La tabla de hidrogeología contiene los valores de los indicadores en hectáreas, así como el total de hectáreas degradadas del área de estudio (para este caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro).

TABLA 29. PUNTAJE DE S.E. DE REGULACIÓN HÍDRICA DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN

UTI	Ecosistemas como servicio
	Ecosistemas importantes para regulación hídrica
	17.91
Santa Bárbara de Carhuacayan	0.58

Fuente: MINAM.

Para obtener el puntaje del SSEE de regulación hídrica se divide el número de ecosistemas de importancia hídrica en el área de estudio entre el número máximo de ecosistemas de importancia hídrica total. Luego, el valor obtenido se multiplica por el factor de área degradada (usado para ajustar proporcionalmente el área degradada de un UTI con respecto al área de estudio) y, al final, se multiplica por el peso que le corresponde.

*Factor de área degradada* =  $\left(\frac{3053.59}{59781.33}\right)$

*Factor de área degradada* = 0.05

*Servicio de provisión* =  $\left(\frac{3}{10}\right) * 17.91 * \text{Factor de área degradada}$

*Servicio de provisión* = 5.37 \* 0.05

*Servicio de provisión* = 0.27

**TABLA 30. ECOSISTEMAS FRÁGILES COMO BIEN DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Ecosistemas frágiles como bien
	Áreas degradadas (ha)
Santa Bárbara de Carhuacayan	302.94
Total de Área degradada (ha) del área de estudio	939.96

Fuente: MINAM.

La tabla de ecosistemas frágiles como bien contiene el valor en hectáreas, así como el total de hectáreas degradadas del área de estudio (para este caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro).

**TABLA 31. PUNTAJE DE ECOSISTEMAS FRÁGILES COMO BIEN DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Ecosistemas frágiles como bien
	Ecosistemas frágiles
	10.64
Santa Bárbara de Carhuacayan	3.43

Fuente: MINAM.



Para obtener el puntaje de ecosistemas frágiles se divide las hectáreas degradadas del indicador en el UTI entre el total de hectáreas degradadas del mismo indicador en el área de estudio. El resultado es multiplicado por el peso que le corresponde.

*Degradación en ecosistemas frágiles* =  $\left(\frac{302.94}{939.96}\right) * 10.64$

*Degradación en ecosistemas frágiles* = 3.43

**TABLA 32. DESARROLLO HUMANO DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Desarrollo humano	
	Índice de Desarrollo Humano	Total de área degradada del distrito/UTI
Santa Bárbara de Carhuacayan	0.43	3055.59
Total de áreas degradadas (ha) del área de estudio	59781.33	

Fuente: MINAM.

La tabla desarrollo humano el índice de desarrollo humano del UTI, así como el total de hectáreas degradadas del UTI y del área de estudio (para este caso la cuenca Chillón-Rímac-Lurín-Alto Mantaro).

**TABLA 33. PUNTAJE DEL DESARROLLO HUMANO DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

UTI	Desarrollo humano	
	5.59	
Santa Bárbara de Carhuacayan	0.16	

Fuente: MINAM.

Para obtener el puntaje de desarrollo humano se calcula el complemento del índice. Luego es multiplicado por el factor de área degradada y por el peso que le corresponde.

*Factor de área degradada* =  $\left(\frac{3055.59}{59781.33}\right)$

*Factor de área degradada* = 0.05

*Complemento del índice de desarrollo humano* =  $(1 - 0.43)=0.57$

*Índice de desarrollo humano* =  $0.57 * \text{factor de área degradada} * \text{peso}$

*Índice de desarrollo humano* =  $0.57 * 0.05 * 5.59$

*Índice de desarrollo bajo* = 0.16

**TABLA 34. PUNTAJES DEL UTI SANTA BÁRBARA DE CARHUACAYAN**

Área de estudio de la Cuenca Urubamba - Vilcanota							
Unidad Territorial de Intervención	Área degradada de la UTI (ha)	Categoría de degradación	Hidrografía e hidrogeología	Ecosistemas como Servicios	Ecosistemas frágiles como bien	Desarrollo humano	Valor de priorización
Santa Bárbara de Carhuacayan	3055.59	1.21	2.00	0.27	3.43	0.16	7.08

Fuente: MINAM.

La sumatoria de todos los puntajes obtenidos de las variables dan como resultado el valor para la priorización del UTI. En este caso, para el distrito de Santa Bárbara de Carhuacayan le corresponde el valor de **7.08**.

