

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“DETERMINACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA
VERDE BASADO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUIROZ, AYABACA,
PERÚ”**

Presentada por:

RODRIGO JULIO PUGA CALDERÓN

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

Lima - Perú

2024

Tesis de maestria_24-06-24-firmas.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	repository.humboldt.org.co Fuente de Internet	1%
3	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	repositorio.inta.gob.ar Fuente de Internet	1%
5	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Activo

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“DETERMINACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA
VERDE BASADO EN SERVICIOS ECOSISTÉMICOS
EN LA SUBCUENCA DEL RÍO QUIROZ, AYABACA,
PERÚ”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

RODRIGO JULIO PUGA CALDERÓN

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Mg.Sc. Rosa Miglio Toledo
PRESIDENTE

Dr. Santiago Madrigal Martínez
ASESOR

Lic.Rer.Reg. Víctor Aguilar Vidangos
MIEMBRO

Ph.D. Zulema Quinteros Carlos
MIEMBRO

DEDICATORIA

A mis padres, Julio César Puga Bullón y Carmen Rosa Calderón Clavijo, quienes me guiaron a lo largo de mi vida; a mi abuela, Carmen Adriana Clavijo Masías, quien me alentó a estudiar ingeniería y leer constantemente; a mis tíos, Alejandro Calderón Clavijo y José Puga Bullón, quienes me apoyaron en la época universitaria; y, a mis hermanos, Diego y Rocío.

AGRADECIMIENTO

Al profesor Santiago Madrigal Martínez, asesor de la presente tesis de maestría; al profesor Sebastián Santayana Vela por el apoyo brindado y, a todos aquellos profesionales que de una u otra forma me apoyaron en la investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Presentación de la investigación	1
1.2 Justificación de la investigación	2
1.3 Alcances del estudio	3
1.4 Objetivos del estudio	4
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Desarrollo sostenible.....	6
2.3 Infraestructura verde	7
2.4 Servicios ecosistémicos	8
2.5 ECOSER	10
2.6 Inundaciones	10
2.7 Servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones.....	11
2.8 Método Número de Curva (SCS-CN).....	12
2.9 Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO)	13
2.10 Erosión del suelo.....	14
2.11 Servicio ecosistémico de control de la erosión	15
2.12 Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada RUSLE.....	16
2.13 Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	21

2.14 Ecohidrología.....	21
2.15 Cuenca hidrográfica.....	22
2.16 Red de conectividad ecológica.....	22
2.17 Cobertura vegetal.....	23
2.18 Zonificación Ecológica y Económica.....	23
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
3.1 Área de estudio.....	24
3.1.1 Localización.....	24
3.1.2 Vías de acceso.....	26
3.1.3 Características generales de la subcuenca del río Quiroz.....	27
3.2 Materiales y equipos.....	27
3.3 Métodos.....	28
3.3.1 Metodología general.....	28
3.3.2 Delimitación del área de estudio.....	31
3.3.3 Determinación del S.E. de mitigación de inundaciones.....	33
3.3.4 Determinación del S.E. de control de la erosión.....	41
3.3.5 Determinación de la importancia bioecológica.....	46
3.3.6 Normalización e integración.....	47
3.3.7 Determinación de la infraestructura verde.....	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
4.1 Resultados.....	50
4.1.1 Resultados de la determinación del área de estudio.....	50

4.1.2 Resultados del Servicio Ecosistémico de mitigación de inundaciones.....	51
4.1.3 Resultados del cálculo de S.E. de control de la erosión.....	61
4.1.4 Resultados de la importancia bioecológica.....	66
4.1.5 Resultados de la determinación de infraestructura verde.....	69
4.2 Discusión	75
V. CONCLUSIONES	80
VI. RECOMENDACIONES	81
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
VIII. ANEXOS	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de curva para condiciones medias de humedad	14
Tabla 2: Valores del factor de erodabilidad (factor K) de acuerdo a la taxonomía y la textura de suelo.....	19
Tabla 3: Índices del factor de cobertura vegetal C	20
Tabla 4: Valores de factor P	20
Tabla 5: Clasificación del tipo de suelo	35
Tabla 6: Localización de las estaciones meteorológicas empleadas	37
Tabla 7: Valores de número de curva (NC) para el modelo.....	38
Tabla 8: Valores del factor K	44
Tabla 9: Índices del factor de cobertura vegetal C	45
Tabla 10: Valores de factor P	46
Tabla 11: Normalización del valor bioecológico	48
Tabla 12: Clasificación de la infraestructura verde en función de la integración	49
Tabla 13: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Quiroz	51
Tabla 14: Parámetros de microcuencas	51
Tabla 15: Valores de precipitación y días de tormenta	53
Tabla 16: Cobertura vegetal en el área de estudio.....	56
Tabla 17: Textura del suelo en el área de estudio.....	57
Tabla 18: Valores de REP obtenidos en las microcuencas del área de estudio.....	60
Tabla 19: Valores de REP obtenidos en los distritos del área de estudio.....	60
Tabla 20: Grupos de suelo	62
Tabla 21: Valores de CEH en las microcuencas del área de estudio.....	66
Tabla 22: Valores de CEH en los distritos del área de estudio.....	66
Tabla 23: Valor bioecológico	67

