

Escuela de Posgrado

MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y
DESARROLLO SOSTENIBLE

Tesis

**Relación entre la información geoespacial de la
infraestructura natural y las iniciativas de inversión en
los servicios ecosistémicos del Perú, 2023**

Wilmer Evacio Perez Vilca
Alex Roger Zambrano Ramirez

Para optar el Grado Académico de
Maestro en Ciencias con Mención en
Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible

Lima, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ANEXO 6

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Mg. JAIME SOBRADOS TAPIA
Director Académico de la Escuela de Posgrado
DE : **M.Sc. LESLIE CRISTINA LESCANO BOCANEGRA**
Asesor del Trabajo de Investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de Trabajo de Investigación
FECHA : **15 DE MAYO DEL 2024**

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado Asesor del Trabajo de Investigación titulado "**RELACIÓN ENTRE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL DE LA INFRAESTRUCTURA NATURAL Y LAS INICIATIVAS DE INVERSIÓN EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL PERÚ, 2023**", perteneciente al **Bach. ALEX ROGER ZAMBRANO RAMIREZ, Bach. WILMER EVACIO PEREZ VILCA**, de la **MAESTRÍA EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE**; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado **20 %** de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: < 20) SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



M.Sc. LESLIE CRISTINA LESCANO BOCANEGRA
DNI. N° **01101040**

Arequipa
Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030

Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030

Huancayo
Av. San Carlos 1980
(064) 481 430

Cusco
Urb. Manuel Prado - Lote B, N° 7 Av. Collasuyo
(084) 480 070

Sector Angostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Saylla
(084) 480 070

Lima
Av. Alfredo Mendiolá 5210, Los Olivos
(01) 213 2760

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Wilmer Evacio Perez Vilca, identificada con Documento Nacional de Identidad N° 09571844, egresado de la MAESTRÍA EN CIENCIAS SOCIALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La Tesis titulada "RELACIÓN ENTRE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL DE LA INFRAESTRUCTURA NATURAL Y LAS INICIATIVAS DE INVERSIÓN EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL PERÚ, 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIAS SOCIALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE.
2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La Tesis es original e inédita, y no ha sido realizada, desarrollada o publicada, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicada ni presentada de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

Lima, 5 de diciembre de 2024.



Wilmer Evacio Perez Vilca
DNI. N° 09571844



Huella

Arequipa

Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030

Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030

Huancayo

Av. San Carlos 1980
(064) 481 430

Cusco

Urb. Manuel Prado - Lote B, N° 7 Av. Collasuyo
(084) 480 070

Sector Angostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Saylla
(084) 480 070

Lima

Av. Alfredo Mendiola 5210, Los Olivos
(01) 213 2760

Jr. Junín 355, Miraflores
(01) 213 2760

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, Alex Roger Zambrano Ramirez, identificada con Documento Nacional de Identidad N° 40906638, egresado de la MAESTRÍA EN CIENCIAS SOCIALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE, de la Escuela de Posgrado de la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La Tesis titulada "RELACIÓN ENTRE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL DE LA INFRAESTRUCTURA NATURAL Y LAS INICIATIVAS DE INVERSIÓN EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DEL PERÚ, 2023", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Grado Académico de MAESTRO EN CIENCIAS SOCIALES CON MENCIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE.
2. La Tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para lo cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La Tesis es original e inédita, y no ha sido realizada, desarrollada o publicada, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicada ni presentada de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

Lima, 5 de diciembre de 2024.



Alex Roger Zambrano Ramirez
DNI. N° 40906638



Huella

Arequipa

Av. Los Incas S/N,
José Luis Bustamante y Rivero
(054) 412 030

Calle Alfonso Ugarte 607, Yanahuara
(054) 412 030

Huancayo

Av. San Carlos 1980
(064) 481 430

Cusco

Urb. Manuel Prado - Lote B, N° 7 Av. Collasuyo
(084) 480 070

Sector Angostura KM. 10,
carretera San Jerónimo - Saylla
(084) 480 070

Lima

Av. Alfredo Mendiola 5210, Los Olivos
(01) 213 2760

Jr. Junín 355, Miraflores
(01) 213 2760

Turnitin Informe de tesis final Zambrano y Perez

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

21%

FUENTES DE INTERNET

12%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	3%
2	www.forest-trends.org Fuente de Internet	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositoriodigital.minam.gob.pe Fuente de Internet	1%
5	documentop.com Fuente de Internet	1%
6	purl.org Fuente de Internet	1%
7	qdoc.tips Fuente de Internet	1%
8	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1%
10	descarboniz.ar Fuente de Internet	<1%
11	recs.es Fuente de Internet	<1%
12	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1%

13	itdconsulting.com Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
15	repositorio.unheval.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
16	Santiago Izquierdo-Tort, Diego Restrepo-Zambrano, Suzanne Ozment, Natalia Acero et al. "Integrando Infraestructura Natural al Sistema de Abastecimiento de Agua de Bogotá", World Resources Institute, 2023 Publicación	<1 %
17	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1 %
18	explainedy.com Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Ministerio de Educación de Perú - COAR Trabajo del estudiante	<1 %
20	Anabella Montico, Paula Andrea Zapperi, Verónica Gil. "Water regulation ecosystem service facing cities growth. Evaluation of the effects of an urbanization scenario in an intermediate city, Argentina", Urban Water Journal, 2023 Publicación	<1 %
21	www.serfor.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
22	Paula Andrea Zapperi, Anabella Montico. "Manejo del escurrimiento de aguas pluviales desde la perspectiva de los servicios ecosistémicos. Análisis de su abordaje en	<1 %

ciudades capitales de la Argentina", Revista Geográfica de América Central, 2021

Publicación

23	www.calidda.com.pe Fuente de Internet	<1 %
24	Submitted to Universidad Cientifica del Sur Trabajo del estudiante	<1 %
25	www.munidesanmarcos.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
26	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %
27	bibliotecadigital.ciren.cl Fuente de Internet	<1 %
28	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
29	napglobalnetwork.org Fuente de Internet	<1 %
30	Submitted to Universidad Internacional de la Rioja Trabajo del estudiante	<1 %
31	Submitted to Universidad Nacional del Chimborazo Trabajo del estudiante	<1 %
32	www.merkle.com Fuente de Internet	<1 %
33	Submitted to Taylor's Education Group Trabajo del estudiante	<1 %
34	Submitted to UNIBA Trabajo del estudiante	<1 %
35	observatoriochirilu.ana.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

36	agrio.app Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.uct.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	rua.ua.es Fuente de Internet	<1 %
39	www.crautonomia.gov.co Fuente de Internet	<1 %
40	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
41	keneamazon.net Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.inaigem.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
43	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
44	Submitted to Pontificia Universidad Catolica de Chile Trabajo del estudiante	<1 %
45	repositorio.cepal.org Fuente de Internet	<1 %
46	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1 %
47	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
49	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

50	Submitted to unsaac Trabajo del estudiante	<1 %
51	www.laccei.org Fuente de Internet	<1 %
52	www.mef.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
53	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
54	prometheo.pe Fuente de Internet	<1 %
55	revistaselectronicas.ujaen.es Fuente de Internet	<1 %
56	un-page.org Fuente de Internet	<1 %
57	reddeapps.org Fuente de Internet	<1 %
58	repositorio.uchile.cl Fuente de Internet	<1 %
59	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
60	Submitted to uamerica Trabajo del estudiante	<1 %
61	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
62	webapps.ifad.org Fuente de Internet	<1 %

Asesor

Mg. Leslie Cristina Lescano Bocanegra

Agradecimiento

A la familia porque la espera valió el esfuerzo.

Dedicatoria

Alex: A Karin, Bastian y Valeria

Wilmer: A la familia.

Índice

Asesor	ii
Agradecimiento	iii
Dedicatoria	iv
Índice de Tablas	viii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
Introducción.....	xii
Capítulo I.....	13
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	13
1.1.1. Planteamiento del problema	13
1.1.2. Formulación del problema.....	15
1.2. Determinación de objetivos	15
1.2.1. Objetivo general.....	15
1.2.2. Objetivos específicos	15
1.3. Justificación e importancia del estudio	15
1.3.1. Justificación Teórica.....	16
1.3.2. Justificación metodológica.	17
1.3.3. Justificación Social.	17
1.4. Limitaciones de la presente investigación.....	18
Capítulo II.....	19
2.1. Antecedentes del problema.....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales	30
2.2. Bases teóricas	30
2.2.1. Información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.	30
2.2.2. Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.....	34
2.3. Definición de términos básicos	36
2.3.1. Cambio y uso de la tierra.....	36
2.3.2. Cobertura de la tierra	36

2.3.3.	Ecosistemas	36
2.3.4.	Ecosistemas degradados	36
2.3.5.	Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI).....	37
2.3.6.	Información geoespacial o geográfica.....	37
2.3.7.	Infraestructura natural.....	37
2.3.8.	Iniciativas de inversión pública	37
2.3.9.	Ordenamiento u ordenación territorial.....	38
2.3.10.	Planificación territorial.....	38
2.3.11.	Servicios ecosistémicos	38
2.3.12.	Servicio ecosistémico de regulación hídrica	39
2.3.13.	Soluciones basadas en la naturaleza	39
2.3.14.	Tecnologías geoespaciales	39
Capítulo III	40
3.1.	Hipótesis.....	40
3.1.1.	Hipótesis general	40
3.2.	Operacionalización de variables.....	40
3.2.1.	Variable 1	40
3.2.2.	Variable 2.....	40
3.2.3.	Matriz de operacionalización de variables.....	40
Capítulo IV	42
4.1.	Método y tipo de la investigación	42
4.1.1.	Método.....	42
4.1.2.	Alcance.....	42
4.2.	Diseño de la investigación	42
4.3.	Población y muestra	43
4.3.1.	Población	43
4.3.2.	Muestra.....	43
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
4.5.	Técnicas de análisis de datos	56
Capítulo V	64
5.1.	Resultados y análisis.....	64
5.1.1.	Áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. 64	

5.1.2. Relación entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial.....	68
5.1.3. Análisis de correlación entre la información geoespacial en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos de regulación hídrica.	77
5.1.4. Factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.....	80
5.1.5. Instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura natural.	85
5.2. Discusión de resultados.....	88
Conclusiones.....	93
Recomendaciones.....	95
Referencias bibliográficas	96
Anexos	101

Índice de Tablas

Tabla 1	41
Tabla 2	46
Tabla 3	70
Tabla 4	78
Tabla 5	79
Tabla 6	79
Tabla 7	83
Tabla 8	85
Tabla 9	87
Tabla 10	87
Tabla 11	88

Índice de Figuras

Figura 1	45
Figura 2	46
Figura 3	48
Figura 4	50
Figura 5	52
Figura 6	53
Figura 7	55
Figura 8	56
Figura 9	57
Figura 10	58
Figura 11	60
Figura 12	61
Figura 13	62
Figura 14	63
Figura 15	66
Figura 16	67
Figura 17	68
Figura 18	71
Figura 19	73
Figura 20	75
Figura 21	76
Figura 22	77
Figura 23	82

Resumen

La integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del territorio en el Perú constituye uno de los desafíos existentes para contribuir en las soluciones basadas en la naturaleza, en un contexto donde el marco normativo y técnico para efectuar inversiones en ecosistemas degradados es reciente. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la relación de la información geoespacial en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos a nivel nacional, con énfasis en lo relacionado a regulación hídrica. El método de investigación fue cuantitativo puesto que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos y estadísticos para medir las variables de interés y generalizar los hallazgos de una muestra a una población más amplia. Los resultados esperados de la investigación se dirigieron a identificar las áreas de interés determinadas para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, y establecer la relación entre, la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, con la disponibilidad de información geoespacial. La investigación permitió determinar 3,579,712.50 hectáreas como áreas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, equivalente al 2.79% de la superficie total del Perú, y se estableció la existencia de una correlación estadística muy débil a casi nula entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, respecto a la disponibilidad de información geoespacial. Los productos obtenidos en la investigación permitieron obtener información de utilidad para la planificación territorial de las iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, y contribuyeron a precisar la relación entre la disponibilidad de información geoespacial con este tipo de iniciativas de inversión.

Palabras claves:

Ecosistemas, infraestructura natural, regulación hídrica, planificación territorial, degradación de ecosistemas, inversiones, soluciones basadas en la naturaleza.

Abstract

The integration of ecosystem services in territorial planning in Peru constitutes one of the existing challenges to contribute to nature-based solutions, in a context where the regulatory and technical framework for making investments in degraded ecosystems is recent. The objective of this work was to determine the relationship of geospatial information in the formulation of investment initiatives in ecosystem services at the national level, with emphasis on matters related to water regulation. The research method was quantitative since it was based on the collection and analysis of numerical and statistical data to measure the variables of interest and generalize the findings of a sample to a broader population. The expected results of the research were aimed at identifying the areas of interest determined for the ecosystem service of water regulation and establishing the relationship between the number of investment initiatives with a Natural Infrastructure focus for the ecosystem service of water regulation, with the availability of geospatial information. The investigation allowed us to determine 3,579,712.50 hectares as areas of interest for the ecosystem service of water regulation, equivalent to 2.79% of the total surface of Peru, and the existence of a very weak to almost null statistical correlation was established between the number of investment initiatives with a Natural Infrastructure approach for the ecosystem service of water regulation, regarding the availability of geospatial information. The products obtained in the research made it possible to obtain useful information for the territorial planning of investment initiatives with a Natural Infrastructure approach for the ecosystem service of water regulation and contributed to specifying the relationship between the availability of geospatial information with this type of initiatives. investment.

Keywords:

Ecosystems, natural infrastructure, ecosystem service of water regulation, territorial planning, ecosystem degradation, investments, nature-based solutions.

Introducción

Nuestro país cuenta con alrededor de dos centenas de proyectos de inversión pública vinculados a atender los problemas derivados de la degradación de los 36 ecosistemas continentales identificados para el Perú, estimado en más de 19 millones de hectáreas, siendo los más degradados el bosque de colina baja (18.41%), el bosque basimontano de Yunga (15.41%), el bosque aluvial inundable (14.40%), el bosque montano de Yunga (10.88%), el bosque de colina alta (7.05%), el Bosque altimontano (Pluvial) de Yunga (6.98%), entre otros según el Ministerio del Ambiente. Otro de los problemas abordados por las iniciativas de inversión se refiere a los servicios ecosistémicos de regulación hídrica, cuya magnitud de inversión fue estimada en más de US \$21 millones en infraestructura natural para la seguridad hídrica para el año 2021, según Forest Trends Perú. Otro aspecto importante es que la implementación de las iniciativas de inversión se encuentra descentralizadas, pero, no fueron suficientemente visibilizadas en los planes con enfoque territorial a cargo de los respectivos niveles de gobierno, lo que se debió en parte a la disponibilidad de la información geoespacial. La investigación busca contribuir con el conocimiento de la información sobre la disponibilidad del recurso hídrico, y, por tanto, a las mejores intervenciones en materia de regulación hídrica y/o el control de la erosión del suelo.

En el primer capítulo se presenta el planteamiento del estudio, el cual contiene la formulación del problema, los objetivos, la justificación e importancia y las limitaciones del estudio. El marco teórico es tratado en el segundo capítulo, comprendiendo los antecedentes vinculados a la problemática, las bases teóricas y las definiciones de términos básicos. La hipótesis y las variables, incluyendo la operacionalización de variables, son abordadas en el capítulo tercero, mientras que en el cuarto capítulo se enfatiza en la metodología del estudio, incorporando el método, tipo y diseño de la investigación, la población y muestra, las técnicas e instrumentos de recolección, así como las técnicas de análisis de datos empleados. Los resultados de la investigación son expuestos en el quinto capítulo, acompañado del análisis respectivo incluyendo la discusión correspondiente. Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas.

Capítulo I

Planteamiento del Estudio

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

En los últimos años, se han logrado avances en la integración de los servicios ecosistémicos en la planificación del territorio, pero aún es insuficiente. Esta falta de integración ha sido abordada desde dos perspectivas: la científica y la política. Desde la perspectiva científica, se ha mejorado el uso de la ciencia en los servicios ecosistémicos. Desde la perspectiva política, se necesita más investigación sobre cómo los formuladores de políticas exigen conocimiento y cómo actúan.

Para la planificación territorial, es fundamental considerar el desarrollo sostenible del paisaje, centrándose en el potencial local para proporcionar servicios ecosistémicos. Sin embargo, la mayoría de los impactos en la prestación de estos servicios estuvieron relacionados con los cambios en el uso de la tierra, que constituyen el principal factor de fragmentación y pérdida de funciones del ecosistema.

Asimismo, es importante atender la degradación de los ecosistemas en un proceso planificado con un enfoque territorial que reconozca las características y particularidades del territorio. Este enfoque multidimensional debe impulsar el desarrollo humano, social, institucional, ambiental y económico.

En ese contexto surgieron las soluciones basadas en la naturaleza e infraestructura natural como un conjunto de medidas para permitir contar con inversiones sostenibles. La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Grupo del Banco Mundial y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) definieron a las soluciones basadas en la naturaleza como las acciones para proteger, gestionar y restaurar ecosistemas naturales o modificados que aborden los desafíos sociales de manera eficaz y eficiente, proporcionando

simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad.

En el caso del Perú, la infraestructura natural se ha definido como la red de espacios naturales que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos, entre ellos el de regulación hídrica. Desde 2015, el sector ambiente fortaleció el marco legal para realizar inversiones en ecosistemas y servicios ecosistémicos, desde su inclusión en el sistema de inversiones peruano hasta el desarrollo de lineamientos y guías metodológicas para la formulación de proyectos de inversión pública. La Ley N° 30215 "Ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos" marcó un hito importante para el financiamiento de iniciativas de inversión.

A pesar de estos avances, las iniciativas de inversión en infraestructura natural no fueron suficientemente visibilizadas en los planes con enfoque territorial, específicamente en los planes de ordenamiento territorial. Sin embargo, dado que la formulación de los planes de ordenamiento territorial aún es incipiente y su ejecución recae en los gobiernos subnacionales, entidades susceptibles a presentar dificultades por la inestabilidad política, limitaciones presupuestales y la rotación de personal, entre otros aspectos, constituyen limitantes en la incorporación de iniciativas de inversión pública. Otro aspecto a considerar es la falta de información geoespacial o geolocalizada en el territorio nacional y desagregada tanto a nivel departamental, provincial y distrital. Sin embargo datos y metodologías relevantes, como el mapa nacional de ecosistemas, información de áreas degradadas y guías para la evaluación del estado de los ecosistemas del Perú, fueron puestos a disposición del público recientemente, desde el 2018 hasta la actualidad, pero, desde los gobiernos subnacionales prevalece el pedido de mayor información de los ecosistemas. Por lo que el presente trabajo de investigación busca establecer la existencia de alguna relación entre

la información geoespacial de la infraestructura natural y la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos

1.1.2. Formulación del problema

A. Problema General

¿De qué manera se relaciona la información geoespacial de la infraestructura natural en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos del Perú, 2023?

B. Problemas Específicos

¿Qué factores pueden contribuir a fomentar iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica?

¿Cuáles son las características de los instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura natural?

1.2. Determinación de objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la relación de la información geoespacial de la infraestructura natural en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos del Perú, 2023.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Analizar los factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.
2. Caracterizar los instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura natural.

1.3. Justificación e importancia del estudio

En el Perú la inversión pública en temas relacionados a la recuperación de los ecosistemas y/o servicios ecosistémicos es relativamente incipiente comparado con otras temáticas, existen importantes avances en el marco

legal para promover la inversión para la conservación, protección y gestión sostenible de los ecosistemas proveedores de agua, sin embargo no existe información temática específica que ayude a determinar ámbitos de intervención y menos en una lógica de planificación territorial lo cual se puede apreciar en el últimos 14 años, pues el monto de inversión en iniciativas en infraestructura natural para la seguridad hídrica fue de aproximadamente S/. 497 millones, este monto es la suma de 175 proyectos que cumplieron los siguientes criterios: (i) se ejecutaron entre los años 2008-2021; (ii) sus objetivos estuvieran relacionados con la contribución a la seguridad hídrica de la zona de intervención; (iii) tener dentro de sus componentes intervenciones en infraestructura natural; y, (iv) en el caso de las prácticas de siembra y cosecha de agua (como las qochas), se incluyeron cuando estuvieron acompañadas de otros tipos de intervención, como por ejemplo la recuperación de la cobertura vegetal. (Cerdán et al., 2023).

1.3.1. Justificación Teórica.

Teóricamente, la planificación en los tres niveles de gobierno debería ayudar a priorizar la inversión pública. No obstante, el sesgo hacia inversiones en infraestructura física o “gris” ha invisibilizado la infraestructura natural. Se observa así, por ejemplo, que mega inversiones orientadas a la instalación de sistemas de agua y saneamiento no tuvieron en consideración a los ecosistemas que suministran el recurso hídrico; por el contrario, las inversiones se dirigieron básicamente a las obras de ingeniería “gris” y dejaron un vacío en cuanto al financiamiento necesario para la conservación de la infraestructura natural (León, 2016). Este aspecto infiere la necesidad de profundizar un mayor conocimiento en los beneficios esperados de invertir en infraestructura natural.

Por tanto, esta investigación contribuye a determinar la relación de la información geoespacial de la infraestructura natural en la formulación de iniciativas de inversión en servicios ecosistémicos de regulación hídrica, cuyos beneficios esperados se dirigen a mejorar la disponibilidad del recurso hídrico, mejorar la regulación hídrica y/o el

control de la erosión del suelo, mejorar la cobertura vegetal, la capacidad de infiltración, entre otros (Cerdán et al., 2023).

1.3.2. Justificación metodológica.

El desconocimiento y la falta de claridad metodológica e información respecto al estado de los ecosistemas ha limitado su incorporación en los instrumentos y herramientas de planificación con enfoque territorial y, la consecuencia de invisibilizar las inversiones para su conservación ha implicado que no se consideren dentro de las políticas, programas e instrumentos de desarrollo, a diferencia de lo que ocurre con las inversiones en infraestructura física, en las cuales se conocen con precisión las necesidades de financiamiento. (León, 2016).

1.3.3. Justificación Social.

En lo social es innegable que en el Perú existe una gran brecha de infraestructura, la cual para el periodo 2012-2021 se estimó en aproximadamente el 33% del producto bruto interno (PBI). La magnitud del financiamiento requerido fue de aproximadamente US \$87.975 millones, constituyendo un elemento clave para el desarrollo a fin de dotar a la población de mejores servicios públicos (León, 2016); lo que tiene una estrecha relación con la instalación de infraestructura física. En el aspecto ambiental en el año 2021, sin embargo, se ejecutaron un poco más de US 21 millones en infraestructura natural para la seguridad hídrica, registrándose una recuperación evidente, después de la caída de la inversión por efecto de la crisis sanitaria iniciada en el 2020. Del monto total invertido el 61% corresponden a los gobiernos regionales, el 20% al Gobierno Nacional y el 10% a los gobiernos locales, mientras que el 6% correspondió a las empresas prestadoras de servicios de saneamiento (EPS), el 2% a la cooperación internacional y el 1% al sector privado. (Cerdán et al., 2023). Por lo que es evidente la diferencia en cuanto a priorización de este tipo de inversiones.