## ANEXO III.

# SCRIPT DE PROCESAMIENTO EN R Y GEE

**TABLA 2. SCRIPT EN GEE PARA CORREGIR EL ENMASCARAMIENTO DE PÍXELES**

```
//-----//
// 1. FUNCIONES DE QA //
//-----//
//MASCARA SATURADA(L5/7)
var maskSaturate57 = function(image){
  image = image.select('B3', 'B4');
  var mask = image.lt(10000).and(image.gte(0));
  return image.updateMask(mask);
}
//MASCARA SATURADA (L8)
var maskSaturate8 = function(image){
  image = image.select('B4', 'B5');
  var mask = image.lt(10000).and(image.gte(0));
  return image.updateMask(mask);
}
//MASCARA PIXEL (L8)
var maskPixels8 = function(image){
  var pixel_qa = image.select('pixel_qa');
  var mask = pixel_qa.eq(322);
  return image.updateMask(mask);
}
//MÁSCARA PIXEL (L5/L7)
var maskPixels57 = function(image){
  var pixel_qa = image.select('pixel_qa');
  var mask = pixel_qa.eq(66);
  return image.updateMask(mask);
}
//MASCARA AEROSOL (L8)
var maskAerosol = function(image){
  var aero_qa = image.select('sr_aerosol'); var mask = aero_qa.neq(194).and(aero_qa.neq(224)).
  and(aero_qa.neq(160)).and(aero_qa.neq( 130));
  return image.updateMask(mask); }
//MASCARA DE OPACIDAD ATMOSFERICA (L5/L7) -para deshacerse de la bruma
var maskHaze = function(image){
  //Seleccionar banda y multiplicar por factor de escala
  var atmos_qa = image.select('sr_atmos_opacity').multiply(0.0010);
  //Máscara para píxeles no borrosos y eliminar valores de relleno
  var mask = atmos_qa.lte(0.1).and(atmos_qa.gt(-9.9));
  return image.updateMask(mask);
}
```

**TABLA 3. SCRIPT EN GEE PARA CALCULAR EL NDVI ANUAL**

```
//-----//
// 2. FUNCIONES NDVI //
//-----//
//FUNCIONES NDVI
var getNDVI57 = function(image) {
//Aplicar función saturación
image = maskSaturate57(image);

var nir = image.select('B4');
var red = image.select('B3');
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('nd');
return(ndvi);
}
var getNDVI8 = function(image){ //aplicar funciones de saturación
image = maskSaturate8(image);
var nir = image.select('B5');
var red = image.select('B4');
var ndvi = nir.subtract(red).divide(nir.add(red)).rename('nd');
return(ndvi);
}
//-----//
// 3. FUNCIONES DE CALIBRACIÓN DEL SENSOR //
//-----//
//Función coeficiente (L5)
var applyCoefficientL5 = function(image){
var image_adjusted = image.select('nd').multiply(1.036);
return(image_adjusted); }
//Función coeficiente (L8)
var applyCoefficientL8 = function(image){
var image_adjusted = image.select('nd').multiply(1.0863);
return(image_adjusted);
}
//-----//
// 4. FUNCIÓN PRINCIPAL //
//-----//
var createNDVicomposite = function(){
//Establecer rango de años
var yearrangeStart = 1989;
var yearrangeStop = 2019;
//Bucle a través de los years
for(var loopYear = yearrangeStart; loopYear <= yearrangeStop; loopYear +=1){
//Establecer el rango de fechas del año
var start = ee.Date.fromYMD(loopYear, 7, 1);
var end = ee.Date.fromYMD(loopYear, 8, 31);
```





```

//Landsat 8
var l8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
//Filtro AOI (importado en la parte superior)
.filterBounds(MainProject)
//Solo julio y agosto
.filterDate(start, end)
//Filtrar CLOUD_COVER
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 80)
//Aplicar máscara de píxeles
.map(maskPixels8)
//Aplicar mascarilla en aerosol
.map(maskAerosol)
//Calcular NDVI
.map(getNDVI8)
//Aplicar coeficiente de calibración del sensor
.map(applyCoefficientL8);
//Landsat7
var l7 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C01/T1_SR")
//Filtro AOI (importado en la parte superior)
.filterBounds(MainProject)
//Solo julio y agosto
.filterDate(start, end)
//filtro CLOUD_COVER
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 80)
//Aplicar máscara de píxeles
.map(maskPixels57)
//Aplicar Haze Mask
.map(maskHaze)
//Calcular NDVI
.map(getNDVI57);
//Landsat5
var l5 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR")
//Filtro AOI (importado en la parte superior)
.filterBounds(MainProject)
//Solo julio y agosto
.filterDate(start, end)
//Filtrar CLOUD_COVER
.filterMetadata('CLOUD_COVER', 'less_than', 80)
//Aplicar máscara de píxeles
.map(maskPixels57)
//Aplicar Haze Mask
.map(maskHaze)
//Calcular NDVI