Tabla 24: Clasificación de valor bioecológico por microcuencas.....	67
Tabla 25: Clasificación de valor bioecológico por distrito.....	68
Tabla 26: Valores normalizados de la cobertura de servicios ecosistémicos en las microcuencas	71
Tabla 27: Valores normalizados de la cobertura de	71
Tabla 28: Clasificación de I.V. en el área de estudio	73
Tabla 29: Clasificación de I.V. a nivel de microcuenca.....	73
Tabla 30: Clasificación de I.V. a nivel distrital.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de los servicios ecosistémicos.....	9
Figura 2. Nomograma para la obtención del factor K.....	18
Figura 3: Representación simplificada de la interacción de los procesos hidrológicos y bioquímicos que operan en una cuenca	21
Figura 4. Ubicación hidrográfica del área de estudio.....	24
Figura 5. Ubicación política del área de estudio a nivel provincial	25
Figura 6. Ubicación política del área de estudio a nivel distrital	25
Figura 7. Ubicación de iniciativas de MRSEH en el país	26
Figura 8: Recorrido Piura- Ayabaca.....	27
Figura 9: Descripción hidrográfica de la subcuenca	28
Figura 10: Perfil longitudinal del río Quiroz.....	29
Figura 11: Metodología planteada en Europa para la determinación de IV	29
Figura 12: Metodología general de la investigación	30
Figura 13: Delimitación del área de estudio.....	31
Figura 14:Decarga de DEM.....	32
Figura 15:Aplicación del QSWAT en el QGIS.....	32
Figura 16: Retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal con herramienta de QGIS.....	33
Figura 17: Paquete SoilTexture	34
Figura 18: Descarga de imagen satelital en SoilGrids.....	36
Figura 19: Metodología para la obtención de valores	39
Figura 20: Calculo de escurrimiento superficial y retención de excesos de precipitación con herramienta de QGIS	39
Figura 21: Diagrama del procedimiento descrito para el cálculo de R.E.P.....	41

Figura 22: Herramienta del QGIS para la estimación del control de la erosión.....	42
Figura 23: Herramienta Factor LS de QGIS.....	43
Figura 24: Metodología de Control de la erosión.....	46
Figura 25. Generación de submodelo de valor bioecológico en la Z.E.E. de Piura	47
Figura 26: Determinación del área de estudio	50
Figura 27: Índices anuales obtenidos en Hydraccess	52
Figura 28: Estaciones seleccionadas.....	52
Figura 29: Precipitación de tormentas	54
Figura 30: Tormentas anuales	54
Figura 31: Pendientes en el área de estudio.....	55
Figura 32: Cobertura vegetal en el área de estudio	55
Figura 33: Textura en el área de estudio	56
Figura 34: Valores de curva número en el área de estudio.....	57
Figura 35: Valores de retención inicial.....	58
Figura 36: Valores de escurrimiento superficial.....	58
Figura 37: Valores de retención de excesos de precipitación.....	59
Figura 38: Histograma raster del REP.....	59
Figura 39: Valores de la variable R.....	61
Figura 40: Grupos de suelos en el área de estudio	62
Figura 41: Valores de la variable K.....	63
Figura 42: Variable LS en el área de estudio.....	63
Figura 43: Valores de la variable CP.....	64
Figura 44: Valores de control de la erosión hídrica.....	65
Figura 45: Histograma del raster de control de la erosión.....	65
Figura 46: Valores de la importancia bioecológica	67

Figura 47: Normalización de CEH	69
Figura 48: Normalización REP	69
Figura 49: Normalización del valor bioecologico	70
Figura 50: Normalización de los servicios ecosistémicos	70
Figura 51: Valores de Infraestructura Verde en la subcuenca Quiroz.....	72
Figura 52: Clasificación de Infraestructura Verde en la subcuenca del río Quiroz.....	72
Figura 53: Histograma raster de valores en Infraestructura Verde.....	73

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Código de programación en lenguaje R para la descarga de la base de datos PISCO.....	95
Anexo 2: Información procesada en HYDRACCESS.....	97
Anexo 3: Información procesada en hoja de cálculo de precipitación y días de tormenta.....	102
Anexo 4: Información procesada para la variable R.....	104
Anexo 5: Panel fotográfico	105
Anexo 6: Mapas generados	107