1.4. Limitaciones de la presente investigación

Limitada información respecto a investigaciones relacionadas con la contribución de la información geoespacial en el fomento de iniciativas de inversión en servicios ecosistémicos de regulación hídrica. A este aspecto debemos agregar que muchas inversiones adoptan denominaciones que harían pensar que su objetivo es la conservación y/o restauración de ecosistemas y/o el servicio ecosistémico de regulación hídrica, sin embargo, su concepción técnica no necesariamente guarda correspondencia con el objetivo señalado. En cuanto a la disposición de información geoespacial, existen limitaciones en cuanto a la presencia de nubosidad y operatividad de los satélites de observación de la tierra, si bien el Perú cuenta con un satélite de observación de la tierra el acceso a esta información es restringido solo a entidades públicas y la temporalidad es aún insuficiente para análisis estadísticos confiables. Otra limitación constituye que la planificación del territorio en el Perú es relativamente reciente, por ejemplo, conforme al Geoservidor del Ministerio del Ambiente, en cuanto a planes de ordenamiento territorial, en la actualidad solo existen dos aprobados.

Capítulo II

Marco teórico

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Wei, F. y Zhan, X. (2023) examinaron una amplia variedad de estudios de investigación sobre cómo se ha utilizado el conocimiento de los servicios ecosistémicos en la toma de decisiones y el ordenamiento territorial. También analizaron cómo se han integrado los servicios ecosistémicos en los procesos de ordenamiento territorial y cuáles han sido los resultados de esta integración. Los autores destacan que el conocimiento de los servicios ecosistémicos puede ser una herramienta valiosa para ayudar a los tomadores de decisiones a comprender el valor de los ecosistemas y los beneficios que proporcionan en el contexto del ordenamiento territorial. Sin embargo, también señalan que aún existen desafíos significativos para integrar efectivamente el conocimiento de los servicios ecosistémicos en la planificación espacial, como la necesidad de una mayor colaboración interdisciplinaria y la necesidad de mejorar la evaluación y el seguimiento de los resultados del ordenamiento territorial.

Staccione et al (2022) teniendo como contexto los cambios ambientales globales que incluyen la expansión urbana y los extremos climáticos, afirman que estos han contribuido a la degradación de los ecosistemas, su fragmentación y el declive de los servicios ecosistémicos. Por tanto, con la finalidad de conocer los atributos clave de la resiliencia de los ecosistemas, tales como la redundancia, la diversidad y la conectividad de los ecosistemas, y plantear las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) a partir de la Infraestructura Verde como redes estratégicamente planificadas de áreas naturales y seminaturales con otras características ambientales diseñadas y gestionadas para brindar servicios ecosistémicos, el artículo aborda el estudio de caso en la región de Padan Plain, al norte

de Italia, caracterizado como una llanura aluvial de 48 000 km², rodeada de áreas protegidas, y una población de 20 millones de habitantes, con zonas de producción industrial y agrícola, altamente contaminada, que sufre impactos del cambio ambiental y climático, con lluvias intensas que causan inundaciones y alternan con períodos de sequía, y el aumento del nivel del mar. Allí se implementaron los requerimientos del estudio para promover la conectividad en la planificación de la infraestructura verde, tales como: (i) la selección de los elementos de la red de infraestructura verde, (ii) el mapeo y caracterización del estado de la red de infraestructura verde existente, y (iii) la construcción de escenarios de red, como (a) la mejora de la red, y (b) el escenario de declive o reducción de la red.

Donatti et al (2022) exploran en profundidad el papel de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) en la mitigación del cambio climático y la promoción de la sostenibilidad. Las SbN se definen como enfoques que utilizan la naturaleza y sus procesos para abordar los desafíos globales, como la mitigación del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y el desarrollo sostenible. Comienzan con una revisión de la literatura existente sobre el tema, destacando cómo las SbN pueden contribuir a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la captura de carbono. Analizan el papel de las SbN en la adaptación al cambio climático y la mitigación de sus impactos, y se explora cómo estas soluciones pueden ayudar a preservar y restaurar los ecosistemas y la biodiversidad. El artículo también aborda los desafíos asociados con la implementación de SbN, como la necesidad de una mayor colaboración y coordinación entre diferentes sectores y actores, la falta de financiamiento y la necesidad de marcos regulatorios claros y efectivos. Se discuten las opciones para abordar estos desafíos y se sugieren enfoques integrados que consideren múltiples beneficios ambientales y sociales. Se destaca la importancia de considerar las SbN como una solución complementaria a otras estrategias de

mitigación y adaptación al cambio climático, como la tecnología y la política. Se discute cómo las SbN pueden contribuir a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible y a la promoción de un desarrollo sostenible y justo.

Mell I. y Whitten, M. (2021) analizan el papel de las infraestructuras verdes (IG) en el contexto de la pandemia de Covid-19. Destaca la importancia de considerar aspectos como la forma y características, distribución, conectividad y resiliencia en la planificación para abordar la crisis. La pandemia del Covid-19 cambió la forma en que muchas personas veían e interactuaban con el entorno natural. En el Reino Unido, una serie de confinamientos nacionales limitaron el número de lugares que las personas podían usar para apoyar su salud mental y física. Los parques, jardines, canales y otros recursos de "infraestructura verde" (IV) permanecieron abiertos y se reposicionaron como "infraestructura esencial" que respalda el bienestar. Sin embargo, la calidad, la funcionalidad y la ubicación de la IV en las zonas urbanas ilustran una disparidad en la distribución que significa que en muchos casos las comunidades con mayor diversidad étnica, menores ingresos y mayor desigualdad en salud sufren de acceso insuficiente. Este documento proporciona comentarios sobre estos temas, reflexionando sobre cómo los planificadores, diseñadores urbanos y organizaciones ambientales están posicionando a las IV en la toma de decisiones para abordar la desigualdad. A través de una discusión sobre el acceso y la calidad en una era de financiación de austeridad, este documento propone posibles vías hacia una planificación ambiental equitativa que aborde la privación histórica y contemporánea de derechos con el medio ambiente natural en las áreas urbanas.

Ferreira et al (2021) define a la infraestructura verde como una red interconectada, planificada y gestionada de áreas naturales y seminaturales con características ambientales diseñadas para brindar beneficios sociales, económicos y ambientales a las personas y los

servicios ecosistémicos. Plantea que la planificación de las infraestructuras verdes también implica implementar y gestionar soluciones basadas en la naturaleza o en ecosistemas. Reconoce que hay una manifiesta complejidad y diversidad relacionada al concepto de infraestructura verde, lo que ha conllevado al desarrollo de enfoques diferentes al momento de su planificación. En ese entendido, propone un conjunto de múltiples pasos para planificar e implementar la infraestructura verde según el enfoque basado en ecosistemas, e integrar los componentes ecológicos y sociales en la planificación y formulación de planes y políticas de uso del suelo en el municipio de Setúbal. Este municipio portugués reúne condiciones de características de urbanidad y ruralidad, con diversidad de espacios naturales protegidos y espacios seminaturales, en un territorio productivos asociados a la actividad portuaria, industria y comercio pesquero, servicios y turismo, pero también expuesto a condiciones de vulnerabilidad por condiciones climáticas, inundaciones, desbordamientos, tsunamis y erosión. Plantea como elementos de discusión a: (i) la inexistencia de pautas para orientar en el desarrollo e implementación de la planificación de la infraestructura verde, (ii) la planificación de la infraestructura verde ha descartado los beneficios sociales, las actividades recreativas y los aspectos culturales, privilegiando las funciones ecológicas, (iii) el conocimiento local para proponer soluciones en la infraestructura verde frente a las condiciones de vulnerabilidad, (iv) la vinculación de la infraestructura verde con la programación de una cartera de proyectos y acciones de inversión, y (v) la participación ciudadana en el proceso de planificación de la infraestructura verde.

Saing et al (2021) realizan un estudio con el objetivo de generar un mapa de uso de la tierra / cobertura del suelo (LULC) utilizando tecnología de teledetección y un Sistema de Información Geográfica (SIG) para orientar la planificación del desarrollo regional. Se realizaron clasificaciones supervisadas de imágenes satelitales en

junio de 2005 y marzo de 2019 para evaluar los cambios en el uso de la tierra. Se realizaron análisis de precisión y se verificó la adecuación de los resultados. Los hallazgos indicaron una precisión del 82% y 86% en las evaluaciones de junio de 2005 y marzo de 2019, respectivamente. Estos resultados demuestran la utilidad del procesamiento de imágenes y proporcionan datos geoespaciales valiosos para los planificadores y tomadores de decisiones en la planificación del desarrollo regional.

Castro, C. y Rifai, H. (2021) describen la metodología utilizada para desarrollar la infraestructura de datos espaciales (IDE), que incluyó la recopilación y análisis de datos espaciales de diversas fuentes y la creación de una plataforma en línea para compartir información y visualizar los resultados. Se presentan los resultados de la evaluación de la IDE, que indican que la plataforma es útil para la planificación y gestión de las soluciones basadas en la naturaleza y la toma de decisiones. Se discuten los beneficios de la IDE, como el acceso a información actualizada y fiable, la visualización de los datos en diferentes formatos y la capacidad de realizar análisis espaciales.

Cooper R. (2020) proporciona un análisis detallado sobre el tema de las soluciones basadas en la naturaleza y su relación con la seguridad del agua. Se exploran los conceptos clave de las soluciones basadas en la naturaleza, que se refieren a enfoques que utilizan o mimetizan los procesos naturales para abordar los desafíos relacionados con el agua. Asimismo, abarca diversos aspectos, como la gestión de recursos hídricos, la conservación y restauración de ecosistemas acuáticos, y la promoción de prácticas sostenibles en la gestión del agua. Se presentan ejemplos de proyectos reales que han implementado soluciones basadas en la naturaleza en diferentes partes del mundo, destacando su eficacia y los beneficios que han generado. Además, se examinan los beneficios de estas soluciones, que incluyen la mejora de la calidad y cantidad del agua, la protección contra inundaciones y sequías, la conservación de la biodiversidad y

la promoción del desarrollo sostenible. Finalmente, se abordan los desafíos y limitaciones asociados con la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, como la falta de financiamiento, la necesidad de colaboración intersectorial y la adaptación a contextos locales.

Luedke, H (2019) analiza las definiciones de las soluciones basadas en la naturaleza y ofrece ejemplos concretos de soluciones y proyectos, explica que las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son medidas que utilizan la naturaleza para resolver desafíos ambientales y sociales, como la adaptación al cambio climático, la gestión del agua y la protección de la biodiversidad. También discute los beneficios de las SbN, como la mejora de la calidad del agua y del aire, la reducción del riesgo de inundaciones y deslizamientos de tierra, y la promoción de la biodiversidad y la salud mental. Además, se aborda la importancia de la colaboración entre el sector público y privado en la implementación de las SbN, y se destacan algunos ejemplos de programas y políticas a nivel nacional (EE. UU.) e internacional que promueven la implementación de estas soluciones. El artículo argumenta que las soluciones basadas en la naturaleza son una forma efectiva y sostenible de infraestructura resiliente que puede ayudar a resolver desafíos ambientales y sociales en el siglo XXI.

Debele et al (2019) destaca que los peligros hidrometeorológicos (PHM) tienen un impacto significativo en las sociedades y los ecosistemas, y se espera que este impacto se intensifique en el futuro debido al cambio climático. La catalogación de los PHM es crucial para evaluar los riesgos y planificar estrategias de mitigación adecuadas. Sin embargo, todavía existen incertidumbres sobre los factores que causan estos peligros, lo que dificulta su catalogación. El estudio examina la literatura existente sobre la clasificación de SbN y destaca la necesidad de más investigaciones en este campo. También se evalúa críticamente la interrelación de los impulsores de

los PHM y se identifican brechas en los datos disponibles. Se resalta la rentabilidad y los posibles beneficios adicionales de las SbN en comparación con los enfoques de ingeniería tradicionales. El texto también subraya la necesidad de superar las barreras y deficiencias actuales en la implementación de SbN para PHM, y se proporcionan conceptos y características técnicas clave para guiar su diseño e implementación en situaciones del mundo real.

Nesshöver et al (2017) comienzan definiendo a las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) como medidas que buscan proteger y mejorar los ecosistemas naturales para abordar los desafíos ambientales y sociales. Los autores argumentan que las SbN tienen el potencial de proporcionar soluciones efectivas y sostenibles a los desafíos actuales, como el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y la inseguridad alimentaria. Además, las SbN pueden proporcionar múltiples beneficios, como la mejora de la calidad del agua, la protección contra desastres naturales, el aumento de la resiliencia comunitaria y el desarrollo económico. Los autores proponen una definición integral de SbN, que incluye la protección y restauración de los ecosistemas naturales, la gestión sostenible de la tierra y el agua, y la integración de la naturaleza en la planificación urbana y territorial. Los autores argumentan que esta evidencia demuestra que las SbN pueden proporcionar soluciones efectivas y sostenibles a los desafíos actuales y proporcionar múltiples beneficios a la sociedad. Los autores argumentan que se necesita una mayor colaboración entre la ciencia, la política y la práctica para garantizar que las SbN se implementen de manera efectiva y sostenible.

Grizzeti et al (2017) plantean la necesidad de estudiar el vínculo entre las múltiples presiones, el estado ecológico y la prestación de servicios ecosistémicos en ecosistemas acuáticos bajo diferentes escenarios de medidas o cambios futuros, relacionado al desarrollo de Planes de Gestión de Cuencas Hidrográficas que requieren de la

planificación territorial para la gestión del agua y donde el concepto de servicios ecosistémicos podría adoptarse para reconocer la multifuncionalidad de los sistemas de agua y dar cuenta de los beneficios que las personas reciben de la naturaleza, justificando los costos de protección y restauración. Uno de los pasos metodológicos que proponen es la vinculación de las presiones, el estado ecológico y los servicios ecosistémicos para la gestión del agua, señalando que para planificar acciones de restauración sólidas, es necesario considerar los vínculos complejos entre las combinaciones de presiones y la respuesta ecológica de los sistemas acuáticos, ya que múltiples presiones pueden tener efectos aditivos, sinérgicos o antagónicos. Entre las principales presiones que afectan a los ecosistemas acuáticos se pueden resumir en alteraciones de la cantidad y calidad del agua, y cambios en el hábitat físico y los componentes biológicos, tales como: (i) la alteración de la cantidad de agua (como las modificaciones del caudal o alteraciones hidrológicas: cantidad y frecuencia como presas, captaciones de agua, riego, trasvases; extracciones de agua subterránea; cambios en la precipitación y la temperatura; cambios en la escorrentía), (ii) la alteración de la calidad del agua (por contaminación difusa y puntual, tales como nutrientes, productos químicos, rieles, patógenos, basura, salinización de aguas subterráneas, sedimentos, etc.), (iii) cambios del hábitat, (iv) cambios de la biota y comunidades biológicas. En todos los casos, las actividades humanas son los principales impulsores de la generación de múltiples presiones.

Ran, J. y Nedovic-Budic, Z. (2016) realizaron un estudio basado principalmente en las experiencias y la literatura europeas e identificaron tres dimensiones de la integración de la ordenación del territorio con la gestión del riesgo de inundación: territorial, política e institucional. Las inundaciones causan daños significativos en propiedad, personas y medio ambiente, y su mitigación ha llevado a la integración de la planificación espacial y la gestión del riesgo de

inundación. La falta de acceso fácil a información integrada y de calidad, así como a tecnologías y herramientas adecuadas, ha obstaculizado esta integración. Se han realizado investigaciones limitadas para desarrollar un marco y explorar el papel de la información y las tecnologías en esta integración. Propone una Infraestructura de Políticas Espacialmente Integrada (SIPI) que incluye datos, herramientas de apoyo y análisis de decisiones, así como protocolos de acceso. El estudio establece las conexiones entre los elementos de SIPI y las dimensiones de integración, lo cual es crucial para comprender el papel de la información geográfica y las tecnologías en la integración. El marco conceptual del SIPI guiará su desarrollo y evaluación futuros.

Pakzad, P. y Osmond, P. (2016) realizaron una revisión de los modelos existentes para evaluar el desempeño de la infraestructura verde y evalúa estos modelos a través de una variedad de criterios de selección propuestos por los autores en base a la revisión de la literatura y entrevistas con las partes interesadas. Un ecosistema urbano es un sistema dinámico que puede evaluarse mediante indicadores mensurables. Este documento propone un marco conceptual para evaluar la sostenibilidad de la infraestructura verde, centrándose en la interacción entre la salud humana, los servicios de los ecosistemas y la salud de los ecosistemas. El estudio revisa modelos existentes y propone un nuevo marco conceptual que identifica criterios e indicadores clave. Este marco puede usarse para desarrollar un modelo de evaluación basado en indicadores y apoyar futuros estudios de infraestructura verde.

Yengoh et al (2015) examinaron la base científica para el uso de datos de sensores remotos, particularmente el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), para la evaluación de la degradación de la tierra a diferentes escalas y para una variedad de aplicaciones, incluida la resiliencia de los agroecosistemas. Los avances en la detección de la calidad de los datos, la corrección geométrica, la

calibración entre sensores, las correcciones cenitales atmosféricas y solares, la detección de nubes y la creación de mosaicos de datos han permitido la producción de varias bases de datos de datos NDVI globales de alta calidad a las que se puede acceder libremente a través de Internet. Incluso si no existe una alternativa a los datos de sensores remotos para el monitoreo a escala global y continental de la dinámica de la vegetación, la técnica no está exenta de debilidades. El informe revisa el uso de NDVI para una variedad de temas relacionados con la degradación de la tierra. Los procesos de desertificación a escala global, continental y subcontinental han sido estudiados intensamente en las últimas dos décadas; un hallazgo clave es que la mayoría de las tierras secas del mundo muestran una tendencia de aumento del NDVI. La erosión del suelo se ha estudiado a nivel nacional y subnacional, principalmente utilizando NDVI derivado de datos de resolución espacial media a alta, como MODIS a 250 m y Landsat a 30 m de resolución. La salinización de los suelos se ha estudiado utilizando una amplia gama de datos de detección remota; sin embargo, su detección y monitoreo es más experimental que para otras formas de degradación de la tierra. El carbono del suelo es un indicador importante de la productividad de la tierra que se ha estudiado por medio del NDVI, tanto como medida independiente como entrada para los modelos de ecosistemas. Los estudios han demostrado una alta concordancia entre las estimaciones basadas en NDVI y en tierra. El informe destaca una serie de cuestiones que deben tenerse en cuenta para el uso operativo de NDVI para el seguimiento de la degradación de la tierra.

Para Steiner et al (2013) el diseño y la planificación ambiental son herramientas importantes para la adaptación humana. Los diseñadores y planificadores dependen de la experiencia, el arte y el conocimiento ambiental para dar forma a los futuros preferidos. La alfabetización ecológica mejoraría el diseño y la planificación de entornos construidos. Los conceptos de "resiliencia" y "ecosistema"

ofrecen oportunidades para la colaboración entre ecólogos y profesionales en las disciplinas de diseño y planificación. La resiliencia urbana a los desastres naturales y la infraestructura costera “verde” representan dos áreas donde se debe aplicar el diseño y la planificación basados en principios ecológicos. La Iniciativa de Sitios Sostenibles es un ejemplo práctico de colaboración interdisciplinaria.

Scolozzi et al (2012) realizaron un estudio utilizando una metodología basada en Delphi para evaluar el cambio en los servicios ecosistémicos en dos paisajes italianos y para identificar las áreas críticas en las que se necesita una planificación estratégica para evitar la pérdida de los servicios ecosistémicos. La metodología se basa en la consulta a expertos locales y en el análisis de datos espaciales. Los resultados del estudio muestran que los servicios ecosistémicos tienen un valor importante en los paisajes italianos y que el cambio en estos servicios puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de las personas. Además, se destaca la importancia de la planificación espacial estratégica para mantener los servicios ecosistémicos y se proporcionan recomendaciones para mejorar la evaluación del cambio de los servicios ecosistémicos en la planificación territorial.

Benedict, M. y McMahon. E. (2002) explican que la infraestructura verde o natural, que incluye elementos como parques, jardines, bosques urbanos y corredores verdes, puede proporcionar una amplia gama de beneficios para las comunidades urbanas. Estos beneficios incluyen la mejora de la calidad del aire y del agua, la reducción del impacto de las inundaciones y las olas de calor, y la promoción de la biodiversidad y la salud mental. El estudio también analiza los desafíos que enfrenta la implementación de la infraestructura verde en las ciudades, como la falta de espacio, la falta de recursos y la falta de conciencia pública. Se discuten diferentes enfoques para superar estos desafíos, como la colaboración entre el

sector público y privado, la participación ciudadana y la planificación estratégica. El artículo argumenta que la infraestructura verde o natural es esencial para la creación de comunidades urbanas sostenibles y resilientes en el siglo XXI. Además, destaca la necesidad de un enfoque holístico e integrado en la planificación y gestión de la infraestructura verde o natural para maximizar sus beneficios.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Cerdán et al (2022) realizan una sistematización en un período de 14 años, efectuada por el Proyecto Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica y el Instituto Nacional de Investigación en Glaciares y Ecosistemas de Montaña, respecto al marco legal que regula las intervenciones en infraestructura natural en el Perú, el estado de ejecución al 2021 de las inversiones en 175 proyectos según niveles de gobierno, aportes de privados y de la cooperación internacional, así como su distribución geográfica por macrorregión norte, centro y sur. Como resultado de la revisión sistemática de los proyectos señalados han identificado tendencias y análisis para la discusión sobre las inversiones en infraestructura natural para lograr la seguridad hídrica del Perú. Se han identificado los actores, los montos financiados, la distribución geográfica de las iniciativas y las intervenciones en infraestructura natural con objetivos hídricos. El estudio no pretende calificar las intervenciones en términos de calidad del diseño o ejecución, ni evaluar sus impactos.

2.2. Bases teóricas

En el marco de esta investigación es necesario considerar algunos conceptos importantes para cada una de las variables analizadas.

2.2.1. Información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Es necesario considerar, según la convención de diversidad biológica

(ONU, 1992) se entiende por ecosistema a “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional”. En base a esta definición el Ministerio del Ambiente a través de la ley de mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos (Ley N° 30215) define que los Ecosistemas son un “sistema natural de organismos vivos que interactúan entre sí y con su entorno físico como una unidad ecológica. Los ecosistemas son la fuente de los servicios ecosistémicos”. A su vez señala que los servicios ecosistémicos son “aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas”.