```



```
.map(getNDVI57)
//Aplicar coeficiente de calibración del sensor
.map(applyCoefficientL5);
//Fusionar colecciones
var mergedCollection = ee.ImageCollection(l8.merge(l7).merge(l5));

//Cree un compuesto con mediana, recorte a AOI y cambie el nombre de la banda se-
gún el año
var finalOutput = mergedCollection.reduce(ee.Reducer.median()).clip(MainProject).
rename(loopYear.toString());

//Generar nombre de archivo para exportar
var filename = ("ndvi").concat(loopYear.toString());
//Agregar al mapa //
Map.addLayer(finalOutput, {}, filename,1);

//exportar para conducir el dnvi por año
Export.image.toDrive({
image: finalOutput,
description: filename,
folder:'GEEData',
//La resolución del Landsat es de 30 m.
scale: 30,
region: MainProject,
//Proyección LCC_MNRF
crs: 'EPSG:32718'
})

}
//fin del ciclo
}
//-----//
// 5. EJECUCIÓN DE LA FUNCIÓN PRINCIPAL //
//-----//

var comp = createNDVIComposite();
```

**TABLA 4. SCRIPT DE ANÁLISIS DE SERIES TEMPORALES EN CRAN R**

```
#####
## Análisis TSA ##
#####
## Adaptación en base a Krystal Lan ##
## Ryan Whaley ##
#####

#####
## 1. Instalar paquetes requeridos ##
#####
# descomponer (eliminar #) si es necesario instalar estos paquetes
# install.packages("raster")
# install.packages("rkt")
#####
## 2. Cargue los paquetes requeridos ##
#####
require(raster)
require(rkt)
#####
## 3. Establecer preferencias de memoria ##
## (esto puede mejorar el tiempo de ejecución) #####
rasterOptions(maxmemory=1e+06, chunksize=1e+07, progress = 'text')
message("Memory preferences set.")
#####
## 4. Análisis principal ##
#####
# Establecer directorio de trabajo (ubicación de rásteres)
setwd("G:/Mi unidad/GEEDData")
# Establecer el directorio de salida (donde irán los resultados)
results <-"D:/WorkTemp/Rdegradaction"
message("Saving results to ", results)
# Apilar los rásters y luego agréguelos al bloque
stacked_files <-stack(list.files(pattern = ".tif"))
bricked_files <-brick(stacked_files)
# Eliminar archivos innecesarios de la memoria
rm(stacked_files)
gc()
# Establecer rango de años para el análisis
years <-seq(1989, 2019)
message("Beginning analysis.")
# Función de análisis
rktFun <-function(x) {
  if(all(is.na(x))){
    c(NA,NA,NA)
  } else {
```



```

analysis <-rkt(years, x)
a <-analysis$B # theil sen slope
b <-analysis$sl # pvalue
c <-analysis$tau # tau
return(cbind(a, b, c))
} }

# Ejecutar función de análisis en bloque
rRaster <-calc(bricked_files, rktFun)
message("Analysis complete. Now writing results.")
# Escribir en la carpeta de resultados
writeRaster(rRaster[[1]], paste0(results,"/ts_slope.tif"), overwrite=T)
writeRaster(rRaster[[2]], paste0(results,"/mk_pvalue.tif"), overwrite=T)
writeRaster(rRaster[[3]], paste0(results,"/mk_tau.tif"), overwrite=T)
#####
## 5. Enmascaramiento de valor P ##
#####
message("Now creating p-value masks.")
# cargue raster tau
tau <-raster(paste0(results, "/mk_tau.tif"))
# Establecer valores p para crear máscaras
p_values <-c(0.01, 0.05, 0.1)
# produciendo una máscara para cada bucle a través de los valores de p,
for(i in 1:length(p_values)){
# Cargue el ráster de valor P
p_value_raster <-raster(paste0(results, "/mk_pvalue.tif"))
# Seleccione el valor p actual
p_val <-p_values[[i]]
# Create string vers for filenames
p_val_str <-gsub("\\.", "", as.character(p_val))
# Mascara
p_value_raster[p_value_raster > p_val] <-NA
p_masked <-mask(tau, p_value_raster)
# Escribir resultado
writeRaster(p_masked, paste0(results, "/pvalue_mask", p_val_str, ".tif"),
overwrite = TRUE)

# Limpiar
rm(p_masked, p_value_raster)
gc()
}
rm(tau)
gc()
#####
## 6. Mascara P-Value con Tau significativo ##
## Nota: Debe ejecutarse después de la sección 5##
#####
message("Now creating sigTau masks.")