RESUMEN

La gestión sostenible del territorio es, actualmente, una meta en la cual se busca establecer un equilibrio entre el medio ambiente y la actividad antrópica. Por tal motivo, se ha realizado la presente investigación, dando un enfoque a la infraestructura verde, que es de suma importancia para el desarrollo sustentable. La investigación tuvo como objetivo principal la localización y cuantificación de la infraestructura verde en la subcuenca del río Quiroz se consideraron como requisitos dos criterios: su importancia en el aporte de los servicios ecosistémicos y en el valor bioecológico del territorio. Se analizaron tres variables fundamentales: los servicios ecosistémicos de mitigación de inundaciones y control de la erosión, ambos por cobertura vegetal; y, la importancia bioecológica. Dichas variables fueron normalizadas e integradas para fines del estudio. Para la localización y cuantificación de los servicios ecosistémicos, se aplicó la metodología propuesta por ECOSER, que se basa en el procesamiento de la información, tanto en el campo de la hidrología como de los Sistema de Información Geográfica (SIG). Los datos de entrada utilizados, fueron obtenidos a través del procesamiento de la información recopilada, principalmente, de la ZEE Piura, imágenes satelitales e información meteorológica. Se clasificó el área de estudio en tres zonas: infraestructura verde fundamental, infraestructura verde subsidiaria y sin infraestructura verde. Como principal resultado se estimó que la infraestructura verde fundamental es de 3.21 por ciento de la subcuenca del río Quiroz (100.62 km²).

Palabras clave: Infraestructura verde, servicios ecosistémicos, SIG, hidrología y suelo.

ABSTRACT

The sustainable management of the territory is, at this time, a goal in which it is sought to establish a balance between the environment and anthropic activity. For this reason, the research has been the core goal, focusing on green infrastructure, which is of greatest importance for sustainable development. The main aim of the research was to locate and quantify the green infrastructure in the sub basin of Quiroz River. For which two criteria were considered a requirement: its importance in the coverage of ecosystem services and in its bioecological value. These variables were normalized and integrated for the purposes of the study. For the location and quantification of ecosystem services, the methodology proposed by ECOSER was applied, which is based on information processing, both in the field of hydrology and the Geographic Information System (GIS). The input data used was obtained through the processing of the information collected, mainly from the Piura EEZ, satellite images and meteorological information. The study area was classified into three zones: fundamental green infrastructure, subsidiary green infrastructure, and no green infrastructure. As the main result, it was estimated that the fundamental green infrastructure is 3.21 percent of the sub basin of Quiroz River (100.62 km²).

Keywords: Green infrastructure, ecosystem services, GIS, hydrology and soil.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación de la investigación

La actividad antrópica alrededor del mundo ha sustituido o transformado gran cantidad de espacios naturales en los últimos tiempos, originando la fragmentación de hábitats especialmente en áreas con concentraciones urbanas (Xu et al., 2019; Yang et al., 2020; R. Zhang et al., 2021).

Es por ello que, para la realización de una mejor gestión en el uso del suelo y evitar la fragmentación de hábitats, propiciando la conectividad del paisaje, es fundamental comprender el aporte de la infraestructura verde para la sostenibilidad (Termorshuizen et al., 2007). En los aspectos claves para el desarrollo del territorio, es común que en los países en vías de desarrollo no se cuente con datos confiables y disponibles (Li y Yeh, 2004).

La investigación en la formulación de políticas y planificación del territorio, acerca del tópico de infraestructura verde ha crecido en interés en las últimas décadas (Slätmo et al., 2019). Además, un factor clave para el sostenimiento ecológico integral en beneficio de la humanidad tiene su principal componente en la biodiversidad (Cardinale et al., 2012). La infraestructura verde son áreas naturales o seminaturales que poseen estas dos características principalmente: El primero es poseer un espacio de vida de alta calidad, para facilitar el movimiento a través de fragmento del territorio de grupos funcionales bióticos con la finalidad de sustentar la diversidad genética (Olds et al., 2012); el segundo es brindar una diversidad de servicios ecosistémicos para los seres humanos y el medio ambiente (Campagna et al., 2020)

La presente investigación se enfocó en la determinación de la infraestructura verde en la subcuenca del río Quiroz, direccionando el estudio hacia los servicios ecosistémicos relacionados a los recursos hídricos. El análisis realizado está basado en procedimientos geográficos e hidrológicos, de forma similar a lo efectuado por Lique et al. (2015) y Maes et al. (2011); a través de los procedimientos del protocolo ECOSER propuesto por

Barral (2016). Enfocando la investigación en dar a conocer una metodología para la cuantificación de la infraestructura verde en una unidad hidrográfica.

La importancia se basa en los efectos drásticos que produce el cambio climático en el ciclo hidrológico y los regímenes de los caudales en las cuencas (Y. Zhang et al., 2016). Es por eso que, determinar el impacto que produce el cambio climático en el agua disponible, es de suma importancia para la gestión integral de cuencas hidrográficas y las estrategias de mitigación ante los impactos (Bhatta et al., 2019); considerando que el incremento de inundaciones y sequías extremas es inevitable (Chattopadhyay y Jha, 2016).

Es importante resaltar que la subcuenca del río Quiroz aporta el 21.21% de los servicios ambientales hídricos en la cuenca Binacional Catamayo Chira, siendo una de las cuales permite a la población de Piura el uso de los recursos hídricos con fines de agroindustria, producción de energía y consumo propio (Kometter, 2013). Es por esta razón que la determinación de Infraestructura Verde puede ser una estrategia para la conservación de los servicios ecosistémicos y la biodiversidad del área de estudio.