Una dimensión importante para esta variable son los servicios ecosistémicos, pues tienen un valor importante en los paisajes y el cambio en estos servicios puede tener un impacto significativo en la calidad de vida de las personas (Scolozzi et al., 2012). Los procesos hidrológicos, ambientales y sociales se ven afectados y modificados por los patrones de actividad humana. En este contexto, las Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) representan un recurso fundamental para explorar las interconexiones existentes entre los objetivos relacionados con la calidad de vida y los retos asociados al recurso hídrico (Castro, 2022). El concepto de SbN ha evolucionado a lo largo del tiempo y ha sido definido y conceptualizado de diferentes maneras. Por lo tanto, se necesitan definiciones claras y coherentes para guiar la investigación, la política y la práctica. (Nesshöver et al., 2017) usualmente en la literatura se acostumbra a usar el término de infraestructura verde o infraestructura natural de manera indistinta para referirse a SbN y otras veces a un subconjunto específico de medidas asociadas a la cobertura vegetal (Luedke 2019). En el Perú según la normativa vigente en el marco de las inversiones públicas se usa el término de infraestructura natural para referirse a SbN y se

define como “la red de espacios naturales que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos” esta definición corresponde a infraestructura verde y es una adaptación de Benedict y McMahon (2002).

Asimismo en el ámbito académico, político y social la definición de soluciones basada en la naturaleza se va construyendo en base al enfoque ecosistémico, Luedke (2019) al respecto sintetiza este proceso y mencionada que tanto la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), el Grupo del Banco Mundial y el Instituto de Recursos Mundiales (WRI) definen las soluciones basadas en la naturaleza como "acciones para proteger, gestionar de forma sostenible y restaurar ecosistemas naturales o modificados que abordan los retos sociales de forma eficaz y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad", pero como se comentó anteriormente en el Perú se optó por utilizar el término de Infraestructura Natural, la cual es un subconjunto de SbN, y que según el Ministerio de Economía y Finanzas en el Reglamento del sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones ley del sistema nacional de inversión pública (Decreto supremo N° 027-2017-EF), “es la red de espacios naturales que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos”.

La segunda dimensión a considerar para esta variable es la información geoespacial y el avance de las tecnologías de sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) y teledetección (o percepción remota) ha sido significativo en los últimos tiempos (Goodchild, 1992). Los progresos en la disponibilidad de datos y capacidad de procesamiento de grandes volúmenes de información en la nube, estas tecnologías en conjunto también son conocidas como tecnologías de información geoespacial. Gracias a ellas, es posible obtener información cada vez más precisa sobre la estructura, funcionamiento y estado de los ecosistemas. Castro y Rifai

(2021) resaltan la importancia de desarrollar una infraestructura de datos espaciales (IDE), que incluya la recopilación y análisis de datos espaciales de diversas fuentes y la creación de una plataforma en línea para compartir información y visualizar los resultados. Asimismo, indican que plataformas de este tipo son útiles para la planificación y gestión de las soluciones basadas en la naturaleza, y la toma de decisiones informadas y sostenibles, así como los beneficios derivados de la IDE, como el acceso a información actualizada y fiable, la visualización de los datos en diferentes formatos y la capacidad de realizar análisis espaciales.

Por otro lado, en el ámbito político, es necesario superar ciertos desafíos para la implementación efectiva de la infraestructura natural. Se requieren enfoques estratégicos que involucren la colaboración entre el sector público y privado, la participación ciudadana, y la planificación integrada y holística (Benedict y McMahon, 2002). Para abordar los desafíos ambientales y sociales actuales, la gestión de las inversiones en infraestructura natural debe tener un enfoque interdisciplinario (Nesshöver et al., 2017). Entre los desafíos asociados con la implementación de la infraestructura natural, destacan la necesidad de una mayor colaboración y coordinación entre diferentes niveles de gobierno, la falta de priorización y financiamiento, y la necesidad de marcos regulatorios claros y efectivos, especialmente en la planificación territorial (Donatti et al., 2022).

Sin embargo, materializar inversiones en infraestructura natural requiere de datos o información geoespacial y un proceso de planificación con enfoque territorial. Respecto a la información geoespacial, esta se encuentra compuesta por una serie de tecnologías, donde según IBM los datos geoespaciales constituyen información que describe objetos, eventos u otras características con una ubicación en la superficie de la Tierra o cerca de ella. Los datos geoespaciales normalmente combinan información de ubicación

(generalmente coordinadas en la Tierra) e información de atributos (las características del objeto, evento o fenómeno en cuestión) con información temporal (el tiempo o período de vida en el que existen la ubicación y los atributos). Y respecto al proceso de planificación, ésta obedece a lo que en el Perú se conoce como Ordenamiento territorial el cual según la Carta Europea de Ordenación del Territorio (1983) se define como “una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector”, este concepto es acogido por el Ministerio del Ambiente (2015) y lo define como “un proceso técnico, administrativo y político de toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos, políticos y técnicos para la ocupación ordenada y uso sostenible del territorio. Considera las condiciones sociales, ambientales y económicas para la ocupación del territorio, así como el uso y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar un desarrollo equilibrado y en condiciones de sostenibilidad”. De acuerdo a sus funciones, el Ministerio del Ambiente (2016) estableció que el plan de ordenamiento territorial se formula teniendo en consideración la dimensión participativa, la dimensión política- institucional y la dimensión técnica, y debe contener principalmente: (i) el modelo actual del territorio o sistema territorial, (ii) la visión e imagen objetivo, (iii) el modelo deseado del territorio o modelo de ordenamiento territorial, (iv) los ejes y objetivos estratégicos, (v) la propuesta de alternativas de uso y ocupación del territorio, (vi) el programa de inversiones, y (vii) el modelo de gestión para implementar el plan.

2.2.2. Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica

En cuanto a las iniciativas de inversión, es decir la variable dos, éstas tienen por finalidad atender necesidades públicas (dado que los ecosistemas brindan bienes y servicios que benefician a la comunidad

en general) y son ejecutadas por las entidades gubernamentales de acuerdo con sus competencias y funciones previamente establecidas, por tanto, es necesario definirlo adecuadamente. Según el Ministerio de Economía y Finanzas un proyecto de inversión es “toda intervención limitada en el tiempo que utiliza total o parcialmente recursos públicos, con el fin de crear, ampliar, mejorar, modernizar o recuperar la capacidad productora de bienes o servicios; cuyos beneficios se generen durante la vida útil del proyecto y éstos sean independientes de los de otros proyectos.” Para los fines de la presente investigación se considerarán aquellos proyectos que hayan sido formulados bajo los “Lineamientos de inversión para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad” del Ministerio del Ambiente.

El Proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica informa que, durante la última década, el Perú ha logrado importantes avances en la inversión destinada a la conservación, protección y gestión sostenible de los ecosistemas que proveen agua. Este progreso ha sido posible gracias a un marco legal y a instrumentos técnicos que promueven y regulan las intervenciones en favor de la infraestructura natural para la seguridad hídrica (Cerdán, 2022). Sin embargo estos procesos de inversión deben estar en el marco de procesos de planificación territorial, como el ordenamiento territorial, ya que son esenciales para tener un enfoque integral y mantener los servicios ecosistémicos (Scolozzi et al., 2012), los tomadores de decisiones deben tener la capacidad de identificar áreas prioritarias para lograr una inversión equitativa, en ese sentido las soluciones basadas en la naturaleza son una forma efectiva y sostenible de infraestructura resiliente que puede ayudar a resolver desafíos ambientales y sociales en el siglo XXI (Luedke, 2019), pero, para lograr iniciativas de inversión en infraestructura natural se requiere de una adecuada interfaz entre ciencia y política que promueva

interacciones y actividades coproducidas (Wei y Zhan, 2023).

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Cambio y uso de la tierra

Constituye la transformación de la cubierta de la tierra para que estos puedan ser empleados con otra función; entre ellos, por ejemplo, con fines agropecuarios (Saing et al., 2021). El cambio de uso es cualquier forma en que los seres humanos modifican el paisaje natural, y puede ser medido por medio del cambio en el tiempo de la distribución de los usos de la tierra dentro de un país.

2.3.2. Cobertura de la tierra

Es el resultado de la medición de la oferta y el uso de la tierra en una sola entidad geográfica, que puede contener vegetación o sin ella, natural o no (Saing et al., 2021), siendo posible su cartografiado con apoyo de software de Sistemas de Información Geográfica. La cobertura en caso de contener vegetación resulta de interés porque es posible inferir la capacidad de retención o almacenamiento de agua.

2.3.3. Ecosistemas

Constituyen un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional (Ministerio del Ambiente, 2018), conteniendo diversas funciones ecosistémicas, entre ellas el estar permanentemente inundados o saturados de agua como los bofedales, o contener agua en estado sólido como los ecosistemas de zona periglacial o glaciar.

2.3.4. Ecosistemas degradados

Son aquellos que han sufrido pérdida total o parcial de alguno de sus factores de producción (componentes esenciales: agua, suelo, cobertura vegetal y especies) que alteran su estructura y funcionamiento, disminuyendo por tanto su capacidad de proveer bienes y servicios. Sin embargo, medir todos los factores de

producción del ecosistema sería muy complejo y costoso, por lo que la metodología para la identificación de la degradación a nivel nacional utiliza principalmente dos indicadores: a) Cobertura de la tierra, cuantificada como cambio en la cubierta terrestre, b) Productividad de la tierra, estimada a partir de la Productividad Primaria Neta. (Ministerio del Ambiente, 2019).

2.3.5. Índice Normalizado Diferencial de la Vegetación (NDVI)

Es un indicador simple de la biomasa y la salud de la vegetación basado en la comparación de la luz roja visible y la luz infrarroja cercana que reflejan las plantas. Se calcula con la fórmula: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$, donde NIR es luz infrarroja cercana y Red es luz roja visible. Los valores del NDVI varían de -1 a 1, siendo los valores positivos los que corresponden a la cobertura vegetal y los valores negativos los que corresponden a otros tipos de coberturas de la tierra como: agua, nubes, nieve u otras estructuras artificiales (Yengoh et al., 2015).

2.3.6. Información geoespacial o geográfica

Son datos basados en la ubicación geográfica, o colecciones de hechos y otra evidencia sobre lugares sobre, arriba y debajo de la superficie de la tierra en formato tradicional de mapas en papel, globos terráqueos o atlas o como representaciones digitales (Ran, J. y Nedovic-Budic, Z., 2016). Esta información tiene varias utilidades entre ellas para la localización de las iniciativas de inversión para la recuperación de la infraestructura natural, la identificación de brechas, la planificación, el ordenamiento territorial, entre otros.

2.3.7. Infraestructura natural

Es la red de espacios naturales que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017), y los cuales requieren iniciativas de inversión pública o privada para su recuperación o conservación.

2.3.8. Iniciativas de inversión pública

Comprenden las intervenciones temporales con financiamiento de recursos públicos destinado a la formación de capital natural, físico,

humano, intelectual e institucional para crear, ampliar, mejorar o recuperar la capacidad de las entidades gubernamentales para proveer bienes y servicios (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017). Las iniciativas de inversión públicas usualmente responden a procesos de planificación como la planificación territorial, con la finalidad que estas inversiones contribuyan a la implementación de un modelo deseado del territorio. Una de las iniciativas de inversión lo constituyen los proyectos de inversión para la recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.

2.3.9. Ordenamiento u ordenación territorial

Es un proceso político y técnico administrativo destinado a orientar la ocupación ordenada y uso sostenible del territorio, sobre la base de la identificación de potencialidades y limitaciones, considerando criterios económicos, socioculturales, ambientales e institucionales (Ley N° 30230), la cual se realiza formulando un diagnóstico territorial para extraer un modelo actual del sistema territorial, para posteriormente efectuar la planificación a través del diseño de un modelo deseado del territorio, concertado con la población, formulando objetivos, lineamientos, indicadores e iniciativas de inversión contenidos en el Plan de Ordenamiento Territorial, y luego ejecutarlas con el acompañamiento del seguimiento y monitoreo permanente.

2.3.10. Planificación territorial

Constituye la integración de los enfoques de planificación global o económica y planificación sectorial coordinadas desde el Estado, teniendo como referente al territorio, el cual es sujeto y objeto de las acciones de planificación (Massiris, 2015). El Plan de Desarrollo Regional o Local Concertado constituye uno de los instrumentos de la planificación territorial a nivel de un departamento, provincia o distrito, mientras que el Plan de Gestión de Recursos Hídricos lo es en un ámbito de cuenca hidrográfica.

2.3.11. Servicios ecosistémicos

Son los beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e

indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas y se agrupan en cuatro tipos (Ministerio del Ambiente, 2019c) y pueden ser clasificadas en los servicios de soporte, servicios culturales servicios de provisión, y servicios de regulación, como el servicio ecosistémico de regulación hídrica

2.3.12. Servicio ecosistémico de regulación hídrica

Se origina cuando el ecosistema almacena agua en los periodos lluviosos y la libera lentamente en los periodos secos, proporcionando un balance natural entre caudales en época lluviosa con caudales de estiaje. A mayor capacidad de regulación, se espera un incremento del caudal base y una reducción en época de avenidas. La regulación hídrica depende principalmente de la intensidad y la estacionalidad de las precipitaciones, la cobertura vegetal, la profundidad del suelo, la alteración de la variabilidad climática y las prácticas de conservación de agua (Ministerio del Ambiente, 2019).

2.3.13. Soluciones basadas en la naturaleza

Son acciones para proteger, gestionar y restaurar de manera sostenible los ecosistemas naturales o modificados que hacen frente a los desafíos sociales de manera efectiva y adaptativa, proporcionando simultáneamente beneficios para el bienestar humano y la biodiversidad (UICN, 2020).

2.3.14. Tecnologías geoespaciales

Incluyen los sistemas de información geográfica (SIG) y el modelado (Ran, J. y Nedovic-Budic, Z., 2016), siendo el primero el que describe, explica y predice patrones y procesos en escalas geográficas, aplicada de resolución de problemas, mientras que el segundo constituye su representación lógica, conceptual o cartográfica, de utilidad para la planificación en general, y en particular para la planificación territorial

Capítulo III

Hipótesis y variables

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

A mayor información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica se tendrán más iniciativas de inversión referidas a la infraestructura natural en el marco de la inversión pública en el Perú.

3.2. Operacionalización de variables

3.2.1. Variable 1

Información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

3.2.2. Variable 2

Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

3.2.3. Matriz de operacionalización de variables

La operacionalización se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Técnica o instrumento
Información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica	Es el resultado de la combinación de información de ubicación, atributos o características del objeto, con información temporal, referida a la red de espacios naturales que conservan los valores y funciones de los ecosistemas, proveyendo servicios ecosistémicos. Equivale también a infraestructura verde.	Es la superficie del territorio georreferenciada (coordenadas geográficas o UTM) con atributos del tipo de ecosistema, estado de los ecosistemas y el servicio de regulación hídrica.	Estado de los ecosistemas	Superficie (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta.	Análisis geoespacial de tendencias (Mann-Kendal) en series de tiempo de índices de vegetación usando imágenes de satélite.
				Superficie (ha) con cambios de uso de la tierra	Análisis geoespacial de superposición (diferencia) de capas de uso de la tierra.
			Servicio ecosistémico (SE) de regulación hídrica (RH)	Áreas con alto Índice de retención de agua (WRI)	Análisis geoespacial de superposición (ponderada) de capas.
Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica	Es el conjunto de mecanismos organizados y planificados que permiten a los ecosistemas brindar soluciones basadas en la naturaleza	Proyectos de inversión pública de la tipología de ecosistemas identificados en el banco de inversiones, y potenciales áreas de interés para el SE de RH que se encuentren con evidencia de degradación.	Iniciativas identificadas con información geoespacial	Número de iniciativas con superficie (ha) de ecosistema degradado y de interés para el SE de RH	Análisis geoespacial de proximidad y/o agrupamiento
			Iniciativas identificadas en el sistema de inversiones (Invierte.pe)	Número de iniciativa propuestas en el banco de inversiones del MEF	Revisión del banco de inversiones del MEF, análisis y selección de proyectos de inversión con fines de regulación hídrica.

Capítulo IV

Metodología del estudio

4.1. Método y tipo de la investigación

4.1.1. Método

El presente trabajo de investigación fue desarrollado mediante el enfoque cuantitativo, metodología que se enfoca en la recolección y análisis de datos numéricos y estadísticos con el fin de medir variables de interés y generalizar los hallazgos de una muestra a una población más amplia. En la investigación se busca establecer la relación entre la cantidad de iniciativas de inversión propuestas en el banco de inversiones del *invierte.pe* y finanzas y el uso de información geoespacial, así como otros factores que puedan afectar dicha relación.

4.1.2. Alcance

El alcance de la presente investigación es correlacional, dado que se busca conocer la relación o grado de asociación (Gallardo, 2017) entre la Información geoespacial referida a la infraestructura natural que se dispone en el territorio nacional y el número de iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica registradas en el banco de inversiones del *invierte.pe*.

En el caso de los objetivos específicos se considera que corresponden al tipo descriptivo, porque se busca establecer el comportamiento y estructura de la planificación territorial de las iniciativas de inversión.

4.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es no experimental, de campo basado en la recolección de datos primarios del territorio y sus ecosistemas (sujeto de

investigación) dado que es muy difícil poder manipular o controlar las variables planteadas en la presente investigación.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población del presente estudio estuvo representada por todas las iniciativas de inversión vinculadas a la recuperación/restauración de ecosistemas y del servicio ecosistémico de regulación hídrica a nivel nacional registradas en el banco de inversiones del MEF considerando los datos disponibles desde el año en que se implementa el invierte.pe, es decir el 2018 al año de corte 2022.

4.3.2. Muestra

La selección de la muestra del presente estudio se realizó mediante un muestreo no probabilístico y censal.

Criterios de inclusión:

- Proyectos de inversión pública, alojados en el aplicativo de consulta del MEF, apartado consulta de inversiones avanzada (<http://ofi5.mef.gob.pe/inviertePub/ConsultaPublica/ConsultaAvanzada>), cadena funcional ambiente, en todos los departamentos, provincias y distritos del país, entre los años 2018 al 2022.
- Regulación hídrica, el problema a atender del proyecto esta relacionado a la recuperación del servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Criterios de exclusión:

- Proyecto de inversión pública antes del 2018, pertenecientes al sistema nacional de inversión pública (SNIP) se excluyen debido a que no se cuenta con información sistematizada.
- Proyectos de inversión asociados al uso sostenible de la

biodiversidad.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La principal técnica utilizada fue la documental para ello se usó instrumentos basados en tecnologías de teledetección (o percepción remota) y de análisis geoespacial de superposición mediante el uso de sistemas de información geográfica, siendo el principal instrumento las imágenes de satélite, las cuales permitieron recolectar información acerca de las variables biofísicas del territorio y sus ecosistemas, y determinar el estado del servicio ecosistémico de regulación hídrica e infraestructura natural del territorio peruano, así mismo para el caso de la iniciativas de inversión se revisó la base de datos de inversiones del MEF, documentos del ministerio del ambiente y planes territoriales regionales y locales.

La teledetección es el proceso de detección y seguimiento de las características físicas de un área midiendo su radiación reflejada y emitida a distancia. Es la adquisición de información a distancia, normalmente desde un satélite o un avión. Cámaras especiales recopilan imágenes de manera remota, que ayudan a los investigadores a visualizar o analizar cosas sobre la Tierra. La teledetección se utiliza en muchos campos, como la agricultura, la silvicultura, la geología, la hidrología, la oceanografía, la planificación urbana y más.

Estas imágenes satelitales tienen 4 tipos de resoluciones:

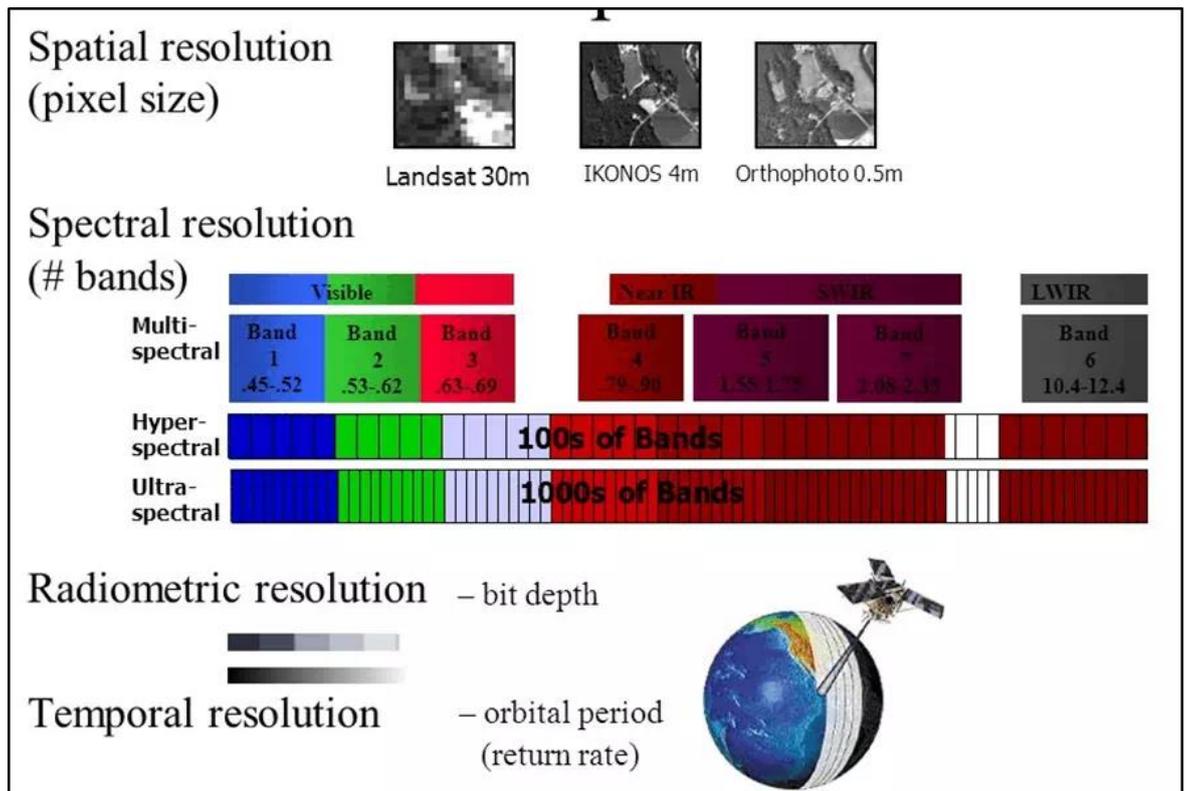
- a. Resolución espacial, la cual se refiere básicamente al tamaño de la unidad mínima detectable por el sensor (pixel).
- b. Resolución temporal, está definido por el tiempo que tarda el satélite en tomar dos imágenes del mismo sitio.
- c. Resolución espectral, es la capacidad de discriminar entre longitudes de onda vecinas en el espectro, por lo que determina el número de bandas disponibles.
- d. Resolución radiométrica, que está asociado a la sensibilidad del sensor

para determinar los cambios de energía producto de la radiación reflejada, es decir el número de intervalos de intensidad que puede captar el sensor.