```





```

# Aislar valores de tau> 0.4 y <-0.4
sigTau <-raster(paste0(results, "/mk_tau.tif"))
sigTau[sigTau>(-0.4) & sigTau<0.4] <-NA
# Recorre los valores p, produciendo una máscara para cada
for(i in 1:length(p_values)){
  # Seleccione el valor p actual
  p_val <-p_values[[i]]
  # Crear vers de cadena para nombrar archivos
  p_val_str <-gsub("\\.", "", as.character(p_val))
  # Leer el ráster actual del valor p
  p_value_raster <-raster(paste0(results, "/pvalue_mask", p_val_str,
".tif"))
  # Enmascarar tau significativo con ráster de valor p
  tau_masked <-mask(sigTau, p_value_raster)
  # Escribir resultado
  writeRaster(tau_masked, paste0(results, "/tau_mask", p_val_str, ".tif"),
  overwrite = TRUE)
  # limpiar
  rm(p_value_raster, tau_masked)
  gc()
}

#####
## 7. Análisis (agregado)##
#####
# agregación de datos por año
#brickr.agg <-cellStats(bricked_files, mean)
#message(brickr.agg)
#aggR <-rkt(years, brickr.agg)
#message(aggR)

```

**TABLA 5. SCRIPT PARA LA DETECCIÓN DE LA DEGRADACIÓN EN GEE**

```
// -----Definición de parámetros-----
// Insertar los polígonos de región de interés:
var Perú = ee.FeatureCollection("users/jromualdo98/Limites_dptos_MINAM");
var DEPARTAMENTO = "Ucayali";
var roi = Perú.filterMetadata('Nomb_Dpto','EQUALS',DEPARTAMENTO);
Map.addLayer(roi,{},'Área de interés',true,0.6);
Map.centerObject(roi, 10);

// Definir periodo de análisis de la serie de tiempo y el porcentaje de nubosidad:
var year_ini = '1989';
var year_end = '2020';
var cloud_cover = 20;
var Zcrit = -1.96

//-----Funciones a utilizar-----
// Enmascaramiento de cuerpos de agua
var gsw = ee.Image('users/jromualdo98/Máscara_degradación');
var waterMask = function(image){
  var water_mask = gsw.eq(0);
  return image.updateMask(water_mask);
};

// Enmascaramiento de nubes Landsat 5-7
var cloudMaskL57 = function(image){
  var qa = image.select('pixel_qa');
  var my_mask = (1 << 3) + (1 << 5) + (1 << 7);
  var mask = qa.bitwiseAnd(my_mask).eq(0);
  return image.updateMask(mask);
};

// Enmascaramiento de nubes Landsat 8
var cloudMaskL8 = function(image){
  var qa = image.select('pixel_qa');
  var my_mask = (1 << 3) + (1 << 5) + (1 << 7) + (1 << 9) + (1 << 10);
  var mask = qa.bitwiseAnd(my_mask).eq(0);
  return image.updateMask(mask);
};

// NDVI Landsat 5-7-8
var ndvi_L578 = function(image){
  var ndvi = image.normalizedDifference(['nir','red']).multiply(100).rename('NDVI');
  return image.addBands(ndvi).copyProperties(image, ["system:time_start"]);
};

// Añadir el tiempo de la imagen como banda
var addTime = function(image){
  return image.addBands(image.metadata('system:time_start')
    .divide(1000 * 60 * 60 * 24 * 365));
};

//-----Procesamiento de imágenes-----
// Bandas a usar
var band_I57 = ee.List(['B1','B2','B3','B4','B5','B7','B6','pixel_qa']);
var band_I8 = ee.List(['B2','B3','B4','B5','B6','B7','B10','pixel_qa']);
var nbands = ee.List(['blue','green','red','nir','swir1','swir2','thermal','pixel_qa']);

// Colecciones de imágenes
var L5 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_SR")
  .select(band_I57,nbands)
  .map(cloudMaskL57);
var L7 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LE07/C01/T1_SR")
```

```

        .select(band_L57,nbands)
        .map(cloudMaskL57);
var L8 = ee.ImageCollection("LANDSAT/LC08/C01/T1_SR")
        .select(band_L8,nbands)
        .map(cloudMaskL8);
// Juntando las colecciones
var collection = L5.merge(L7).merge(L8)
        .filterBounds(roi)
        .filterDate(year_ini+'-01-01',year_end+'-12-31')
        .filterMetadata('CLOUD_COVER','less_than',cloud_cover)
        .map(ndvi_L578)
        .map(addTime);
//.map(waterMask);

// Calculating year wise NDVI
var year = ee.List.sequence(1989,2020);
var year_func = function(y){
    var range = ee.Filter.calendarRange (y, y, 'year');
    var clip = collection.filter(range).mean().clip(roi);
    var ndvi = clip.select("NDVI");
    return ndvi.set("Year", y)
};

// Crear un image collection con todas las imágenes
var ndvi_ts = ee.ImageCollection(year.map(year_func));
print(ndvi_ts)
// -----
// Creando la 'matriz' uniendo la colección a la misma colección
var afterFilter = ee.Filter.lessThan({
    leftField: 'Year',
    rightField: 'Year'
});

var joined = ee.ImageCollection(ee.Join.saveAll('after').apply({
    primary: ndvi_ts,
    secondary: ndvi_ts,
    condition: afterFilter
}));

// -----
// Prueba de tendencia de Mann Kendall
var sign = function(i, j) { //Funcion signo !
    return ee.Image(j).neq(i)
        .multiply(ee.Image(j).subtract(i).clamp(-1, 1)).int());
};

var kendall = ee.ImageCollection(joined.map(function(current) {
    var afterCollection = ee.ImageCollection.fromImages(current.get('after'));
    return afterCollection.map(function(image) {
        return ee.Image(sign(current, image)).unmask(0);
    });
}));
// Set parallelScale to avoid User memory limit exceeded.
}).flatten().reduce('sum', 2);
//Visualización!!
// var palette = ['red', 'white', 'green'];
// Map.addLayer(kendall, {palette: palette}, 'kendall');
// print(kendall)

// -----
// Varianza del estadístico de Mann Kendall.
var factors = function(image) {
    return image.expression('b() * (b() - 1) * (b() * 2 + 5)');
};