1.2 Justificación de la investigación

En el ordenamiento territorial se debe tomar en consideración la planificación y gestión sostenible del territorio, al priorizar la conservación de zonas específicas mediante un sustento técnico. Por ello, la infraestructura verde es utilizada, en el ámbito académico, como una estrategia de planificación integral, siendo un elemento clave en la definición de un modelo territorial (Valdés y Foulkes, 2016).

Se propuso un procedimiento para la determinación de la infraestructura verde en una unidad hidrográfica, basándose en la recopilación de técnicas aplicadas en distintos países. Actualmente, no existen publicaciones relacionadas a la localización y cuantificación de infraestructura verde en Perú, por ser un concepto de poca antigüedad. No obstante, en otros países la investigación en este tema es de mayor profundidad.

Por ello, se justifica la presente investigación debido a que permitió identificar las zonas prioritarias del medio ambiente que poseen el servicio ecosistémico de regulación de caudal de agua y protección de la erosión; y, áreas de gran importancia biológica. La preservación de estas zonas es significativa, debido a que la posible pérdida de dicho servicio ecosistémico afectaría, considerablemente, tanto a las personas como a los ecosistemas que se encuentran inmersos en el área de estudio. Es preciso señalar que, en el análisis del territorio, no todas

las áreas con vegetación califican para la clasificación de infraestructura verde. Esto radica en que no es posible, desde la perspectiva económica y técnica, cubrir todo el territorio con ecosistemas naturales con el fin de asegurar su influencia en los procesos naturales en cada punto del territorio (Liquete et al., 2015).

Cabe resaltar que la región Piura posee importante información en todo su territorio. No obstante, se seleccionó la subcuenca del río Quiroz debido a que, actualmente, existe un mecanismo de retribución por servicios ecosistémicos, que es el Fondo del Agua Quiroz Chira (Albán, 2017). La razón de creación de este mecanismo se basa en la fragmentación y degradación, en especial de los ecosistemas denominados bosques nublados y paramos, que crean un posible escenario de inseguridad en la disponibilidad y abastecimiento de agua en el sistema hidráulico San Lorenzo (Albán, 2017).

La investigación realizada aborda los temas de gestión del territorio y sostenibilidad por lo que se encuentra inmerso en el campo de acción de las Ciencias Ambientales, con una orientación a la Gestión Ambiental.

1.3 Alcances del estudio

La investigación fue enfocada en determinar las áreas consideradas como infraestructura verde en una unidad hidrográfica. Por ello, es considerada como cuantitativa y descriptiva, porque a través de la metodología empleada se define en el área de estudio: la localización de la infraestructura verde, su clasificación y el análisis que la sustenta.

Los componentes analizados, con los cuales se establece la clasificación de infraestructura verde para el estudio fueron los servicios ecosistémicos de mitigación de inundaciones y control de la erosión, unido a la importancia bioecológica. La selección de estas variables con respecto a otras, en referencia a otros servicios ecosistémicos, se basó en la disponibilidad de información del área de estudio. Los análisis realizados se efectuaron mediante procedimientos de sistemas de información geográfica (SIG) e hidrología, no se realizaron análisis de laboratorio referidos a muestras u otro análisis referido a una etapa de campo.

1.4 Objetivos del estudio

El objetivo general es la identificación y cuantificación de infraestructura verde basada en el servicio ecosistémico de regulación hídrica y protección de la erosión del suelo, además de su importancia ecológica en la subcuenca del río Quiroz.

Se ha planteado los siguientes objetivos específicos:

- Análisis mediante SIG¹ de la cuantificación y localización de la capacidad natural que brinda el servicio ecosistémico de regulación hídrica y protección de la erosión del suelo en el área de estudio.
- Clasificación en niveles de prioridad de áreas de infraestructura verde basada en la importancia de las mismas, tanto de suministro como de importancia ecológica.

¹ SIG es usado como abreviatura de Sistemas de Información geográfica

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

En la investigación realizada por Arones y Nuñez (2020) se definió como objetivo general la planificación estratégica de una red de lineamientos de infraestructura verde para el desarrollo sostenible de zonas naturales, seminaturales y otros elementos ambientales; diseñada y gestionada para impulsar un paquete de programas y proyectos en los cuatro sectores del Área Natural Protegida (ANP) Bosque de Protección Alto Mayo (BPAM), región San Martín, como un modelo piloto en las ANP del Perú y el mundo. Se concluyó que el Área Natural Protegida estudiada, presentaba carencia en la implementación de planes estratégicos (proyectos de impacto regional) que logren materializar los objetivos contemplados en su Plan Maestro, con visión de escala de territorio regional, basado en las prácticas de desarrollo sostenible.

Sabogal et al. (2018) realizaron un estudio que tuvo como objetivo generar una base de evidencia sobre el nexo agua-energía-alimentos, para identificar y codesarrollar medidas de mitigación de riesgos y estrategias para mejorar la gobernanza de recursos naturales e incrementar la capacidad de resiliencia de la microcuenca del Cumbaza (Tarapoto, San Martín). Como conclusión, relacionada a los servicios ecosistémicos, se evidenció que la resiliencia urbana está estrechamente vinculada a los servicios ecosistémicos forestales de los cuales depende, en última instancia para garantizar la seguridad hídrica, energética y alimentaria para el desarrollo económico y bienestar social. Además, se concluyó que el fortalecimiento de estrategias y acuerdos entre actores e instituciones urbanos y rurales para la restauración forestal o infraestructura verde, para aumentar y mantener la capacidad a largo plazo de los bosques tropicales, será clave para aumentar la resiliencia frente a crecientes presiones poblacionales y climáticas en la región amazónica.