A continuación, se muestra la figura 1 que resume las cuatro resoluciones.

Figura 1

Tipos de resoluciones aplicables a imágenes de satélite.

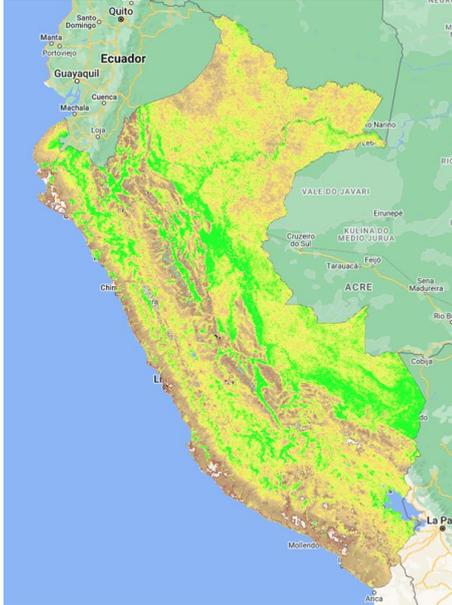


Fuente: Types of sensors resolutions applicable to remote sensing applications: Radiometric, Spatial, Spectral and Temporal, disponible en: <https://www.onestopgis.com/Aerial-Photography/Digital-Imaging/Digital-Image/2-Sensor-Resolutions-Radiometric-Spatial-Spectral-and-Temporal.html>

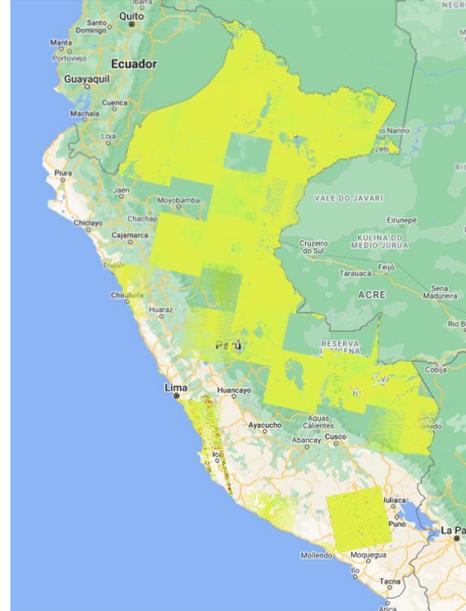
De las cuatro resoluciones mencionadas líneas arriba, existen dos de alta importancia para la presente investigación: resolución temporal y espacial; pues estas afectan la disponibilidad y cobertura de datos en todo el territorio nacional. En la figura 2 se muestra la diferencia entre la disponibilidad y cobertura de datos entre los sensores MODIS y Landsat para un año hidrológico (septiembre 2021 a agosto 2022).

Figura 2

Mapas con la comparación de cobertura de datos para un periodo entre imágenes (a) MODIS y (b) Landsat.



(a) MODIS



(b) Landsat (5, 7, 8 y 9)

Para la estimación de la superficie (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta, se utilizó todas las imágenes de satélite disponibles y proveídas por los sensores MODIS (Terra y Aqua), entre los años 2000 a 2022 (ver tabla 2), específicamente los productos MOD13Q1 y MYD13Q1 en su versión 6.1, los cuales proporcionan índices de vegetación (VI) por píxel, provee de dos capas de vegetación. El primero es el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), y la segunda capa de vegetación es el Índice de Vegetación Mejorado (EVI). Los productos MODIS NDVI y EVI se calculan a partir de reflectancias superficiales bidireccionales corregidas atmosféricamente que se han enmascarado para agua, nubes, aerosoles pesados y sombras de nubes.

Tabla 2

Disponibilidad de imágenes (tiles) por año

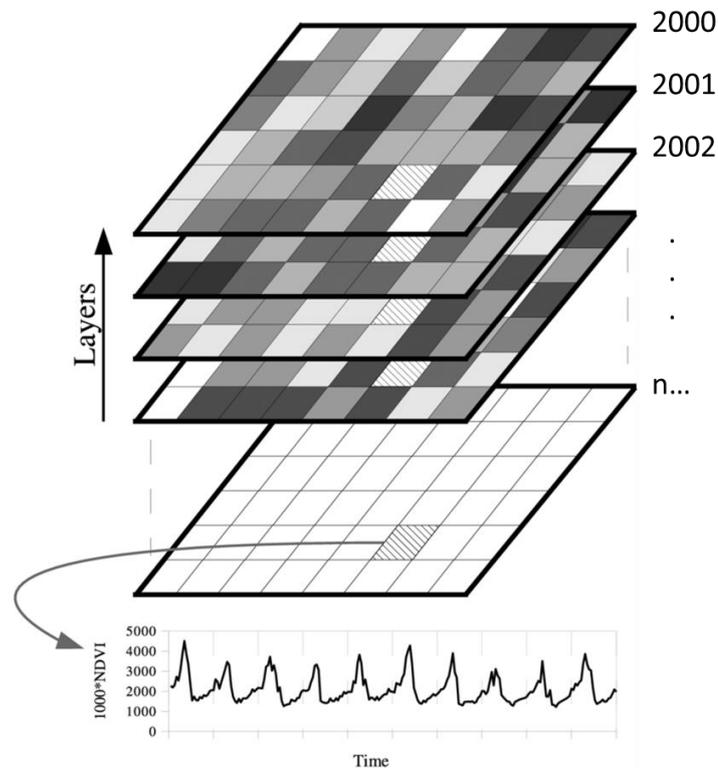
Año	N° imágenes
2000-2001	23

2001-2002	27
2002-2003	46
2003-2004	46
2004-2005	46
2005-2006	46
2006-2007	46
2007-2008	46
2008-2009	46
2009-2010	46
2010-2011	46
2011-2012	46
2012-2013	46
2013-2014	46
2014-2015	46
2015-2016	46
2016-2017	46
2017-2018	46
2018-2019	46
2019-2020	46
2020-2021	46
2021-2022	46
Total	970

Para fines de esta investigación se seleccionaron las capas de NDVI por ser uno de los más usados en el estudio del comportamiento de la cobertura vegetal, posteriormente estas escenas fueron compiladas de tal manera que permitan un análisis pixel a pixel y ordenadas cronológicamente de tal manera que el resultado fue una serie de tiempo, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 3, para luego ser sometidas a una prueba de tendencia de Mann Kendall (también denominada prueba MK), la cual busca tendencias crecientes o decrecientes, esta prueba genera dos estadísticos denominados tau y p-value.

Figura 3

Series de tiempo usando imágenes de satélite.



Fuente: Guyet, T., & Nicolas, H. (2016). Long term analysis of time series of satellite images. *Pattern Recognition Letters*, 70, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.11.005>

Sin embargo, las áreas degradadas también son aquellas que han sufrido un cambio de uso de la tierra, estas áreas se pudieron estimar mediante una diferencia entre mapas de cobertura y uso actual de diferentes años mediante un geoprocésamiento (álgebra de mapas) usando herramientas de un sistema de información geográfica. Existen diferentes iniciativas que han mapeado las coberturas de la tierra e identificado cambios bajo diferentes metodologías y en áreas focalizadas, una de las más recientes es la realizada por el ministerio del ambiente e incorpora información de las siguientes instituciones:

- Programa Nacional de Conservación de Bosques para la mitigación del Cambio Climático – PNCBMCC (Ministerio del Ambiente - MINAM).
- Proyecto Mejoramiento del Sistema de Información Agraria para el Desarrollo Agrario Rural del Perú – PIADER (Ministerio de Desarrollo

Agrario y Riego – MIDAGRI).

- Proyecto Pro-Bosques (JICA) – (PNCBCC y Servicio forestal SERFOR).
- Instituto del Bien Común (IBC).
- Proyecto de Análisis de Cambios de la Cobertura y Uso de la Tierra (MINAM-FDCUNALM y CAN).
- Monitoreo de cambio de la cobertura de la tierra – terra-i-perú. (Ministerio del Ambiente - MINAM).

En base a la experiencia del proyecto MAP Biomás implementado en el Perú por IBC en la cual se realizaron clasificaciones automatizadas basadas en árboles de decisión usando imágenes de satélite Landsat en la plataforma de Google Earth Engine para parte de zona andina y la amazonía, la primera colección fue lanzada el año 2019. Basándose en esta experiencia el MINAM en colaboración con el IBC replicaron la metodología ampliando su alcance a nivel nacional, la información fue complementada con digitalizaciones de áreas urbanas, áreas agrícolas y mineras y otras áreas de humedales costeros, sobre la base de imágenes de satélite Landsat entre los años 2011 y 2017. Los cambios en la cobertura (es decir la diferencia) entre estos dos años 2011 y 2017 se consideran áreas degradadas debido a que se ha perdido la cobertura original o natural de la tierra, el resultado de esta experiencia (disponible en el geoservidor del MINAM) se muestra en la figura 4.

Figura 4

Mapa del Perú con la identificación de áreas sujetas a cambio de uso.



Por otro lado, también fue necesario conocer aquellas áreas que por su estructura y funcionamiento son de interés para proveer el servicio ecosistémico de regulación hídrica para ello se utilizó el Índice de Retención de Agua (WRI, por sus siglas en inglés) y se enfocó la atención en los valores alto como potenciales zonas para la regulación hídrica. Este índice se calcula mediante la superposición ponderada geoespacial usando sistemas de información geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) de 5 componentes:

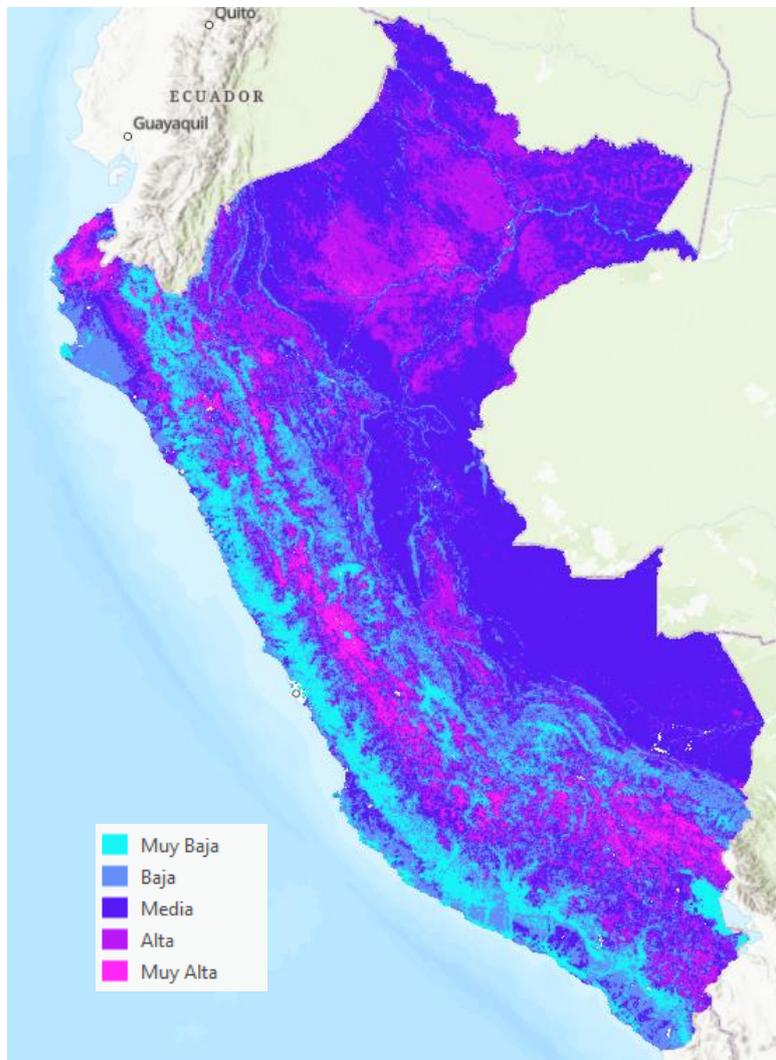
- a. Retención/almacenamiento vegetación (Rv),
- b. Masas de agua (Rwb),
- c. Suelo (Rs),

- d. Aguas subterráneas (Rgw), y
- e. Pendiente del terreno.

En conjunto describen la capacidad física del terreno para retener agua. Esto refleja el potencial máximo de retención de agua en el medio natural. Estos parámetros se puntúan de 0 a 10 en función de su impacto en la retención global del agua según la bibliografía disponible, y combinados reflejan la capacidad natural de retención. En un último paso, se tiene en cuenta el sellado del suelo (se supone que las zonas selladas no tienen capacidad de retención) para calcular el WRI final. El índice fue desarrollado para obtener una aproximación a diferentes escenarios de regulación hídrica (Vandecasteele et al., 2018). Para el Perú este índice fue implementado a nivel nacional por el Proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica, el resultado se muestra en la figura 5.

Figura 5

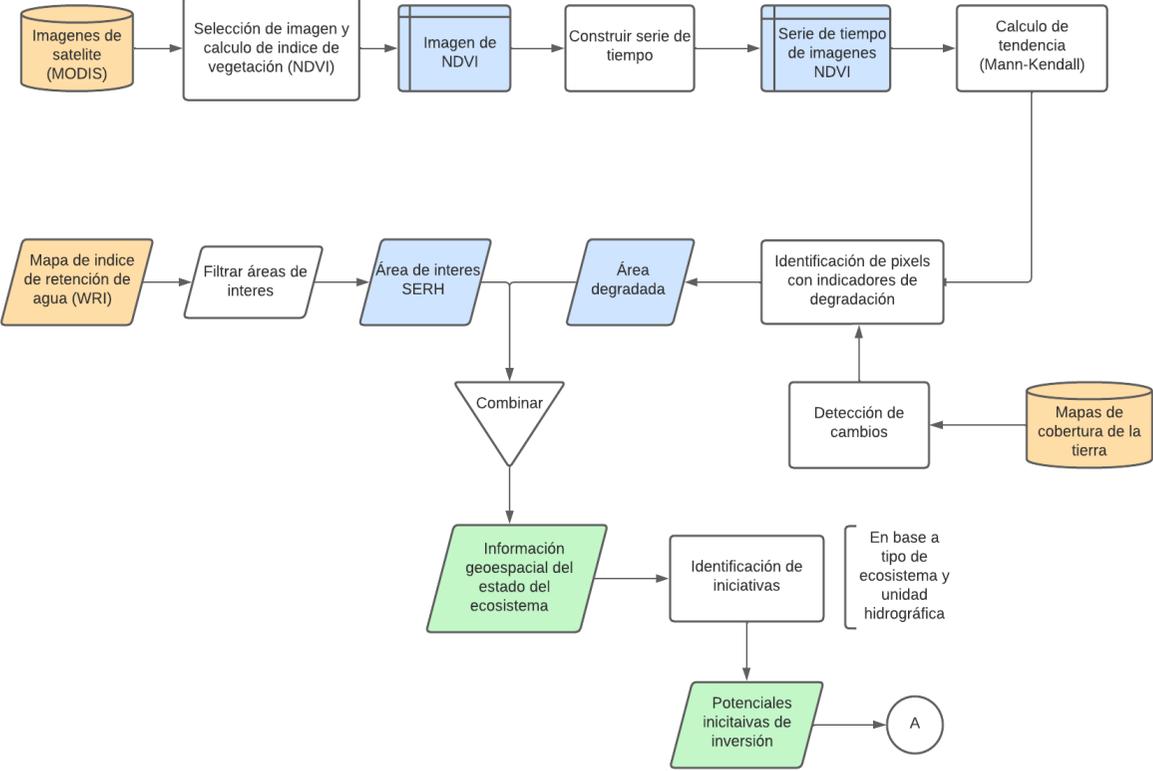
Mapa del Perú con el índice de retención de agua.



Todo esto ayudó a tener información de territorio y estimar las potenciales iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, lo que permitió obtener la primera variable. En la figura 6 se muestra el flujo de proceso para esta variable.

Figura 6

Diagrama de flujo para el procesamiento y análisis de la variable: información geoespacial.

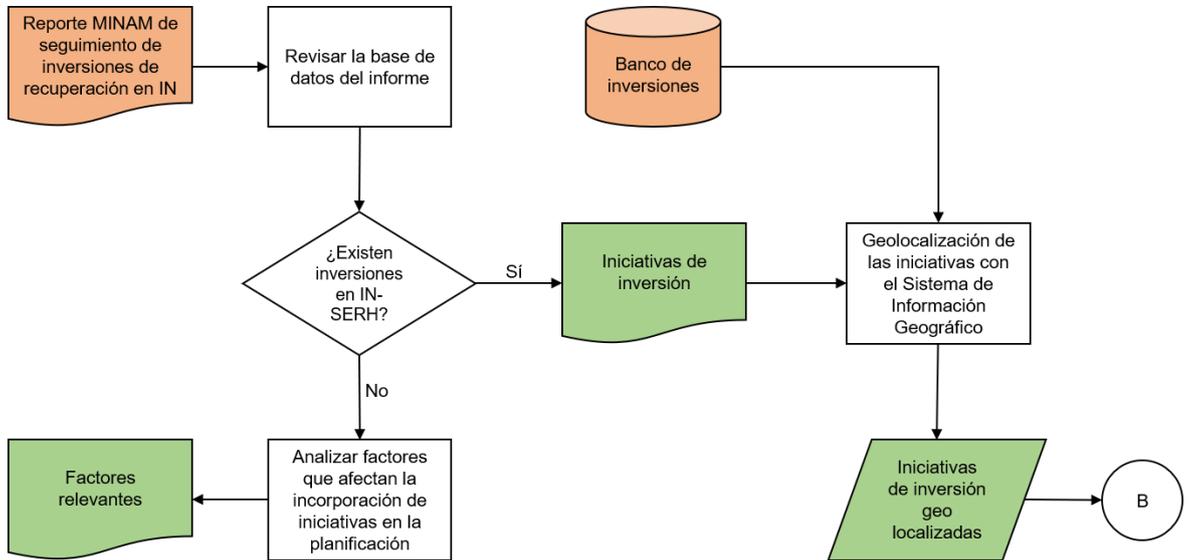


En cuanto a las iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica del Perú, éstas fueron extraídas del “Banco de Inversiones” y la “Consulta Amigable” del Ministerio de Economía y Finanzas a partir del Reporte del Ministerio del Ambiente con el seguimiento de las inversiones de recuperación de ecosistemas que contribuyen al cierre de brechas en el período 2018 - 2022, es decir desde la vigencia de la Programación Multianual de Inversiones, obteniendo la cuantificación de los proyectos de inversión de tipología de ecosistemas, naturaleza de recuperación, información que permite la geolocalización de las mismas.

En la figura 7 se puede apreciar que este reporte del MINAM contaba con una base de datos la cual fue revisada para determinar la existencia de inversiones en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, así como analizar los factores que afectan la incorporación de las iniciativas en la planificación. Las iniciativas de inversión identificadas fueron geolocalizadas con apoyo del Sistema de Información Geográfica, lo que permitió obtener la segunda variable.

Figura 7

Diagrama de flujo para el procesamiento y análisis de la variable: Iniciativas de inversión en Infraestructura Natural.

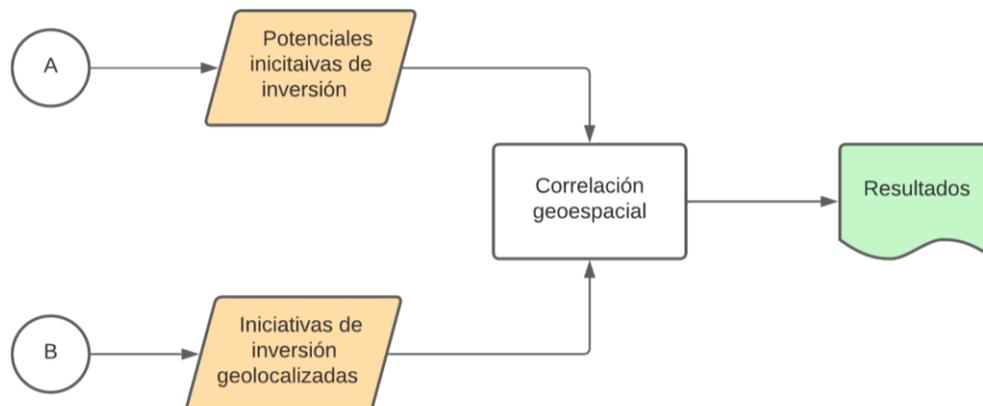


Cabe mencionar que en el análisis de los factores que influyeron en las iniciativas de inversión en la planificación territorial esta se llevó a cabo en dos niveles niveles: (i) regional (departamental) y (ii) local (provincial - distrital). En ambos casos se revisaron las plataformas de información del Ministerio del Ambiente, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, y del Centro Nacional de Planeamiento Estratégico, respectivamente, la disponibilidad de instrumentos de planificación territorial, tales como: plan de ordenamiento territorial, plan de acondicionamiento territorial y el plan de desarrollo concertado regional o local, recolectando los datos de los proyectos de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, contenidos en estos instrumentos.

Finalmente, al tener ambas variables geolocalizadas fue posible establecer una correlación entre ellas y evaluar la hipótesis general, tal como se aprecia en la figura 8.

Figura 8

Diagrama de flujo para el procesamiento y análisis entre ambas variables.



4.5. Técnicas de análisis de datos

Respecto a la variable de información geoespacial, para el indicador superficie (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta, se usó el análisis estadístico en series de tiempo en imágenes de satélite lo que permitió determinar la tendencia mediante el uso de una prueba no paramétrica de Mann-Kendal de la productividad de la cobertura vegetal, es decir que funciona para cualquier distribución (los datos no tienen que cumplir con el supuesto de una distribución normal) este análisis se realizó mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine.

La prueba no paramétrica de Mann-Kendall nos permitirá determinar el valor de tau y p-value.

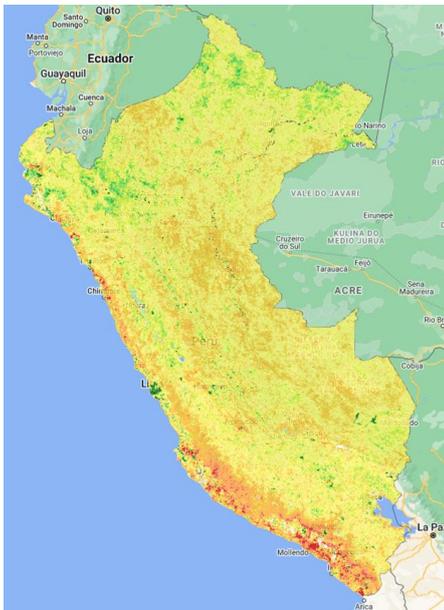
- El valor de Tau, varían de -1 (asociación negativa al 100% o inversión perfecta) a $+1$ (asociación positiva al 100% o acuerdo perfecto). Un valor de cero indica la ausencia de asociación.
- La significancia (p-Value), es una medida de fiabilidad en los resultados de un análisis. Determina si los datos que estamos recogiendo son fruto del azar o realmente existe una razón junto con unas variables que las ocasionan.