```



```

var count = joined.count();
var kendallVariance = factors(count)
    .divide(18)
    .float();
    // Visualización!!
    // Map.addLayer(kendallVariance, {}, 'kendallVariance');

// -----
// Prueba de significancia (Z)
var zero = kendall.multiply(kendall.eq(0));
var pos = kendall.multiply(kendall.gt(0)).subtract(1);
var neg = kendall.multiply(kendall.lt(0)).add(1);

var z = zero
    .add(pos.divide(kendallVariance.sqrt()))
    .add(neg.divide(kendallVariance.sqrt()));
// Visualización
Map.addLayer(z, {min: -2, max: 2}, 'z',0);
print(z)

// -----
// Estadísticas del NDVI por ecosistema
var moq_ecos = ee.FeatureCollection("users/jromualdo98/eco_moq_shp");
var ndvi_mean = ndvi_ts.mean()
// var estadísticas = ndvi_mean.reduceRegions({
//   reducer: ee.Reducer.mean(),
//   collection: moq_ecos,
//   scale: 30
// });
// print(estadísticas)

// -----
// Enmascarando valores con tendencia significativa
var degraZ = z.lt(Zcrit).and(ndvi_mean.gt(4.05)); // Confianza al 95%
var degraMK = degraZ.updateMask(degraZ).rename('DegradaciónMK');
var palette_ad = ['#ffffff', '#ff0000'];
Map.addLayer(degraMK, {palette: palette_ad}, 'Área degradada', true, 0.6);
Map.centerObject(roi, 5)

// -----
// Hallar el total de áreas degradadas en Hectáreas
var área_image = degraMK.multiply(ee.Image.pixelArea())
var área_píxeles = área_image.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  geometry: roi,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e10
}).get('DegradaciónMK');
var área_ha = ee.Number(area_píxeles).divide(1e4)
print('Total de áreas degradadas: ', área_ha)

// -----
// Exportar imagen al drive !
var crs = 'EPSG:32718';
Export.image.toDrive({
  image: degraMK,
  description: 'Degradación2020_mean_mask',
  maxPixels: 1e9,
  crs: crs,
  región: roi,
  scale: 250
});

```





PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

Ministerio del Ambiente  
Av. Antonio Miroquesada 425  
Magdalena del Mar, Lima - Perú  
(511) 611 - 6000  
[www.gob.pe/minam](http://www.gob.pe/minam)

Con el apoyo de:



USAID  
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS  
UNIDOS DE AMÉRICA

Canada



FOREST  
TRENDS



CONDESAN



SPDA



EcoDecisión

Imperial College  
London