Alva (2019) realizó una investigación, cuyo objetivo fue determinar si la infraestructura verde, de escala territorial entre los municipios de Chimbote y Nuevo Chimbote, era capaz de contener los procesos de expansión urbana y evitar la degradación y desaparición de sus humedales costeros. Como conclusión importante, Alva (2019), estableció que la implementación de una infraestructura verde de carácter territorial entre los municipios de Chimbote y Nuevo Chimbote era viable, por lo que contaba con todos los elementos necesarios para hacer realidad esa gran red de sistemas verdes. Con la identificación de las áreas de interés y la agrupación de estas junto con los humedales, se podían evitar futuros procesos desmesurados de expansión urbana.

Tostes et al. (2020) han realizado en la subcuenca del río Quiroz, estableciendo como objetivo proponer nuevas variables que se relacionen con la vulnerabilidad del sistema hídrico; y, analizar la gobernanza en torno a una MRSE, el Fondo de Agua Quiroz-Chira (FAQCH). Se concluyó en que la implementación del MRSE representaba un alto potencial de innovación social en los distritos de la cuenca del río Quiroz, con alta vulnerabilidad al cambio climático.

En la investigación de Flores-López et al. (2016) se planteó como objetivo, a través del software WEAP, un modelo hidrológico para los ecosistemas inmersos en la subcuenca Quiroz-Chipillico. Se concluyó que el cambio ambiental impacta el comportamiento hidrológico del páramo en términos de disponibilidad temporal y espacial de agua. Por lo tanto, los administradores necesitan, urgentemente, comprender mejor los procesos del sistema para permitir la predicción hidrológica.

En la publicación de Quintero y Pareja (2015) resalta que el Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos (MRSEH) efectuado en el río Quiroz ha alcanzado comprometer el aporte de tres distintos actores del territorio en la unidad hidrográfica (Juntas de Usuarios, Municipalidades y ONG).

La investigación realizada Tomateo (2021) tuvo por objetivo argumentar la trascendencia del conocimiento indígena en la Infraestructura Verde, para sus políticas y planificación siendo explicado a través del caso propuesto en la cuenca del río Tumbes.

2.2 Desarrollo sostenible

La Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) estableció en el 2015 un compromiso como parte del desarrollo de La Agenda 2030 a los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible

(United Nations, 2015), el cual trata de alcanzar, por medio de un listado de acciones y políticas de ejecución detalladas, 169 metas conceptualizadas (Guerrero y Castañeda, 2020).

Los países, en general, deben de contribuir en las acciones colectivas con el fin de lograr la sostenibilidad, por medio de la conceptualización de estrategias propias para su desarrollo basado en el uso adecuado de la tierra y la capacidad de regeneración de la naturaleza (Mensah, 2019). Esto debe de plasmarse a través de políticas efectivas, según lo establecido en la Agenda 2030, según los recursos, el entorno cultural, bienes específicos y los elementos críticos del propio país, que repercuten en la premura y facilidad de alcanzar unos objetivos sobre otros (Bellantuono et al., 2022).

2.3 Infraestructura verde

El concepto de infraestructura verde (IV), se ha utilizado de forma sustancial a lo largo del tiempo produciendo numerosas publicaciones con múltiples enfoques, es por ello que el interés en este tema entre los científicos y los tomadores de decisiones ha evolucionado significativamente (Laforteza et al., 2013).

La infraestructura verde puede ser definida, desde un punto de vista amplio, como una red, gestionada y planificada, de conservación en determinados espacios esenciales para el funcionamiento ecológico adecuado, del cual depende la permanencia y el crecimiento de una comunidad biológica (Cantó, 2014). En este caso una red ecológica es definida como un conjunto de nodos, generalmente especies, que están conectados entre sí mediante interacciones por pares (Woodward et al., 2005). A su vez, una comunidad es referida como un grupo de especies que aprovechan la misma clase de recursos ambientales de manera similar. Además, este concepto agrupa especies sin tener en cuenta la posición taxonómica, que se superponen significativamente en su requerido de nicho (Simberloff y Dayan, 1991).

Una definición unificada y aceptada, tanto en los Estados Unidos de Norteamérica como en Europa, acerca de la infraestructura verde es la propuesta por Silva y Wheeler (2017):

“Una red de áreas naturales, seminaturales y restauradas diseñadas y manejadas a diferentes escalas espaciales (desde local a global), que abarca todos los tipos principales de ecosistemas (marinos, terrestres y de agua dulce), y que tiene como objetivo conservar la biodiversidad, mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero, permitir la adaptación social al cambio climático y ofrecer una amplia gama de otros servicios ecosistémicos”.