Por tanto, para determinar un área degradada se seleccionarán aquellos píxeles significativos (p -value menor o igual a 0.01) y con tendencia negativa (τ menor a 0).

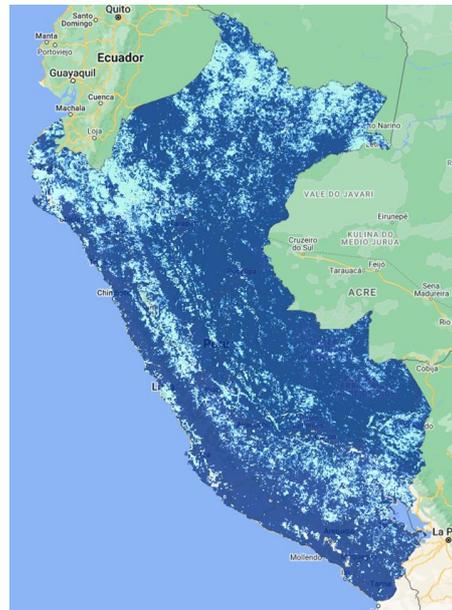
En la figura 9 se muestran los valores obtenidos de tendencia y significancia, es decir para τ y p -value respectivamente, mientras que en la figura 10 se aprecia el resultado de las áreas (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta.

Figura 9

Mapas con los valores de Tau y p-Value producto del análisis de tendencia.



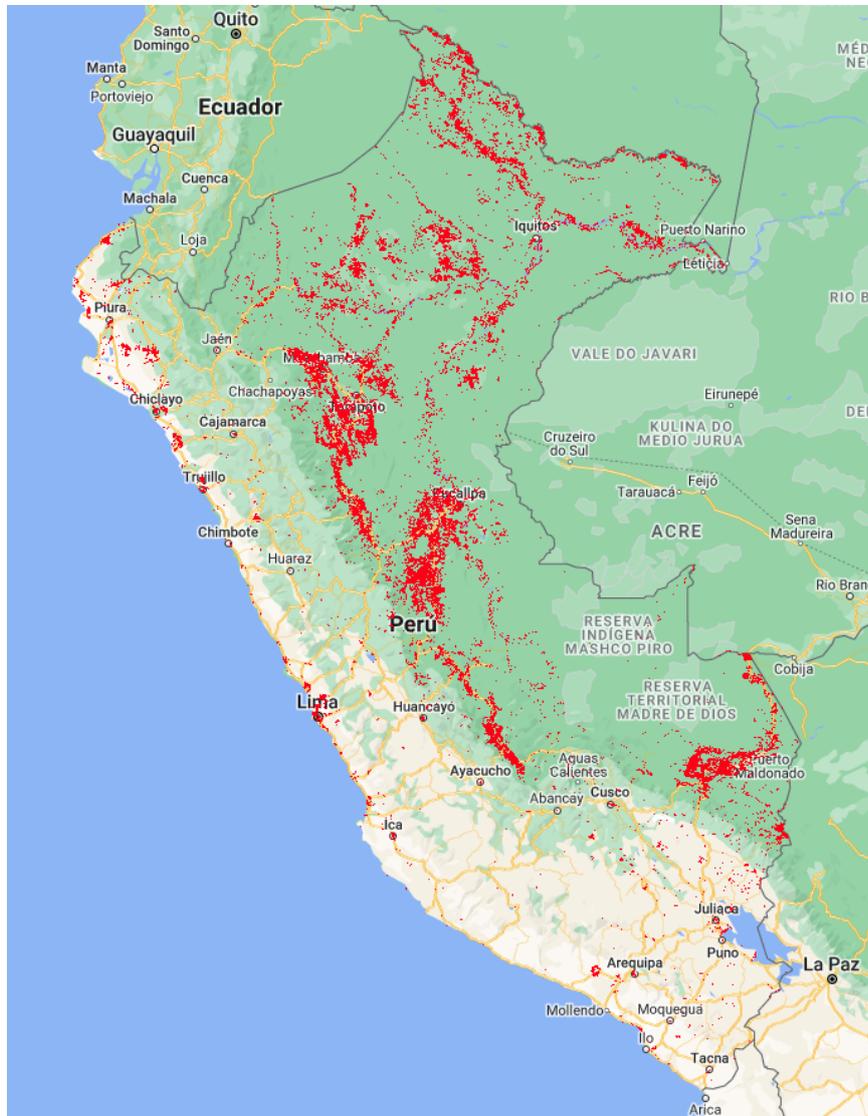
(a) Tau



(b) p-Value

Figura 10

Mapa con el resultado de las áreas con pérdida de productividad primaria neta.



Para determinar las áreas de interés se realizó en dos pasos:

El primer paso consistió en combinar las capas de los indicadores Superficie (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta (figura 10) y Superficie (ha) con cambios de uso de la tierra para obtener las áreas degradadas totales a nivel nacional (figura 4), mediante la técnica de álgebra de mapas con ayuda de un sistema de información geográfico.

El segundo paso consistió en superponer la capa de áreas degradadas totales a nivel nacional con la capa de información de la variable áreas con

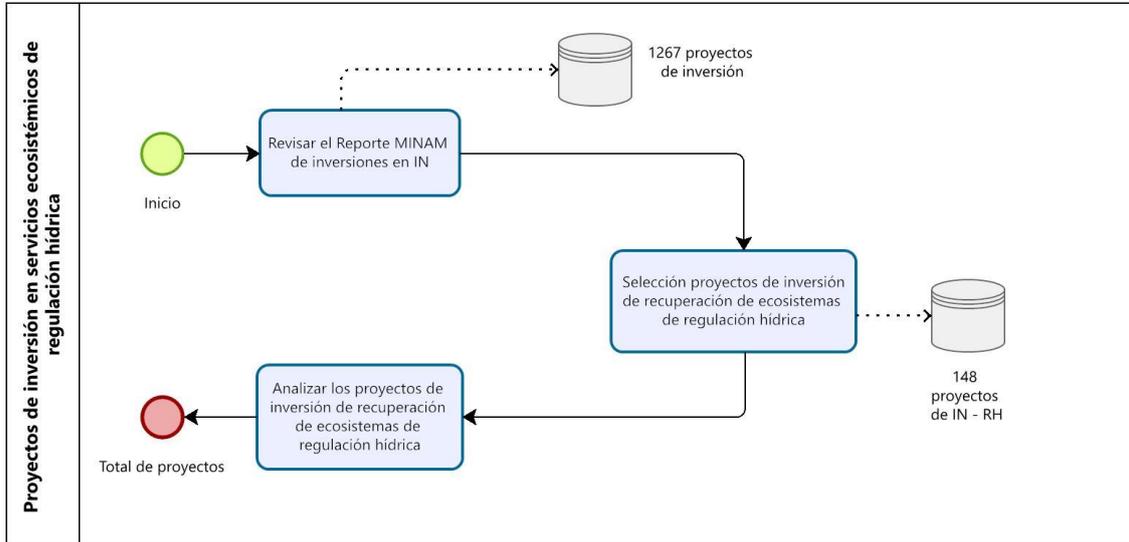
alto Índice de retención de agua (Figura 5). La intersección de ambas capas dió como resultado todas áreas de interés (es decir degradadas) con la condición o particularidad de tener una alta capacidad para la retención de agua. (Figura 15b)

Para los indicadores: Superficie (ha) con cambios de uso de la tierra, y Áreas con alto Índice de retención de agua (WRI) se usaron análisis geográficos (combinación, superposición u otros) también conocidos como álgebra de mapas o geoprocetamiento, todos estos análisis se realizaron mediante el uso de software sistema de información geográfica ArcGIS (ESRI), principalmente.

Respecto a la variable iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, estas se obtuvieron conforme a la secuencia señalada en la figura 11, primero se tomó como referencia la base de datos excel de 1267 iniciativas de inversión relacionadas al tipo de iniciativa de conservación o recuperación de ecosistemas, los cuales fueron recopilados por el MINAM, y que corresponden a proyectos viables en el período 2007-2022. Como segundo paso, se procedió a seleccionar a los proyectos de ecosistemas degradados con servicios ecosistémicos que requieren recuperación (EDSER) y almacenarlos en otra base de datos excel. El tercer paso consistió en seleccionar a los proyectos de ecosistemas degradados con servicios ecosistémicos de regulación hídrica que requieren recuperación (también conocidos como proyectos de servicios ecosistémicos de regulación hídrica - SERH), teniendo como criterio de exclusión a los proyectos con la tipología de servicios de apoyo al uso sostenible de la biodiversidad, para luego ser almacenados como otra base de datos como cuarto paso.

Figura 11

Flujograma con la selección de proyectos de la tipología de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.



Sin embargo, la obtención de los proyectos de servicios ecosistémicos de regulación hídrica requería su geocalización, aspecto que si bien en el reporte del Ministerio del Ambiente existía un atributo de localización geográfica había algunos pocos proyectos que no contaban con estos datos o presentaban inconsistencias en los valores asignados, por el cual se empleó el software del sistema de información geográfica QGIS para poder elaborar un mapa preliminar, el cual se puede observar en la figura 12. En este mapa se pueden ubicar las iniciativas de inversión en infraestructura natural según departamentos, provincias o distritos, conforme al atributo consignado en el reporte del Ministerio del Ambiente, por ejemplo se puede observar que las iniciativas se concentran generalmente en tres ámbitos geográficos: la sierra norte, la sierra y selva centro y la sierra sur.

Figura 12

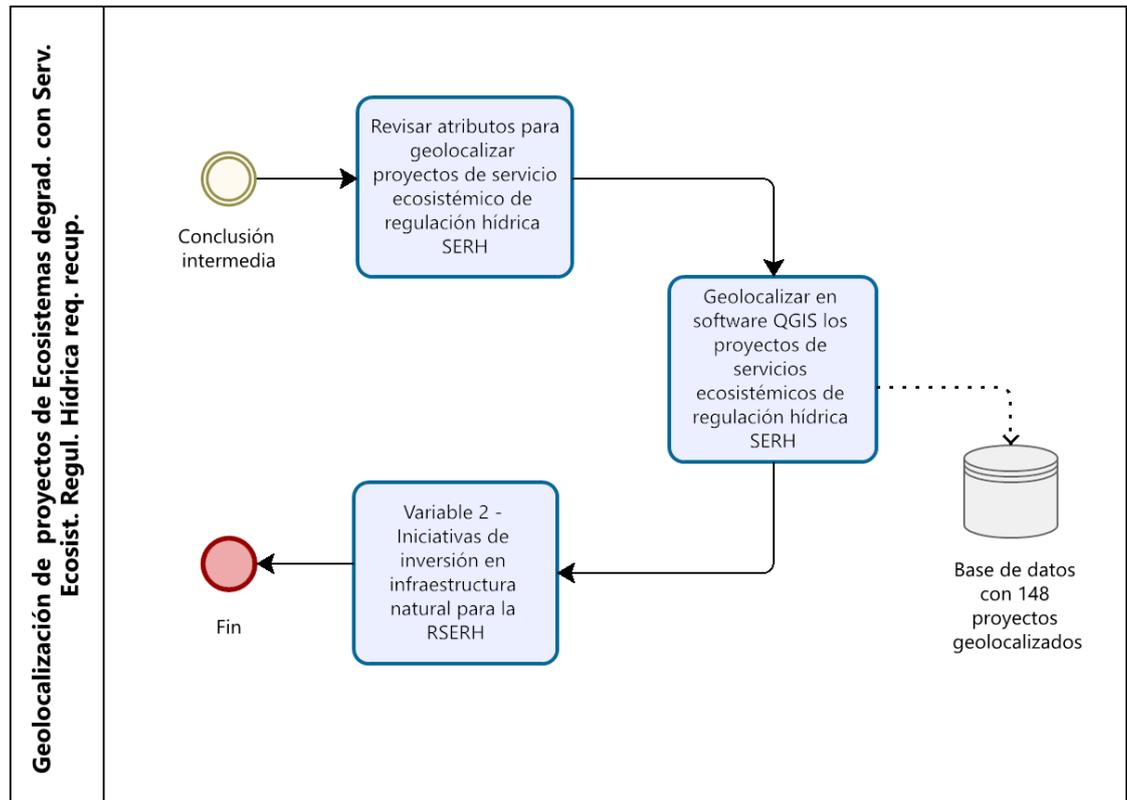
Localización de iniciativas de inversión determinadas por el Ministerio del Ambiente.



En tal sentido, en la figura 13 se muestran los pasos seguidos para la geolocalización de los proyectos de ecosistemas degradados con servicios ecosistémicos de regulación hídrica que requieren recuperación.

Figura 13

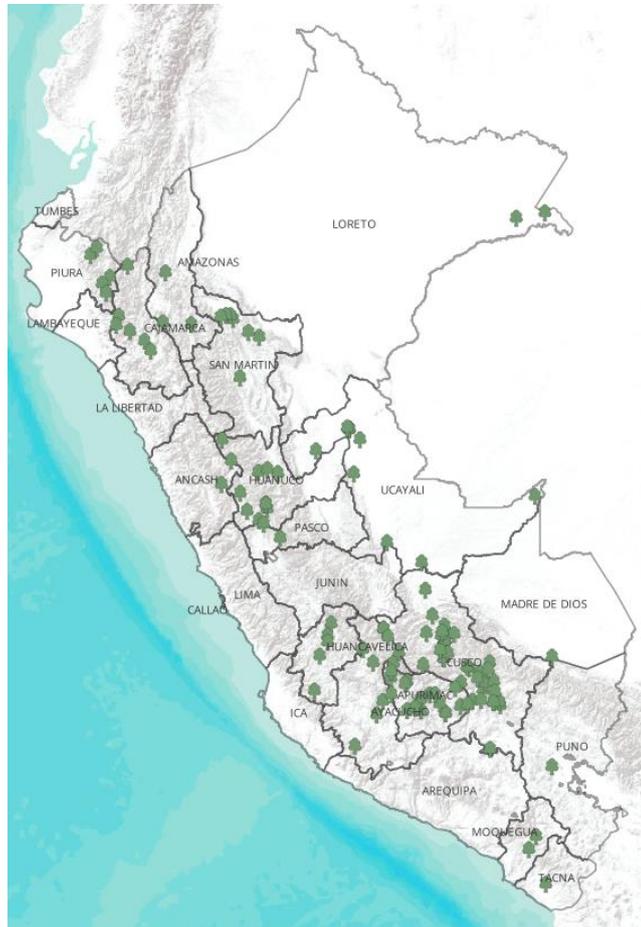
Flujograma que representa la identificación de 148 iniciativas de inversión relacionados a las iniciativas de inversión de recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica.



La representación cartográfica de los proyectos de recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica corresponde a la figura 14, donde se puede observar una mayor concentración de proyectos principalmente en los departamentos de Cusco, Apurímac y Huánuco.

Figura 14

Localización de iniciativas relacionadas a las iniciativas de inversión de recuperación de servicios ecosistémicos de regulación hídrica, determinadas por presente investigación.



Capítulo V

Resultados

5.1. Resultados y análisis.

En esta sección, se presentan los resultados de la investigación y se realiza un análisis detallado de los hallazgos obtenidos. Los resultados representan el producto tangible de un extenso proceso de recolección y análisis de datos que se ha llevado a cabo con el objetivo de responder a las preguntas de investigación planteadas en este estudio, asimismo se lleva a cabo un análisis crítico y reflexivo que permitirá una comprensión más profunda de la relevancia de estos resultados en el contexto general de la investigación y proporcionan una base sólida para las conclusiones y las recomendaciones que se presentarán en las siguientes secciones.

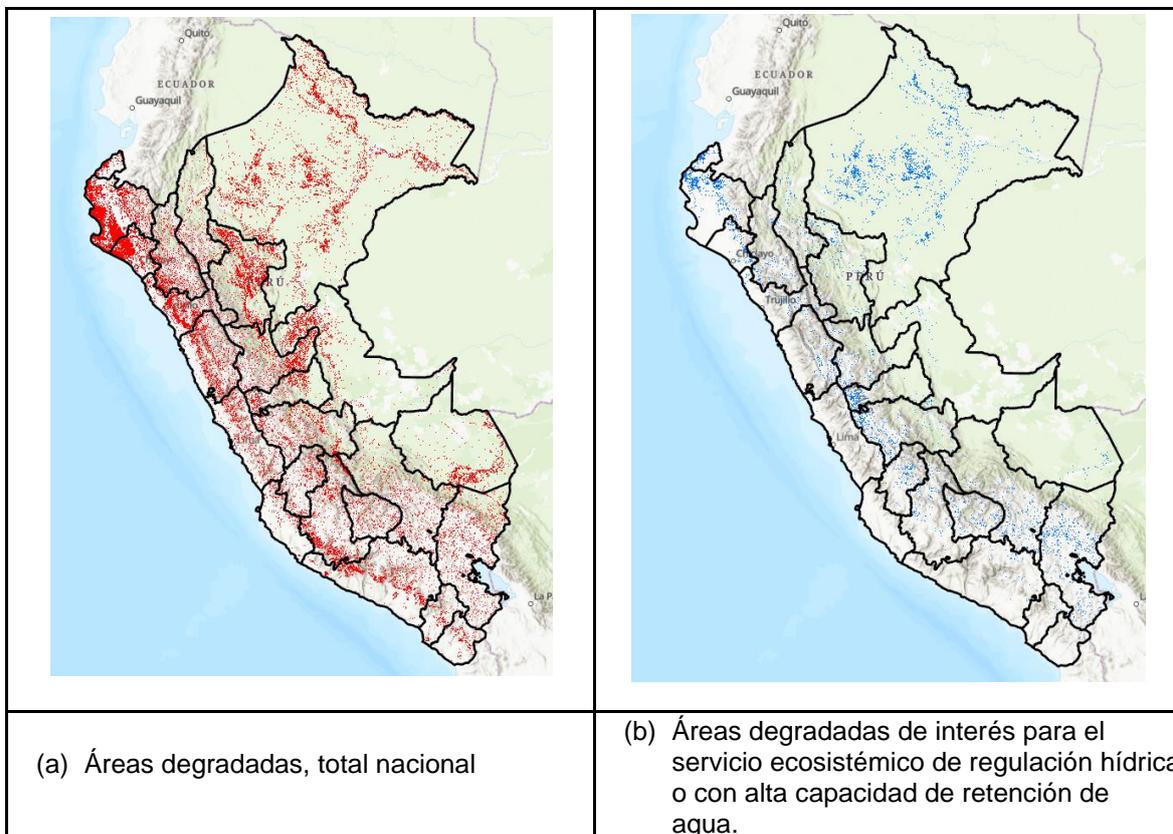
5.1.1. Áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Se identificaron en total 15,673,837.50 hectáreas degradadas en todo el Perú, lo que representa el 12.20% de la superficie total del país. Así mismo se obtuvo la superficie de áreas degradadas de interés para la regulación hídrica de 3,579,712.50 hectáreas, que representa el 2.79 % de la superficie total del país.

En la figura 15 se observa la distribución geográfica de la degradación total a nivel nacional (figura 15 a), y la degradación en zonas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica (figura 15 b). Asimismo, se puede observar que la degradación por el norte se concentra en los departamentos de Piura, Lambayeque y La Libertad, en los ecosistemas: Bosques estacionalmente seco de llanura, Bosques estacionalmente seco de Colina y Montaña y Matorral andino. Por el centro - oriente en los departamentos de San Martín, Huánuco y Ucayali se concentra en los ecosistemas: Vegetación secundaria, Bosque montano de yunga, Bosque basimontano de yunga, Bosque aluvial inundable, Bosque de colina alta y Bosque de colina baja. Por el sur en los departamentos de Ayacucho, Arequipa, Moquegua y Tacna se concentra en los ecosistemas: Loma costera, Matorral Andino y Pajonal de puna seca.

Figura 15

Áreas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.



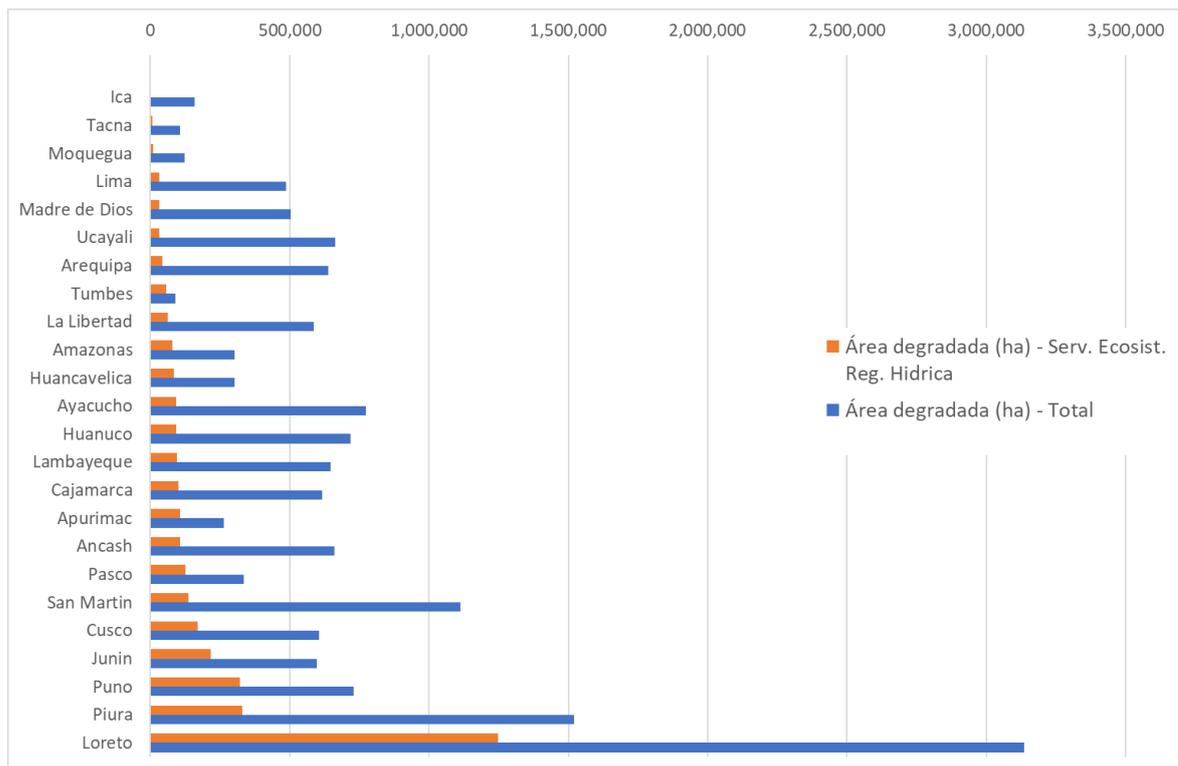
En la figura 16 se presentan las superficies de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica en hectáreas por departamento, se puede apreciar que la degradación se concentra en los departamentos de Loreto, Piura, San Martín, Ayacucho, Puno y Huánuco, siendo los más afectados, acumulando poco más de la mitad del total de las áreas degradadas (51%) es decir 7,988,612.50 ha. Asimismo, se presentan las superficies de área degradada (ha) con potencialidades para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, siendo los departamentos de Loreto, Piura y Puno los que presentan mayor degradación, acumulando un poco más de la mitad (53%) del total de estas áreas de interés, lo que equivale a 1,899,093.75 ha.

Solo existe un caso donde no se presentan áreas degradadas ni de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, que es la provincia constitucional del Callao debido a que es una ciudad conformada hace mucho tiempo atrás que escapa a la temporalidad de los datos utilizados.

En el caso de los departamentos de Ica, Tacna, Moquegua y Lima presentan pocas áreas degradadas de interés para la regulación hídrica, representando el 0.04% del total.

Figura 16

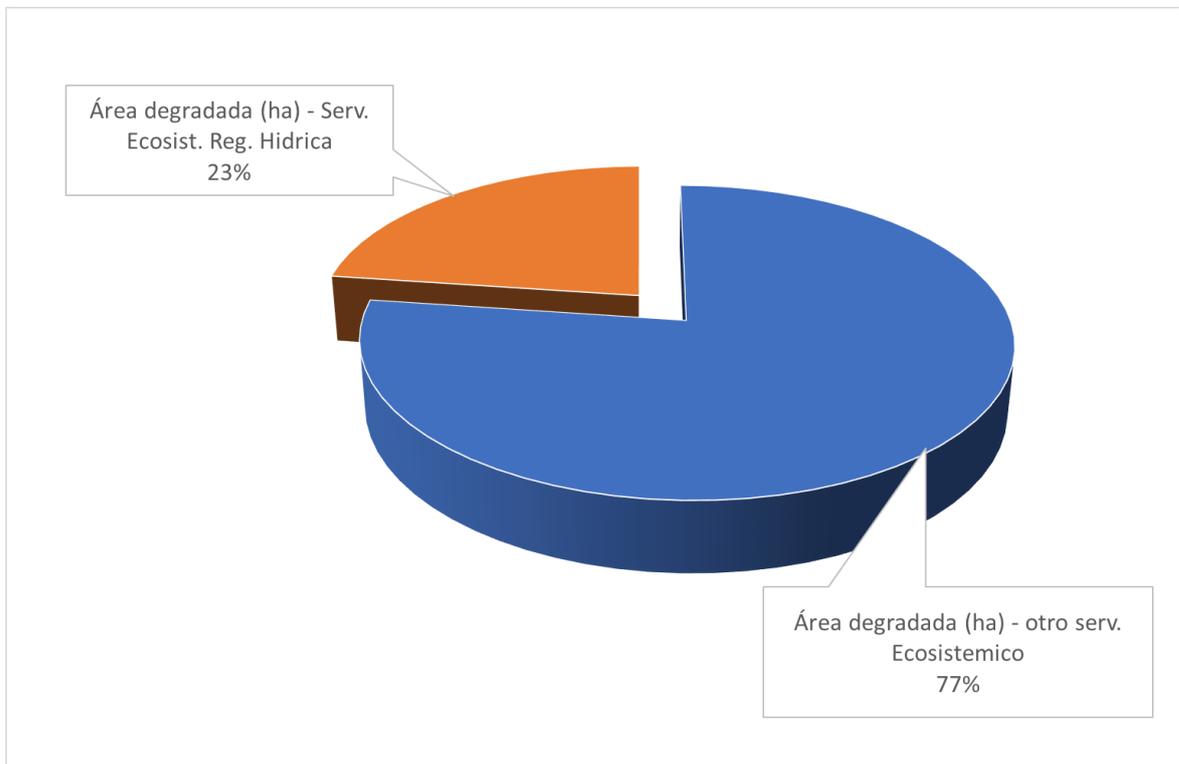
Superficies de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica en hectáreas por departamento.



En la figura 17, se puede observar la relación entre las áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y el total de áreas degradadas, es decir solo el 23% del total de áreas degradadas a nivel nacional tienen alguna condición o característica que lo hace de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Figura 17

Superficies de áreas degradadas total y servicios ecosistémicos a nivel nacional.



5.1.2. Relación entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial.

Para determinar la relación se estableció como variables la información geoespacial, es decir la referida a aquellas superficies o áreas (en hectáreas) degradadas estimadas por departamento de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, y las iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. Para el establecimiento de la relación se contabilizó el número de iniciativas de inversión con su respectivo monto de inversión programado (S/.) y la superficie de

intervención (ha) agregadas a nivel departamental (regional) y a nivel local.

En la tabla 3 se muestra el detalle de las cifras para cada variable y desagregada por departamento, se puede apreciar que los departamentos de Cusco, Apurímac, Huánuco y Ucayali presentan una cantidad de iniciativas de inversión inusual, considerando todos los datos el promedio de iniciativas de inversión es 7.8, si retiramos estos cuatro departamentos antes mencionados el promedio de iniciativas de inversión se reduce a 3.2.

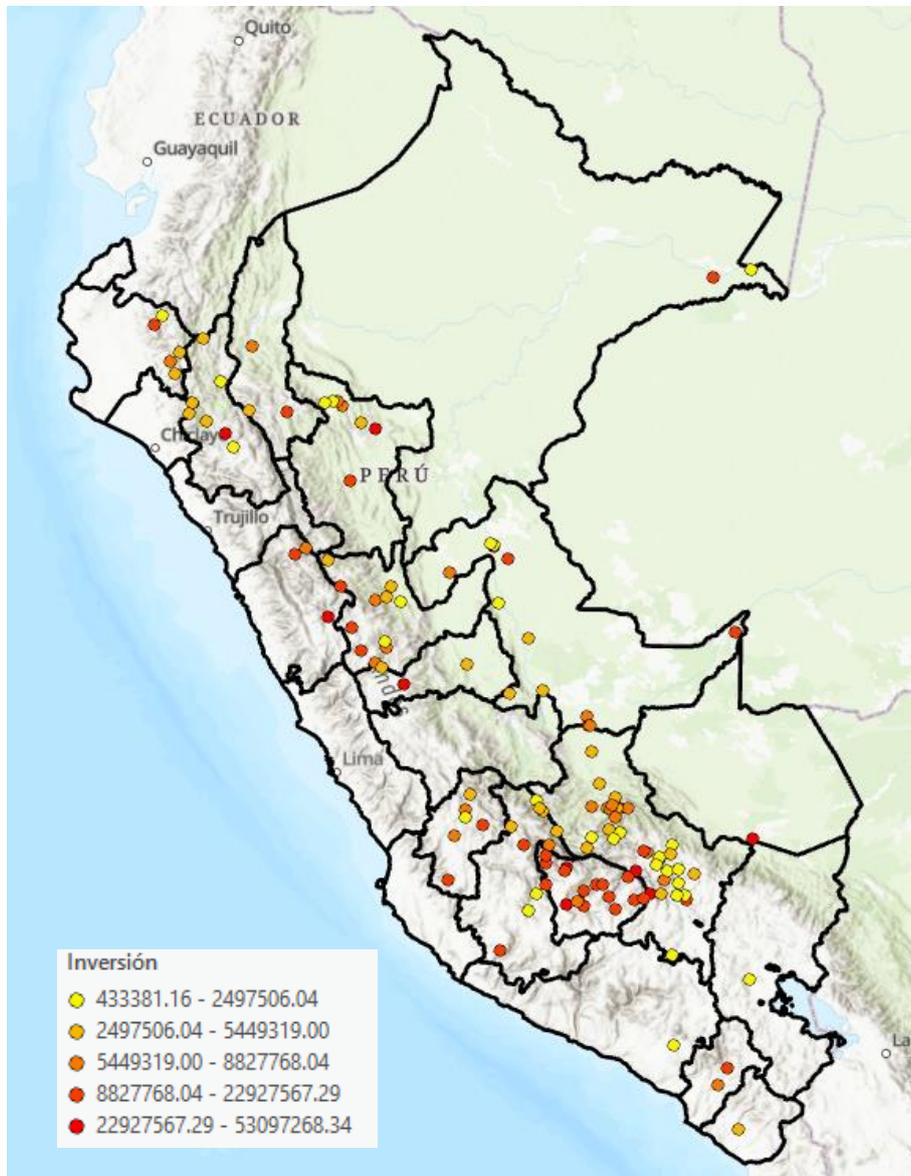
Tabla 3*Degradación de ecosistemas e iniciativas de inversión por departamento.*

Departamentos	Información geoespacial	Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica		
	Área degradada (ha) - Serv. Ecosist. Reg. Hídrica	N° iniciativas	Monto inversión programado (S/.)	Superficie de intervención (ha)
Amazonas	80,193.75	3	22,067,834.77	8,647.45
Ancash	106,306.25	3	65,180,806.00	14,879.00
Apurímac	105,362.50	18	267,208,730.20	62,096.53
Arequipa	43,375.00	1	1,235,420.00	40.00
Ayacucho	91,750.00	8	52,326,298.10	7,506.00
Cajamarca	100,125.00	5	41,795,222.81	39,014.00
Callao	-	0	-	-
Cusco	171,006.25	56	370,577,501.95	56,729.92
Huancavelica	83,393.75	6	59,371,011.31	6,817.00
Huánuco	93,693.75	13	77,418,332.38	13,746.00
Ica	381.25	0	-	-
Junín	217,512.50	0	-	-
La Libertad	61,287.50	0	-	-
Lambayeque	96,812.50	2	9,666,097.67	2,080.00
Lima	31,318.75	0	-	-
Loreto	1,248,943.75	2	12,695,083.24	1,939.00
Madre De Dios	31,656.25	1	37,866,633.79	5,400.00
Moquegua	9,250.00	2	20,747,072.38	2,303.00
Pasco	124,662.50	2	32,968,159.00	5,345.00
Piura	329,987.50	5	26,298,674.04	4,740.31
Puno	320,162.50	1	1,197,182.46	62.50
San Martín	135,693.75	7	76,005,153.78	12,918.00
Tacna	6,393.75	1	3,907,983.74	54,686.92
Tumbes	57,712.50	0	-	-
Ucayali	32,731.25	12	83,554,252.37	4,486.00
Total	3,579,712.50	148	1,262,087,449.99	303,436.63
Promedio		7.8		

En la figura 18 se puede apreciar una concentración (cluster) tanto en número como monto de inversión en los departamentos del sur, especialmente en Apurímac y Cusco.

Figura 18

Distribución espacial de las iniciativas de inversión clasificadas por monto de inversión.



Al realizar un análisis de regresión lineal entre ambas variables se obtuvo un coeficiente de determinación o coeficiente de Pearson (r^2) de $5E-6$ lo cual significa que no existe una correlación estadística.

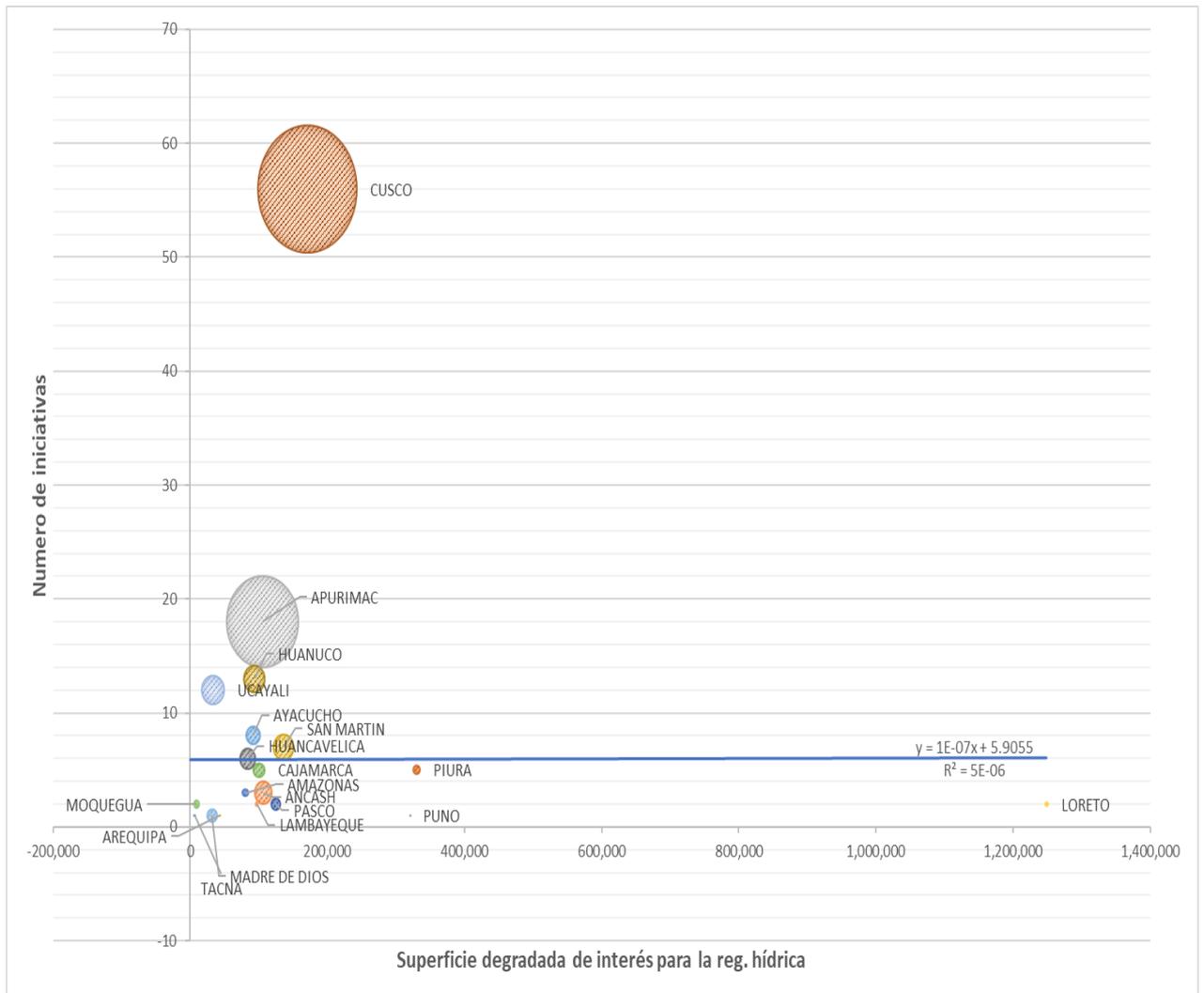
En la figura 19, se muestra un gráfico de dispersión entre variables, en el eje "x", las superficies en hectáreas degradadas de interés para

el servicio ecosistémico de regulación identificadas por departamento, y, en el eje “y” se representa el número de iniciativas de inversión agrupados por departamentos, el diámetro de los círculos representa el monto total de inversión programado de todos los proyectos por departamento. Asimismo se observa que los departamentos de Loreto y Cusco destacan al ubicarse en los extremos de cada eje, Loreto presenta una gran cantidad de áreas degradadas de interés identificadas (1,248,943.75 ha) pero con dos iniciativas de inversión y que en suma representan una inversión de S/ 12,695,083.24 sin embargo, sólo atenderán 1,939.00 ha; para el caso de Cusco se han identificado 171,006.25 ha y se plantea atender con 56 proyectos de inversión que representa una inversión de S/ 370,577,501.95 para atender a 56,729.92 ha.

Por otro lado, el departamento de Apurímac presenta un monto de inversión de S/. 267,208,730.20 en 18 iniciativas de inversión, siendo el tercer departamento con mayor cantidad de número de iniciativas, que buscan atender una superficie de 62,096.53 ha, para este departamento se determinaron 105,362.50 ha degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Figura 19

Superficie degradada con información geoespacial y el número de iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.



Así mismo, en la figura 20 se compararon las áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, con las superficies a ser intervenidas por las iniciativas de inversión diferenciadas por departamentos. En este punto se tuvo una limitación en cuanto a la obtención de datos en los proyectos de inversión dado que el sistema de inversión no provee información específica o detallada de donde se van a hacer las intervenciones. En casi todos los casos se aprecia que existen más superficies degradadas de interés (con información geoespacial) que áreas a ser atendidas con

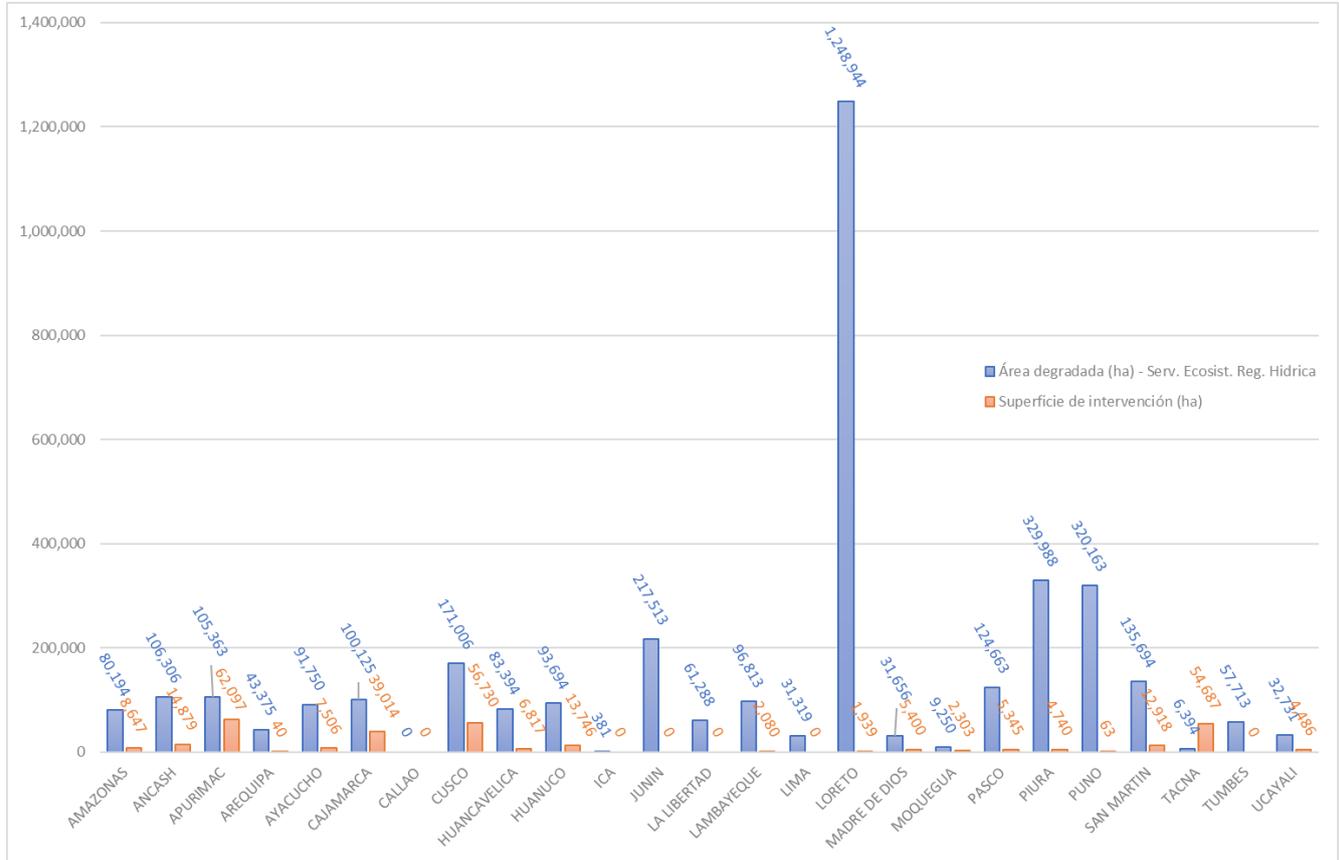
iniciativas de inversión, es decir existe una brecha por cubrir. Loreto es el departamento que presenta una gran brecha por atender, tienen inversiones programadas para atender 1,939.00 ha sin embargo se han identificado 1,248,943.75 ha. degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

El caso excepcional ocurre en el departamento de Tacna donde se identificaron 6,393.75 ha que requieren ser atendidas, sin embargo tiene programado sólo una iniciativa de inversión que busca atender 54,686.92 ha.

En cuanto a la cantidad de superficie programada en las iniciativas de inversión, los departamentos con mayor número de superficie a intervenir son: Apurímac (62,096.53 ha), Cusco (56,729.92 ha), Tacna (54,686.92 ha) y Cajamarca (39,014.00 ha); los departamentos con menor superficie a intervenir son: Puno (62.50 ha) y Arequipa (40.00 ha)

Figura 20

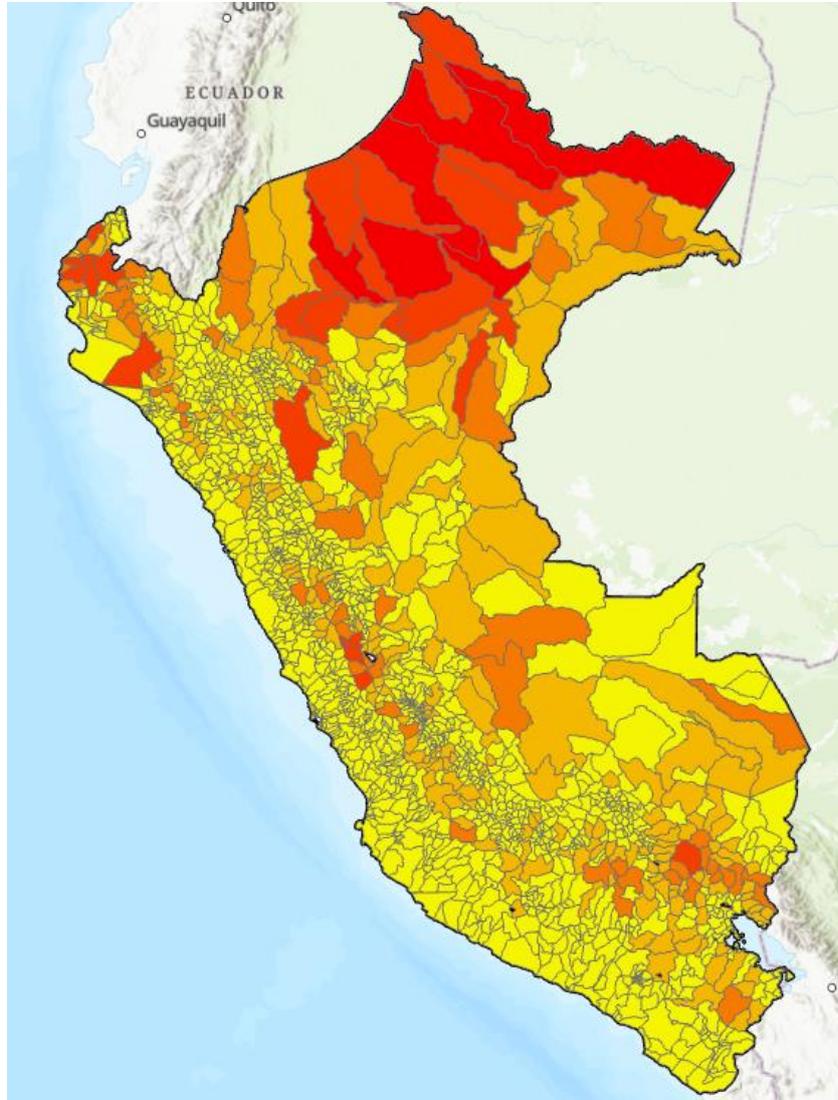
Superficies degradadas de interés y superficies a ser intervenidas por las iniciativas de inversión diferenciadas por departamentos.