De la definición anterior se puede acotar que la infraestructura verde aborda tres aspectos fundamentales: conectividad ecológica, conservación y multifuncionalidad de los ecosistemas (Mubareka et al., 2013).

Desde el enfoque del ordenamiento territorial, la Infraestructura Verde (IV) es conceptualizada como un instrumento de múltiples funciones que brinda beneficios ecológicos, económicos y sociales a la sociedad mediante la conservación de una red interconectada de zonas del territorio. En la identificación, la conservación y diseño de la red ecológica es necesaria la participación de varias disciplinas científicas (Cantó, 2014).

Para fines de esta investigación se definió la clasificación de la infraestructura verde en dos categorías (Liquete et al., 2015):

- Infraestructura verde fundamental: zonas que incluyen hábitats fundamentales y poseen el máximo potencial para proveer de servicios ecosistémicos a los seres humanos.
- Infraestructura verde subsidiaria: áreas que poseen significancia para los hábitats y proveen los beneficios de los servicios ecosistémicos por encima del promedio, pero no el óptimo.

Los beneficios sociales son considerados juicios de importancia en las acciones de la planificación infraestructura verde; sin embargo, las funciones ecológicas frecuentemente son el centro de atención (Monteiro et al., 2020). En adición a lo anterior, en el proceso de planificación del territorio se utiliza en algunos casos, técnicas con alta complejidad que dificultan la puesta en práctica de la infraestructura verde como instrumento, lo cual origina la inviabilidad de considerar a la IV, por parte de los profesionales que formulan las políticas públicas (Monteiro et al., 2020).

Es importante señalar que los conflictos de uso del suelo, que ocasionan la fragmentación de los hábitats y no permiten el desarrollo de la IV ni su preservación son: la infraestructura vial, generación de energía e intensificación de la agricultura (Andreucci, 2013).

2.4 Servicios ecosistémicos

Se define a los servicios ecosistémicos (SE) como los bienes y servicios de los ecosistemas, que aportan beneficios a la humanidad de forma directa o indirectamente, de las funciones de los ecosistemas (Costanza et al., 1997). Se entiende por servicios a las condiciones y

procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, sostienen y benefician a los seres humanos (Daily, 1997). Los servicios ecosistémicos se pueden clasificar como servicios de provisión, regulación, soporte y culturales como se puede apreciar en Figura 1 (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

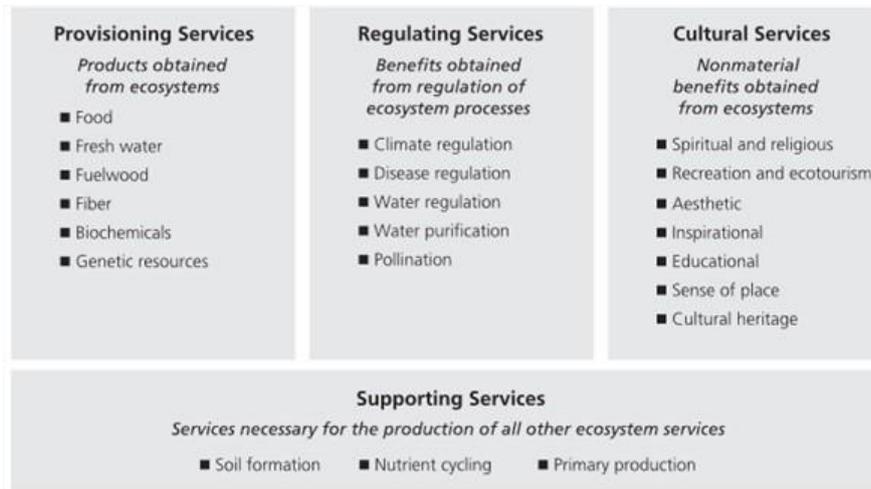


Figura 1: Clasificación de los servicios ecosistémicos
Fuente: Millennium Ecosystem Assessment (2003).

Como se puede apreciar en la Figura 1, de los SE de provisión se consiguen productos de los ecosistemas; de los SE de regulación, beneficios de regulación de los procesos del ecosistema; de los SE culturales, beneficios no materiales del ecosistema; de los SE de soporte, servicios necesarios para la producción de otros servicios ecosistémicos (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Posterior a la publicación mencionada, se realizó la Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos (CICES), con el fin de prevalecer frente a las demás clasificaciones existentes, la cual fue propuesta en el 2009 y revisada el 2013 (Haines-Young y Potschin, 2018). De forma similar a las categorizaciones existentes, el estudio menciona los grupos de clasificación de provisión, regulación y cultural, pero a diferencia de otros autores no se considera el grupo de soporte, esta reducción tuvo el objetivo de evitar la doble contabilidad al realizar la valoración de los SE (Ruskule et al., 2018). Es por ello que los SE de provisión son productos, bienes y servicios que otorgan los ecosistemas con un fin utilitario para los seres humanos; los SE de regulación son los concernientes a la intervención del sostenimiento de los procesos ecológicos; y, los culturales son los beneficios no materiales que tienen consecuencia en el estado físico y mental de las personas (Monteiro et al., 2020).