En la figura 21 se puede observar la información geoespacial de áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica a nivel local (distritos), con el fin de identificar agrupamientos y realizar una correlación espacial, se obtuvo como resultado al descrito en el único de este capítulo tanto al norte, centro-oriente y sur, pero permitió enfocar en 29 iniciativas de inversión de gobiernos locales para realizar una correlación.

Figura 21

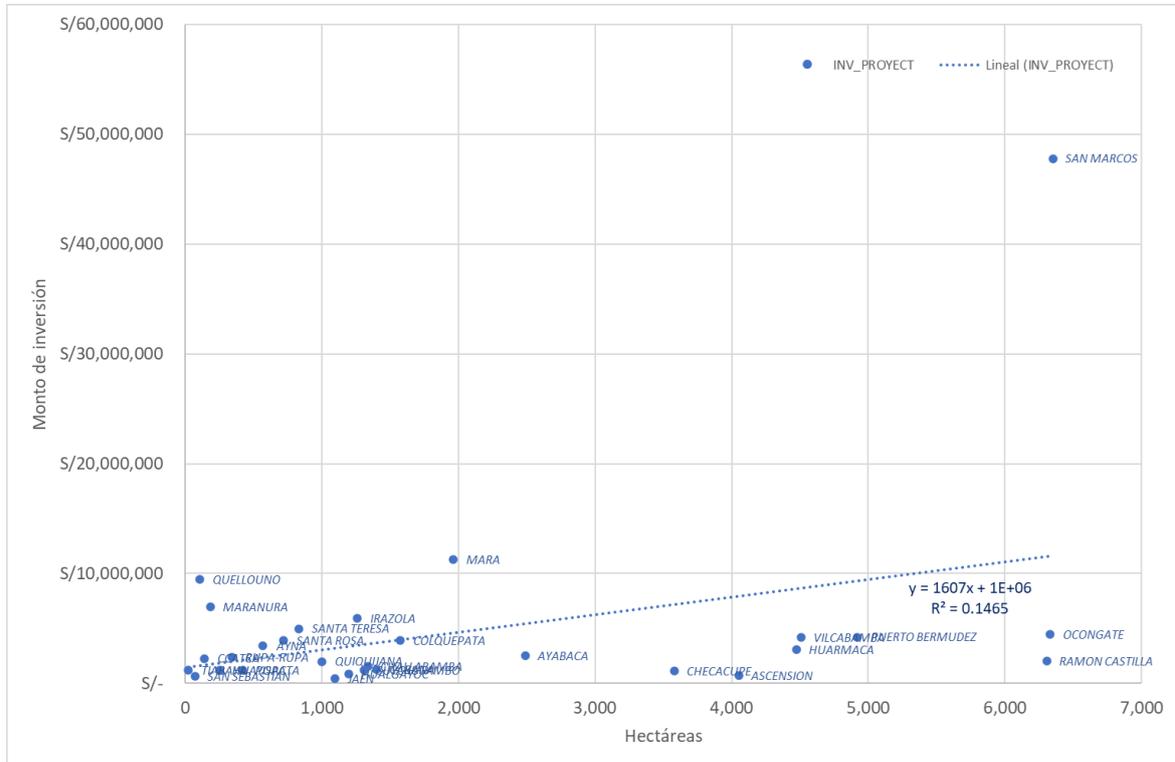
Información geoespacial de áreas degradadas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica agrupadas a nivel local.



En la figura 22 se muestra el resultado de esta nueva correlación usando datos agrupados por municipalidades locales, es decir provinciales y distritales considerando como variables: la información geoespacial y el monto de inversión de las iniciativas de inversión, se obtuvo un coeficiente de determinación o coeficiente de Pearson (r^2) de 0.1465 lo cual significa que existe una correlación estadística pero muy débil. Sin embargo, resalta el caso del distrito de San Marcos en el departamento de Ancash pues presenta una inversión de S/. 47,785,413 para atender 12,074 hectáreas.

Figura 22

Correlación entre las variables de información geoespacial e Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica a nivel de municipios locales.



5.1.3. Análisis de correlación entre la información geoespacial en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos de regulación hídrica.

En la tabla 8 se puede observar *Análisis de la relación de las variables de estudio*: la variable 1 - Información geoespacial de hectáreas degradadas del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica, y la variable 2 - Número de iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Tabla 4*Análisis de la relación de las variables de estudio.*

Departamentos	Variable 1 - Información geoespacial de hectáreas degradadas del Servicio Ecosistémico de Regulación Hídrica	Variable 2 - Número de iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica
Amazonas	80193.75	3
Ancash	106306.25	3
Apurímac	105362.50	18
Arequipa	43375.00	1
Ayacucho	91750.00	8
Cajamarca	100125.00	5
Callao	0.00	0
Cusco	171006.25	56
Huancavelica	83393.75	6
Huánuco	93693.75	13
Ica	381.25	0
Junín	217512.50	0
La Libertad	61287.50	0
Lambayeque	96812.50	2
Lima	31318.75	0
Loreto	1248943.75	2
Madre De Dios	31656.25	1
Moquegua	9250.00	2
Pasco	124662.50	2
Piura	329987.50	5
Puno	320162.50	1
San Martín	135693.75	7
Tacna	6393.75	1
Tumbes	57712.50	0
Ucayali	32731.25	12
Total	3,579,712.50	148.00

En tanto que, en la tabla 9 se presenta la estimación de la probabilidad de la ocurrencia de las dos variables.

Tabla 5

Determinación de la probabilidad para aceptar o rechazar la hipótesis nula

	Variable 1	Variable 2
Media	143188.5	5.92
Varianza	60571759791	130.576667
Observaciones	25	25
Coefficiente de correlación de Pearson	0.002177561	
Diferencia hipotética de las medias	0	
Grados de libertad	24	
Estadístico t	2.908875513	
P(T<=t) una cola	0.003848913	
Valor crítico de t (una cola)	1.71088208	
P(T<=t) dos colas	0.007697825	
Valor crítico de t (dos colas)	2.063898562	

Con esta información fue posible contrastar la hipótesis, las mismas que se encuentran en la tabla 10.

Tabla 6

Contrastación de la hipótesis.

$H_0: \rho = 0$ (no existe correlación lineal)
$H_1: \rho \neq 0$ (existe correlación lineal)

Por tanto, existe una correlación positiva débil entre la información geoespacial de infraestructura natural para el servicio ecosistémico

de regulación hídrica y las iniciativas de inversión sobre esta tipología de proyectos con un valor de probabilidad estimada en 0.003848913.

5.1.4. Factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.

Se analizaron los siguientes factores: Marco regulatorio, cuantificación de beneficios de la infraestructura natural a la seguridad hídrica, enfoque integral en el territorio, y participación pública. Debido al número de iniciativas propuestas y el monto de inversión programado el análisis de estos factores fue aplicado a los departamentos de Apurímac, Cusco, Huánuco y Ucayali; así como el distrito de San Marcos, localizado en la provincia de Huari, departamento de Ancash, este último porque la superficie de interés para iniciativas de inversión y el monto programado eran superiores a lo habitual en otros distritos.

A continuación, se detalla por cada factor los resultados encontrados:

- **Marco regulatorio:** Conforme a la figura 23, se puede apreciar que entre los años 2014 al 2019 se emitieron normas que configuraron un escenario propicio para fomentar las inversiones en infraestructura natural. Así tenemos que en materia de planeamiento se aprobó la Directiva General del proceso de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2014), el cual incorporaba en su anexo 1 a los proyectos de inversión pública de impacto territorial, y fueron formulados con esa lógica los planes de desarrollo regional concertado (PDRC de Ucayali en el 2015, PDRC de Apurímac, Huánuco, Cusco y distrito de San Marcos, todos en el 2016); mientras que en materia de inversión pública fue derogado el Sistema Nacional de Inversión Pública - SNIP y se creó en su reemplazo el Sistema Nacional de de Programación Multianual de Inversiones - SNPMI (Decreto Legislativo 1252 del

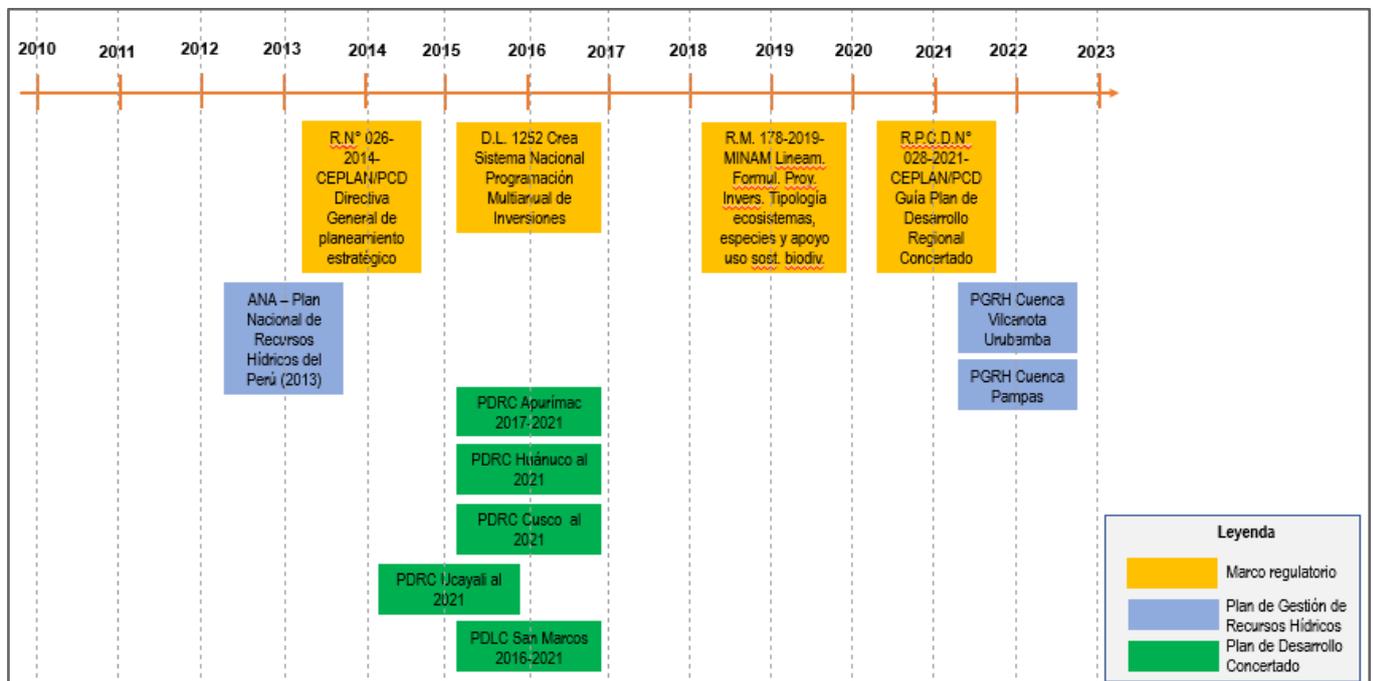
año 2016), y en el año 2019 fueron aprobados los “Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad” (MINAM, 2019).

- **Cuantificación de beneficios de la Infraestructura Natural a la seguridad hídrica:** Si bien en el diseño de los proyectos de infraestructura natural se plantean una serie de beneficios, no fue posible contar con algún informe de evaluación de los proyectos de inversión en los ámbitos señalados cuyas fechas de cierre estuvieron programados hasta el año 2022.
- **Enfoque integral en el territorio:** Los departamentos de Apurímac y Cusco forman parte de las cuencas donde la Autoridad Nacional del Agua ha aprobado el Plan de Gestión de Recursos Hídricos, en el cual se plantean iniciativas relacionadas a la conservación de ecosistemas, como en el caso del plan de gestión de recursos hídricos (PGRH) de la cuenca Vilcanota - Urubamba (ANA, 2021), a través del diseño de programas de inversión dirigidos por ejemplo, a la mejora de la infraestructura de riego existente, compuesta por tres intervenciones: (i) la implementación de infraestructura natural y técnicas ancestrales, (ii) el establecimiento y gestión de áreas de conservación y otras modalidades, y (iii) la recuperación de conocimiento y tecnología ancestrales. En los casos de los departamentos de Huánuco (cuenca del río Huallaga) así como de Ucayali (cuenca del río Ucayali) no se identificaron planes similares. En ese sentido, los departamentos de Apurímac y Cusco sí contaron con mejores condiciones respecto a un enfoque integral en el territorio respecto a las iniciativas de inversión identificadas.
- **Participación pública:** Los departamentos de Apurímac y Cusco presentan factores favorables respecto a la participación pública mediante el funcionamiento de las Comisiones Ambientales Regionales, las cuales son parte del Sistema Nacional de Gestión

Ambiental, el que a su vez integra al Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, conforme a la Ley 29338 - Ley de Recursos Hídricos. En los casos de los departamentos de Huánuco y Ucayali, así como en el distrito de San Marcos, no fue posible determinar el funcionamiento de las comisiones señaladas.

Figura 23

Línea de tiempo de los factores relacionados al marco regulatorio y enfoque integral del territorio.



Asimismo, en las tablas 4 y 5 se muestran las evidencias encontradas para cada factor y para cada departamento analizado.

Tabla 7

Análisis de los factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural (IN) para el servicio ecosistémico de regulación hídrica: Nivel departamental / regional

Departamentos	Factores			
	Marco regulatorio (a)	Cuantificación de beneficios de la IN a la seguridad hídrica (b)	Enfoque integral en el territorio (c)	Participación pública (d)
Apurímac	Entre los años 2014 al 2019 se emitieron normas que configuraron un escenario propicio para fomentar las inversiones en infraestructura natural. En materia de planeamiento se aprobó la Directiva General del proceso de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2014), mientras que en el año 2016 se creó el Sistema Nacional de de Programación Multianual de Inversiones - SNPMI (Decreto Legislativo 1252, y en el año 2019 fue aprobado los "Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de	13 proyectos tuvieron como fecha de cierre el 2020, 2021 y 2022. Por ello resultaría necesario contar con la evaluación expost para determinar los beneficios	Cuenta con PGRH de la cuenca Pampas, aprobada por R.J. N° 0365-2022-ANA	La Comisión Ambiental Regional - CAR Apurímac se encuentra activa, conforme se puede apreciar en la página facebook https://es-la.facebook.com/CARApurimac/ y https://siar.minam.gob.pe/apurimac/tematica/comision-ambiental-regional-car
Cusco	aprobó la Directiva General del proceso de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2014), mientras que en el año 2016 se creó el Sistema Nacional de de Programación Multianual de Inversiones - SNPMI (Decreto Legislativo 1252, y en el año 2019 fue aprobado los "Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de	44 proyectos tuvieron como fecha de cierre el 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 y 2022. Por ello resultaría necesario contar con la evaluación expost para determinar los beneficios	Cuenta con el PGRH de la cuenca Vilcanota Urubamba, aprobado por R.J. N° 0409-2022-ANA	La CAR Cusco se encuentra activa, conforme se puede apreciar en la página facebook https://www.facebook.com/RR.NN.GORE.CUSCO/?locale=es_LA
Huánuco	Inversiones - SNPMI (Decreto Legislativo 1252, y en el año 2019 fue aprobado los "Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de	3 proyectos tuvieron como fecha de cierre el 2018, 2020 y 2022. Por ello resultaría necesario contar con la evaluación expost para determinar los beneficios	No se identificó PGRH Huallaga aprobado	No fue posible determinar si la CAR Huánuco se encuentra activa.

Ucayali	ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad" (MINAM, 2019)	5 proyectos tuvieron como fecha de cierre el 2018, 2019 y 2022. Por ello resultaría necesario contar con la evaluación expost para determinar los beneficios	No se identificó PGRH Ucayali aprobado	No fue posible determinar si la CAR Ucayali se encuentra activa.
---------	--	--	--	--

Tabla 8

Análisis de los factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural (IN) para el servicio ecosistémico de regulación hídrica: Nivel local / distrital

Distrito	Factores			
	Marco regulatorio (a)	Cuantificación de beneficios de la IN a la seguridad hídrica (b)	Enfoque integral en el territorio (c)	Participación pública (d)
San Marcos	Entre los años 2014 al 2019 se emitieron normas que configuraron un escenario propicio para fomentar las inversiones en infraestructura natural. En materia de planeamiento se aprobó la Directiva General del proceso de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2014), mientras que en el año 2016 se creó el Sistema Nacional de Programación Multianual de Inversiones - SNPMI (Decreto Legislativo 1252, y en el año 2019 fue aprobado los "Lineamientos para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad" (MINAM, 2019)	El único proyecto con código 2166420 tuvo como fecha de cierre el 2020, sin embargo, de acuerdo al informe de la CGR el proyecto al 2023 se encuentra paralizado por incumplimiento de contrato, por tanto no será posible determinar los beneficios indicados aún. Ver enlace: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4905781/Informe%20de%20Obras%20paralizadas%20Junio%202023%20vf%5BF%5D.pdf	a) No se identificó Plan de Acondicionamiento Territorial - PAT de la provincia de Huari aprobado. b) Se aprecia el proyecto 2389249, "Desarrollo de capacidades para la gestión integral de la microcuenca río Mosna, distrito San Marcos-provincia de Huari-Región Ancash", pero el SSI del MEF no brinda detalles del proyecto. c) Se aprecia el proyecto "RECUPERACION DE SERVICIOS ECOSISTEMICOS DE LA FLORA EMBLEMÁTICA DEL DISTRITO DE SAN MARCOS CON SENTIDO DE IDENTIDAD Y PERTENENCIA DE LUGAR DE LOS HABITANTES DE LAS CUENCAS DE CARASH Y MOSNA, DISTRITO DE SAN MARCOS - HUARI - ANCASH", pero el proyecto no presenta ejecución según el SSI del MEF.	No fue posible determinar si la Comisión Ambiental Municipal - CAM San Marcos se encuentra activa.

5.1.5. Instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura

natural.

De la recopilación de información relativas a la existencia de los instrumentos o herramientas de la planificación territorial que contienen las características mínimas que fomentan las iniciativas de inversión en infraestructura, se identificó que en los ámbitos focalizados no existe aún el Plan de Ordenamiento Territorial, que es el instrumento ad hoc o específico con estas características, conforme al marco normativo regulado por el Ministerio del Ambiente. En ese sentido, otro instrumento de con características requeridas es el Plan de Desarrollo Concertado, en el cual se caracteriza el territorio, cuenta con un diagnóstico, una visión de desarrollo, se definen objetivos, y se acompaña con una cartera de inversiones. Para este caso, los ámbitos focalizados sí cuentan con sus respectivos planes de desarrollo concertado.

En los ámbitos focalizados es decir los departamentos de Apurímac, Cusco, Huánuco y Ucayali, así como el distrito de San Marcos, provincia de Huari, departamento de Ancash, los resultados señalan lo siguiente: en el departamento de Ucayali el 36% de las iniciativas de inversión en IN fueron identificados (y por tanto se encuentran relacionados) con el plan de desarrollo regional concertado, seguido por el departamento de Huánuco, que alcanza al 27%, mientras que esa cifra baja en los departamentos de Cusco (cerca del 17%) y Apurímac (cerca del 12%).

En el caso del distrito de San Marcos, en el departamento de Ancash, el único proyecto o iniciativa de inversión relativo a la IN se relaciona con el PDC 2016-2021.

En la tabla 6 se puede apreciar que los departamentos de Huánuco y Ucayali presentan una relación entre el plan de desarrollo concertado y las inversiones programadas, esta relación se ha cuantificado en aproximadamente el 36% y 27% respectivamente; para el caso del departamento de Cusco esta relación se cuantificó en

aproximadamente 17%, y finalmente para el caso de Apurímac se acerca al 12%. La tabla 7, muestra un análisis similar al anterior pero enfocado en el distrito de San Marcos, el cual tiene solo un proyecto programado y priorizado en el plan de desarrollo concertado.

Tabla 9

Características mínimas que deben tener los instrumentos de planificación territorial y el análisis respecto a los ámbitos focalizados.

Ámbito focalizado	Características mínimas que deben tener los instrumentos o herramientas de la planificación territorial y análisis en los ámbitos focalizados							Fuente: Plan de Desarrollo Concertado (PDC) anterior al año 2022 (PDCR: Plan de Desarrollo Regional Concertado PDLC: Plan de Desarrollo Local Concertado)
	(i) modelo actual del territorio o sistema territorial	(ii) visión e imagen objetivo	(iii) modelo deseado del territorio o modelo de ordenamiento territorial	(iv) ejes y objetivos estratégicos	(v) propuesta de alternativas de uso y ocupación del territorio	(vi) programa o cartera de inversiones	(vii) modelo de gestión para implementar el plan	
Apurímac	X	X	-	X	-	X	-	PDCR Apurímac 2017-2021
Cusco	X	X	-	X	-	X	-	PDCR Cusco al 2021 con prospectiva al 2030 [formulado el 2016] PEDRC Cusco al 2021 [formulado el 2010]
Huánuco	X	X	-	X	-	X	-	PDCR Huánuco al 2021 [formulado el 2016]
Ucayali	X	X	-	X	-	X	-	PDCR departamento de Ucayali al 2021 [formulado el 2015]
San Marcos	X	X	-	X	-	X	X	PDC distrito de San Marcos 2016-2021 [formulado el 2016]

Tabla 10

Análisis de las características mínimas de los instrumentos de planificación territorial (Nivel departamental/regional).