El concepto de servicios ecosistémicos muestra una relación explícita entre el estado y funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano (Balvanera y Cotler, 2007).

Es importante señalar que, en la normativa del Perú, en el Decreto Supremo N° 009-2016-MINAM, se aprueba el reglamento de la Ley N° 30215: Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos. En el cual señala que “Los servicios ecosistémicos son aquellos beneficios económicos, sociales y ambientales, directos e indirectos, que las personas obtienen del buen funcionamiento de los ecosistemas”.

Finalmente, es necesario mencionar la Resolución N° 199-2015-MINAM, la cual aprueba los lineamientos de Política de Inversión Pública en materia de Diversidad Biológica y Servicios Ecosistémicos 2015-2021.

2.5 ECOSER

En la página web de ECOSER, organización argentina, Lathera et al. (2015) describe que “ECOSER es una herramienta que está siendo desarrollada tanto para el soporte de la toma de decisiones sobre uso de la tierra, como de la investigación e integración disciplinaria y de la colaboración científica en torno a los flujos de funciones (FE) y servicios ecosistémicos (SE), su interacción y su captura por la sociedad, así como la vulnerabilidad socio-ecológica (VSE) bajo distintos escenarios de pérdida de SE. Básicamente, consiste en un protocolo o conjunto de procedimientos que permiten evaluar y mapear SE y estimar la VSE frente a la pérdida de los mismos”.

Este protocolo de procedimientos cuenta, actualmente, con numerosas publicaciones científicas principalmente en países de Sudamérica.

2.6 Inundaciones

El fenómeno natural de las inundaciones, sea su origen pluvial, fluvial o costera, están consideradas como el efecto de las precipitaciones intensas asociadas a catástrofes de índole ambiental, ecológico y socioeconómico (Pinos y Quesada-Román, 2021). Es por ello que los perjuicios producidos por las inundaciones alrededor del planeta se han incrementado de forma considerable en los últimos tiempos, sustentado fundamentalmente en el aumento constante de la población y por ende en las actividades económicas inmersas en las zonas afectadas (Jongman et al., 2012).

Es previsible que las secuelas de las inundaciones en Latinoamérica y el Caribe ocurran con mayor intensidad a consecuencia de la dinámica poblacional, la resiliencia unida a la poca preparación ante las emergencias, las políticas públicas poco eficientes, la presencia población en situación de pobreza y dificultades en las construcciones necesarias (Sandoval y Sarmiento, 2020).

2.7 Servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones

Este servicio ecosistémico es clasificado como un S.E. de regulación y subclasificado como S.E. Regulación de agua. Este tipo de servicios ecosistémicos abarca la duración y la magnitud de la escorrentía, las inundaciones y la recarga del acuífero influenciados fuertemente por cambios en la cobertura terrestre (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Es definido como la capacidad que poseen los ecosistemas en un año de interceptar las tormentas, a fin de mitigar las inundaciones. Para el caso del presente estudio, la estimación de la cantidad de agua de inundación mitigada anualmente por un ecosistema puede ser deducida restando el escurrimiento a la lluvia de tormenta (Fu et al., 2013).

Debido a la dificultad de registro de información en las cuencas, (Fu et al., 2013) propone una metodología simplificada basada en el procedimiento de la Soil Conservation Service curve number (SCS-CN). De esta forma la cantidad de agua que un ecosistema mitiga por año se puede expresar mediante la ecuación 1.

$$REP_i = \left(P - \frac{(P-0.2IE)^2}{P+0.8IE} \right) * días_{tormenta} \quad (1)$$

Donde: REP_i es la retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal en el píxel i (mm); P , la lluvia de un evento de tormenta (mm); $días_{tormenta}$, el número de días de tormenta en un año; e, IE , la cantidad de lluvia retenida por el ecosistema, antes de que ocurra el escurrimiento.

Según lo propuesto por Barral (2016) y Fu et al. (2013) se considera un día de tormenta cuando la precipitación acumulada diaria es superior a los 50 mm, esto se debe a que más de 50 mm de lluvia en 24 horas es una tormenta que conlleva a inundaciones.

A su vez, Barral (2016) propone que a través de la metodología Soil Conservation Service curve number (SCS-CN), se puede deducir el escurrimiento superficial con la siguiente ecuación 2.

$$ES = \frac{(P-0.2IE)^2}{P+0.8IE} \quad \text{Si } P > 0.2 IE$$

$$ES = 0 \quad \text{Si } P \leq 0.2IE \quad (2)$$

Donde: ES es el escurrimiento superficial (mm); P , la precipitación (mm) de un evento de lluvia dado; e , IE , la pérdida inicial (todas las pérdidas antes de que comience el escurrimiento, incluye agua retenida en depresiones de la superficie, agua interceptada por la vegetación, evaporación e infiltración), que se calcula con la ecuación 3.

$$IE = \left(\frac{25400}{NC} \right) - 254 \quad (3)$$

Siendo NC el valor de curva número para determinado tipo hidrológico de suelo, condición de humedad previa y uso de la tierra.