Departamentos	Total de iniciativas	Número de iniciativas cuyo gasto proviene del gobierno regional	% de iniciativas cuyo gasto proviene del gobierno regional	% de iniciativas relacionadas al proceso de planificación del desarrollo concertado	Instrumentos o herramientas de planificación territorial

Apurímac	18	17	94,44	11,76	PDRC Apurímac 2017-2021
Cusco	56	12	21,43	16,67	PDRC Cusco al 2021 con prospectiva al 2030 [formulado el 2016] PDRC Cusco al 2021 [formulado el 2010]
Huánuco	13	11	84,62	27,27	PDRC Huánuco al 2021 [formulado el 2016]
Ucayali	12	11	91,67	36,36	PDRC departamento de Ucayali al 2021 [formulado el 2015]

Tabla 11

Análisis de las características mínimas de los instrumentos de planificación territorial (Nivel local/distrital).

Distrito	N° iniciativas	Número de iniciativas cuyo gasto proviene del gobierno local	% de iniciativas cuyo gasto proviene del gobierno local	% de iniciativas relacionadas al proceso de planificación del desarrollo concertado	Instrumentos o herramientas de planificación territorial
San Marcos	1	1	100	100	PDC distrito San Marcos 2016 - 2021

5.2. Discusión de resultados.

De los resultados obtenidos en la presente investigación, se determinó que las áreas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica son 15,673,837.50 hectáreas degradadas en todo el Perú, que representa el 12.20% de la superficie total del país, y 3,579,712.50 hectáreas degradadas de interés para la regulación hídrica, que representa el 2.79 % de la superficie total del país. Saing et al. (2021) mencionan que resulta difícil distinguir mediante el uso de sensores remotos la degradación causada por factores naturales o antrópicos, asimismo Yengoh et al, (2015) afirma que los sensores miden el efecto de los agentes de la degradación, es decir los indicadores tales como la pérdida de productividad y el cambio de uso de la tierra más no es posible cuantificar al agente en sí, esta es una limitación que puede ser abordada en trabajos de campo a la hora de establecer las iniciativas de inversión, por lo que en la actualidad con las tecnologías

disponibles aún no es posible. Cowie et al, (2018) establece que el efecto del cambio climático se producen áreas degradadas donde no hay mucha actividad antrópica y es posible que, por este motivo, en el departamento de Loreto se presenten una gran cantidad de áreas degradadas en zonas alejadas. Estos resultados demuestran que es posible tener información geoespacial del estado de los ecosistemas en todo el territorio nacional, es decir, identificar la superficie de hectáreas degradadas; asimismo, la disponibilidad de información satelital proveniente de sensores tales como MODIS y Landsat, así como las plataformas, software y herramientas como Google Earth Engine o QGIS son accesibles a través de la web, datos específicos para el Perú son proporcionados tanto de organizaciones públicas, cooperación internacional y nacionales, tales como MINAM, IBC y Proyecto de Infraestructura Natural para la Seguridad Hídrica.

Guyet y Nicolas, (2016) manifiestan que una de las grandes ventajas de trabajar con series de tiempo, en este caso desde el 2000 al 2022, es la mayor confiabilidad de los resultados. Es decir, el poder analizar tendencias en la productividad de los ecosistemas usando series tiempo y cambios de la cobertura en diferentes periodos es muy importante porque permite incorporar la dinámica propia de los ecosistemas, sin embargo, el análisis de la degradación de los ecosistemas requiere de una mayor resolución temporal que permita analizar las dinámicas complejas que ocurren en estos ámbitos (MINAM, 2019a). Asimismo, el desarrollo de las tecnologías de información como la computación en la nube y el acceso a la información permite realizar análisis de gran cantidad de datos, tal como se ha realizado en el presente estudio donde se han tomado los datos de todo el Perú lo que resultaba imposible hace diez años. Cuando se analizan solo una o dos imágenes en un área de interés en particular, muchas veces los resultados no son suficientes y es usual un sesgo en el análisis de las imágenes de satélite por preponderar la resolución espacial sacrificando la temporalidad.

Respecto a la relación entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial, para el

nivel departamental o regional se encontró que no existe una correlación estadística significativa por cuanto se obtuvo un coeficiente de pearson de 0.000005; en tanto que, para el nivel provincial - distrital o local se encontró que existe una correlación estadística pero muy débil, por cuanto se obtuvo un coeficiente de pearson de 0.1465. Cerdán et al, (2022) menciona que una casi inexistente relación puede explicarse porque el principal ejecutor de las inversiones en infraestructura natural es el Estado, Ferreira et al, (2021) refieren que, en un marco complejo y diverso relacionado al concepto de infraestructura verde, dirige al desarrollo de enfoques diferentes al momento de su planificación. Asimismo, Staccione et al, (2022) manifiesta que existe poca integración con el enfoque de planificación y gestión del territorio en una red de infraestructura verde. A su vez, en nuestro país esta mínima relación entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial con enfoque de infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, nos muestra que en casi todos los casos existen más superficies degradadas de interés (con información geoespacial) que áreas a ser atendidas con iniciativas de inversión, por lo que existe una brecha por cubrir.

La contrastación de la hipótesis se realizó mediante análisis estadístico, obteniéndose como resultado que la hipótesis alternativa es la verdadera por lo que podemos establecer que existe una correlación positiva débil con un valor de probabilidad estimada en 0.003848913. Cerdan et al, (2020) evidencia que, si bien el Perú en los últimos 14 años, se han realizado inversiones para la conservación, protección y gestión sostenible de los ecosistemas proveedores de agua, con un marco legal e instrumentos técnicos que promueven y regulan las intervenciones en infraestructura natural para la seguridad hídrica, sin embargo Wei y Zhan, (2023) manifiestan que existen desafíos significativos para integrar efectivamente el conocimiento de los servicios ecosistémicos en la planificación , por otro lado Steiner et al, (2013) afirma que el conocer la contribución del concepto de servicios ecosistémicos (como la alfabetización ecológica) puede ayudar

a cambiar el enfoque dominante de diseño y planificación . Otro desafío importante es la necesidad de integrar la ciencia, la política y la práctica en la implementación, esto requiere la colaboración y el diálogo entre diferentes actores y disciplinas, así como la identificación y gestión adecuada de los conflictos de intereses. También constituye un desafío a la necesidad de involucrar a las comunidades locales y a los grupos de interés en la planificación y la implementación.

Al analizar los factores: (i) marco regulatorio, (ii) cuantificación de los beneficios de las iniciativas de inversión en infraestructura natural, (iii) enfoque integral del territorio, y (iv) participación pública, se obtuvo como resultado que el marco regulatorio sí ha contribuido de manera positiva en la formulación de iniciativas de inversión, pues en los departamentos de Apurímac, Cusco, Ucayali y Huánuco y el distrito de San Marcos existen un número de iniciativas y montos destacables de inversión en infraestructura natural, pero sin la determinación de los beneficios por la carencia de la evaluación de estos proyectos, sin embargo el enfoque integral del territorio y la participación, es aún muy débil en los ámbitos analizados. En ese sentido Donatti et al, (2022) menciona que los principales desafíos en la implementación de las soluciones basadas en la naturaleza son: (i) la necesidad de una mayor colaboración y coordinación entre diferentes sectores y actores, (ii) la falta de financiamiento, y (iii) la necesidad de marcos regulatorios claros y efectivos. Complementario a ello, Ferreira et al, (2021) plantea que la planificación de las infraestructuras verdes implica implementar y gestionar ecosistemas, por ello propone entre los elementos de discusión, que la planificación de la infraestructura verde ha descartado los beneficios sociales privilegiando las funciones ecológicas. Finalmente, Nesshöver et al, (2017) menciona que la participación y colaboración de las comunidades son fundamentales para garantizar la efectividad y la sostenibilidad de las inversiones en infraestructura natural así como la integración de la naturaleza en la planificación urbana y territorial. Por lo que es necesario un cambio de paradigma en la planificación territorial, que incorpore y priorice la “infraestructura natural” y materialice la

complementariedad con “infraestructura gris” y a medida que se fortalezcan 4 factores se incrementarán las inversiones en iniciativas de infraestructura natural.

Conclusiones

Los factores que permiten formular iniciativas de inversión, tales como (i) el marco regulatorio, (ii) la cuantificación de los beneficios de las iniciativas de inversión en infraestructura natural, (iii) el enfoque integral del territorio, y (iv) la participación pública, han contribuido de manera positiva en la formulación de iniciativas de inversión a nivel departamental y local, en particular en los departamentos analizados como: Apurímac, Cusco, Ucayali, Huánuco y el distrito de San Marcos (Ancash), sin embargo a nivel nacional no se cuenta con suficientes datos para asegurar que estos factores sean determinantes para fomentar las iniciativas de inversión en infraestructura natural.

El instrumento con mayor accesibilidad en los ámbitos priorizados y que reúne la mayoría (cuatro de siete) de las características mínimas de planificación territorial analizadas y que fomentan las iniciativas de inversión es el plan de desarrollo concertado, sin embargo la importancia de la infraestructura natural es variable en los departamentos analizados, reflejado en la priorización de las iniciativas en dicho plan, siendo Ucayali el departamento con mayor porcentaje (36.4 %) de iniciativas priorizadas en su planificación, ahora bien en cuanto al distrito de San Marcos (Ancash) requiere una evaluación más profunda del caso debido a su capacidad de inversión proveniente del canon minero lo cual puede estar distorsionando los resultados.

Con el uso de sistemas de información geográfica y teledetección se identificó 3,579,712.50 hectáreas de superficie de áreas de interés para el servicio ecosistémico de regulación hídrica, lo que equivale al 2.79% de la superficie total del Perú.

La relación entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial a nivel departamental es de un coeficiente de determinación o coeficiente de pearson (r^2) de $5E-6$ lo cual significa que no existe una correlación estadística. Mientras que, a nivel local es de un coeficiente de determinación o coeficiente de pearson (r^2) de 0.1465 lo cual significa que existe una correlación estadística pero muy débil. Concluyéndose que, existe

una correlación positiva débil con un valor de probabilidad estimada en 0.003848913 respecto a la relación entre la información geoespacial de infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica influye en las iniciativas de inversión sobre esta tipología de proyectos.

Recomendaciones

A las entidades públicas o privadas dedicadas a la investigación sobre los ecosistemas, se recomienda ahondar e innovar en enfoques que consideren la temporalidad y dinámica de los ecosistemas para la identificación de áreas degradadas e interés para la regulación hídrica, pues en los últimos años el creciente desarrollo de las tecnologías de información y la mayor disponibilidad de información geoespacial proveniente de sensores remotos, tales como las imágenes de satélite, permiten procesar grandes volúmenes de información, construir series de tiempo y analizar patrones de manera confiable.

A los profesionales que formulan, ejecutan y evalúan proyectos de inversión relacionados a la conservación o recuperación de ecosistemas, se recomienda analizar qué otros factores, además de contar con información geoespacial, influyen en la formulación e implementación de iniciativas de infraestructura natural para la regulación hídrica.

Se requiere mayor investigación y/o casos aplicados (herramientas de planificación, beneficios, tecnologías, limitaciones) para el desarrollo de la infraestructura natural, por lo que se recomienda establecer líneas de investigación en la universidad orientados a la infraestructura natural, servicios ecosistémicos e inversiones.

Una línea de investigación para estudios similares es que, si bien en el presente trabajo se identificó en el nivel departamental, que no existe una correlación estadística entre la cantidad de iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica y la disponibilidad de información geoespacial, y en el nivel local existe una correlación estadística muy débil, sin embargo la evidencia recopilada (Wei, F. y Zhan, X., 2023) señala que el conocimiento de los servicios ecosistémicos (como su localización) puede ser una herramienta valiosa para ayudar a los tomadores de decisiones a comprender el valor de los ecosistemas y los beneficios que proporcionan en el contexto del ordenamiento territorial.

Referencias bibliográficas

Barron J., O., Annette L., C., Castillo S., V., Chasek, P., Crossman, N., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G., Minelli, S., Tengberg, A., Walter, S., & Welton, S. (2017). *Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface.*

Benedict, M. A., & MacMahon, E. T. (2002). Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. *Renewable Resources Journal*, 20(3). <https://www.merseyforest.org.uk/files/documents/1365/2002+Green+Infrasturctur+e+Smart+Conservation+for+the+21st+Century..pdf>

Castro, C. v., & Rifai, H. S. (2021). Development and Assessment of a Web-Based National Spatial Data Infrastructure for Nature-Based Solutions and Their Social, Hydrological, Ecological, and Environmental Co-Benefits. *Sustainability*, 13(19). <https://doi.org/10.3390/su131911018>

Castro, C. V. (2022). Optimizing nature-based solutions by combining social equity, hydro-environmental performance, and economic costs through a novel Gini coefficient. *Journal of Hydrology X*, 16, 100127. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2022.100127>

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. (2021). *Guía para el Plan de Desarrollo Regional Concertado* (pp. 1–148). Centro Nacional de Planeamiento Estratégico. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1907496/GUIA%20PDRC%20CE_PLAN.pdf?v=1621737311

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres. (2017). *Escenario de riesgo por movimientos en masa del departamento de Lima*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//8165_escenario-riesgo-por-movimientos-en-masa-en-departamento-lima.pdf

Cerdán, E., Smith, M., Camacho, M., & Grados, C. (2022). *Recuperando la fluidez: Estado de la inversión en acciones en infraestructura natural para la seguridad hídrica en el Perú, 2022*. <https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/2023/03/Recuperando-la-fluidez.pdf>

Comisión Europea. (2020). *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad de aquí al 2030*. <https://ec.europa.eu/research/environment/index.cfm?pg=nbs>.

Comisión Europea. (2011). *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020: nuestro seguro de vida y capital natural*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0244&qid=1526236436800&fr>

[om=E S](#)

Cooper, R. (2020). *Nature-based solutions and water security*. <https://www.edie.net/news/4/GWI---449bn-must-be-invested-in-water-annually-to-meet-SDGs/>

Coxon, C., Gammie, G., & Cassin, J. (2021). Mobilizing funding for nature-based solutions: Peru's drinking water tariff. In *Nature-based Solutions and Water Security* (pp. 241–262). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819871-1.00008-7>

Cowie, A. L., Orr, B. J., Castillo Sanchez, V. M., Chasek, P., Crossman, N. D., Erlewein, A., Louwagie, G., Maron, M., Metternicht, G. I., Minelli, S., Tengberg, A. E., Walter, S., & Welton, S. (2018). Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality. *Environmental Science & Policy*, 79, 25–35. <https://doi.org/10.1016/J.ENVSCI.2017.10.011>

Debele, S. E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Mickovski, S. B., Leo, L. S., Porcù, F., Bertini, F., Montesi, D., Vojinovic, Z., & di Sabatino, S. (2019). Nature-based solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental Research*, 179, 108799. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2019.108799>

Donatti, C. I., Andrade, A., Cohen-Shacham, E., Fedele, G., Hou-Jones, X., & Robyn, B. (2022). Ensuring that nature-based solutions for climate mitigation address multiple global challenges. *One Earth*, 5(5), 493–504. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.010>

European regional/spatial planning charter (Extracts). (1983). *Environmental Policy and Law*, 11(3). [https://doi.org/10.1016/S0378-777X\(83\)80081-X](https://doi.org/10.1016/S0378-777X(83)80081-X)

Ferreira, J. C., Monteiro, R., & Silva, V. R. (2021). Planning a green infrastructure network from theory to practice: The case study of Setúbal, Portugal. *Sustainability (Switzerland)*, 13(15). <https://doi.org/10.3390/su13158432>

Goodchild, M. F. (1992). Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(1), 31–45. <https://doi.org/10.1080/02693799208901893>

Guyet, T., & Nicolas, H. (2016). Long term analysis of time series of satellite images. *Pattern Recognition Letters*, 70, 17–23. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2015.11.005>

Grizzetti B., Lanzasova D., Liqueete C., Reynaud A., & Cardoso A. (2016). *Assessing water ecosystem services for water resource management*.

Environmental Science and Policy, 194-203, 61.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901116300892>

IBM México. (n.d.). *¿Qué son los datos geoespaciales?* Retrieved April 15, 2023, from <https://www.ibm.com/mx-es/topics/geospatial-data>

Luedke, H. (2019). *Nature as Resilient Infrastructure: An Overview of Nature-Based Solutions*. <https://www.eesi.org/papers/view/fact-sheet-nature-as-resilient-infrastructure-an-overview-of-nature-based-solutions>

Mell, I., & Whitten, M. (2021). Access to nature in a post covid-19 world: Opportunities for green infrastructure financing, distribution and equitability in urban planning. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 18, Issue 4, pp. 1–16). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph18041527>

Ministerio de Economía y Finanzas. (2017). *Decreto supremo n° 027-2017-ef. Aprueban el reglamento del decreto legislativo n° 1252, decreto legislativo que crea el sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones y deroga la ley n° 27293, ley del sistema nacional de inversión pública* (pp. 1–20). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/225138/027-2017-EF.pdf?v=1596145705>

Ministerio del Ambiente. (2015). *Orientaciones básicas sobre el Ordenamiento Territorial en el Perú*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/11892/Orientaciones-basicas-OT-1.pdf?v=1530547918>

Ministerio del Ambiente. (2016). Pautas Generales para la elaboración del plan de Ordenamiento Territorial, aprobado por Resolución Ministerial N° 173-2016-MINAM. <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/RM-N%C2%B0-173-2016-MINAM.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2019a). *Mapa Nacional de Áreas Degradadas en Ecosistemas Terrestres*. <https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2020/02/Mapa-Nacional-de-%C3%81reas-Degradadas-Terrestres.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2019b). *Mapa Nacional de Ecosistemas del Perú*. <https://geoservidor.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/11/Memoria-Mapa-Ecosistemas-Peru.pdf>

Ministerio del Ambiente. (2019c). *Lineamientos de inversión para la formulación de proyectos de inversión en las tipologías de ecosistemas, especies y apoyo al uso sostenible de la biodiversidad* (pp. 1–57). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1502374/1.%20LINEAMIENTOS%2021X26%20COLUMNAS->

[compressed%2028.10.%20VF.pdf.pdf?v=1609365776](#)

Ministerio del Ambiente (2022). *Geoservidor. Superficies de áreas degradadas por ecosistemas.*

<https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/restauracion-de-areas-degradadas/>

Nesshöver, C., Assmuth, T., Irvine, K. N., Rusch, G. M., Waylen, K. A., Delbaere, B., Haase, D., Jones-Walters, L., Keune, H., Kovacs, E., Krauze, K., Külvik, M., Rey, F., van Dijk, J., Vistad, O. I., Wilkinson, M. E., & Wittmer, H. (2017). The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. *Science of The Total Environment*, 579, 1215–1227. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.11.106>

Ran, J., & Nedovic-Budic, Z. (2016). Integrating spatial planning and flood risk management: A new conceptual framework for the spatially integrated policy infrastructure. *Computers, Environment and Urban Systems*, 57, 68–79. <https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2016.01.008>

Saing, Z., Djainal, H., & Deni, S. (2021). Land use balance determination using satellite imagery and geographic information system: case study in South Sulawesi Province, Indonesia. *Geodesy and Geodynamics*, 12(2), 133–147. <https://doi.org/10.1016/J.GEOG.2020.11.006>

Scolozzi, R., Morri, E., & Santolini, R. (2012). Delphi-based change assessment in ecosystem service values to support strategic spatial planning in Italian landscapes. *Ecological Indicators*, 21, 134–144. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2011.07.019>

Staccione, A., Candiago, S., & Mysiak, J. (2022). Mapping a Green Infrastructure Network: a framework for spatial connectivity applied in Northern Italy. *Environmental Science and Policy*, 131, 57–67. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.01.017>

Street, R. B., Buontempo, C., Mysiak, J., Karali, E., Pulquério, M., Murray, V., & Swart, R. (2019). How could climate services support disaster risk reduction in the 21st century. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 34, 28–33. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2018.12.001>

Yengoh, G. T., Dent, D., Olsson, L., Tengberg, A. E., & Tucker, C. J. (2015). *Limits to the Use of NDVI in Land Degradation Assessment* (pp. 27–30). https://doi.org/10.1007/978-3-319-24112-8_4

Vandecasteele, I., Marí i Rivero, I., Baranzelli, C., Becker, W., Dreoni, I., Lavallo, C., & Batelaan, O. (2018). The Water Retention Index: Using land use planning to manage water resources in Europe. *Sustainable Development*, 26(2), 122–131. <https://doi.org/10.1002/sd.1723>

Anexos

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

Título: Relación entre la información geoespacial de la infraestructura natural y las iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos del Perú, 2023.				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variabes e indicadores	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>¿De qué manera se relaciona la información geoespacial de la infraestructura natural en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos del Perú, 2023?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Determinar la relación de la información geoespacial de la infraestructura natural en la formulación de iniciativas de inversión en los servicios ecosistémicos del Perú, 2023.</p>	<p>Hipótesis general: A mayor información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica se tendrán más iniciativas de inversión referidas a la infraestructura natural en el marco de la inversión pública en el Perú.</p>	<p>Variable 1: Información geoespacial en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. <u>Indicadores:</u> Superficie (ha) con tendencia negativa de la productividad primaria neta. Superficie (ha) con cambios de uso de la tierra. Áreas con alto Índice de retención de agua (WRI).</p> <p>Variable 2: Iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. <u>Indicadores:</u> Número de iniciativas con superficie (ha) de ecosistema degradado y de interés para el SE de RH. Número de iniciativa propuestas en el banco de inversiones del MEF.</p>	<p>Tipo o enfoque de investigación: Enfoque cuantitativo.</p> <p>Nivel o alcance de investigación: Correlacional</p> <p>Diseño: Diseño no experimental.</p> <p>Población: Todas las iniciativas de inversión vinculadas a la recuperación / restauración de ecosistemas y del servicio ecosistémico de regulación hídrica a nivel nacional registradas en el banco de inversiones del MEF.</p> <p>Muestra: La selección de la muestra del presente estudio se realizó mediante un muestreo no probabilístico y censal, aplicando criterios de inclusión y de exclusión.</p> <p>Técnicas de recolección de información: Documental.</p> <p>Instrumentos: Análisis geoespacial de tendencias (Mann-</p>
<p>Problemas específicos:</p> <p>¿Qué factores pueden contribuir a fomentar iniciativas de inversión en infraestructura natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Analizar los factores que ayudan a formular iniciativas de inversión con enfoque de Infraestructura Natural para el servicio ecosistémico de regulación hídrica.</p>			

<p>¿Cuáles son las características de los instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura natural?</p>	<p>2. Caracterizar los instrumentos o herramientas de planificación territorial respecto a la información geoespacial de la infraestructura natural.</p>			<p>Kendal) en series de tiempo de índices de vegetación usando imágenes de satélite. Análisis geoespacial de superposición (diferencia y ponderada) de capas. Análisis geoespacial de proximidad y/o agrupamiento Revisión del banco de inversiones del MEF, análisis y selección de proyectos de inversión con fines de regulación hídrica.</p>
---	--	--	--	---