2.8 Método Número de Curva (SCS-CN)

Es definido como un modelo conceptual de pérdidas de precipitación, cuya finalidad es estimar la precipitación neta o escorrentía generada por una tormenta. La amplia difusión en el campo de la modelación hidrológica y ambiental se debe a su simplicidad, tanto en el uso como en la recopilación de los datos necesarios. Este método abarca dos hipótesis: La escorrentía comienza cuando se satisface un umbral de pérdidas iniciales; y superado el umbral de escorrentía la relación entre la retención efectiva de la precipitación y la retención potencial, es igual a la relación entre la escorrentía efectiva y la escorrentía potencial (López Alonso, 2001).

La ecuación general del método número de curva (SCS-CN) se puede expresar de la siguiente forma:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad \text{si } P < 0.2S$$

$$P_e = 0 \quad \text{si } P \leq 0,2S \quad (4)$$

Donde: S es la retención potencial después de iniciada la escorrentía; P_e , la precipitación efectiva o neta; P , la precipitación total o bruta; e , I_a , las pérdidas iniciales o umbral de escorrentía.

Con objeto de facilitar la aplicación del método, S se relaciona con el parámetro adimensional NC , el número de curva, variando en un rango $0 \leq NC \leq 100$. Donde S es la retención potencial (mm) y NC el número de curva.

$$S = \frac{25400}{NC} - 254 \quad (5)$$

La estimación de los valores de curva número están en función de los parámetros de uso actual del suelo, medidas de conservación empleadas, estado de compactación del terreno en relación a su uso, capacidad de infiltración del suelo en atención a su textura y condición previa de humedad del suelo (Ibañez Asensio et al., 2011).

Témez (1978) propone valores de NC , mostrados en la Tabla 1, para condiciones medias de humedad en el suelo. Este parámetro depende del uso del suelo, las características hidrológicas, la pendiente del terreno y el tipo de suelo.

Autores como Ferrer et al. (1995) proponen metodologías sistematizadas basadas en SIG para la estimación del NC .

2.9 Peruvian Interpolated data of the SENAMHI's Climatological and hydrological Observations (PISCO)

El SENAMHI a través de su Nota Técnica 001 SENAMHI – DHI – 2017 define a PISCO como una base de datos espacial de precipitación, la cual fue elaborada en base a los datos globales del proyecto CHIRPS (Climate Hazards InfraRed Precipitation with Station data). Siendo este una combinación de datos provenientes de sensores remotos, modelos y estaciones terrenas (Aybar et al., 2017).

Tabla 1: Número de curva para condiciones medias de humedad

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	>=3	77	68	89	93
Barbecho N	>=3	74	82	86	89
Barbecho R/N	<3	71	78	82	86
Cultivos en hilera R	>=3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	>=3	67	76	82	86
Cultivos en hilera R/N	<3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	>=3	63	75	83	86
Cereales de invierno N	>=3	61	73	81	83
Cereales de invierno R/N	<3	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres R	>=3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	>=3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	<3	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos R	>=3	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos N	>=3	54	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	<3	52	67	76	79
Pradera pobre	>=3	68	78	86	89
Pradera media	>=3	49	69	78	85
Pradera buena	>=3	42	60	74	79
Pradera muy buena	>=3	39	55	69	77
Pradera pobre	<3	46	67	81	88
Pradera media	<3	39	59	75	83
Pradera buena	<3	29	48	69	78
Pradera muy buena	<3	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	>=3	45	66	77	83
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	>=3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	>=3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	<3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	<3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	<3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	>=3	94	94	94	94
Rocas permeables	<3	91	91	91	91
Rocas impermeables	>=3	96	96	96	96
Rocas impermeables	<3	93	93	93	93

Fuente: Témez (1978).

2.10 Erosión del suelo

El medio físico es la principal causa de pérdida de suelo; no obstante, esto también se puede dar a través de procesos bioquímicos como la denudación química. La remoción de partículas del sistema de suelo en el lugar propio se da por solución o suspensión. En adición a lo anterior, los procesos de descomposición son la principal causa de pérdida de materia orgánica del suelo, a excepción del caso de turbas (Verheijen et al., 2009).

Componentes edáficos como el carbono orgánico y sus nutrientes se pierden a causa de la erosión del suelo, ocasionando una reducción del capital natural y por ello la disminución del suministro de servicios ecosistémicos relacionados al suelo (Steinhoff-Knopp et al., 2021).

Componentes edáficos como el carbono orgánico y sus nutrientes se pierden a causa de la erosión del suelo, ocasionando una reducción del capital natural y por ello la disminución del suministro de servicios ecosistémicos relacionados al suelo (Steinhoff-Knopp et al., 2021).

2.11 Servicio ecosistémico de control de la erosión

Es la capacidad natural que poseen los ecosistemas para realizar el control de la erosión, la cual está basada en las cualidades que tiene la vegetación para unir las partículas del suelo, de esta forma se impide que la capa superior del suelo sea arrastrada por el agua o el viento (Maes et al., 2011). La cobertura vegetal posee un rol fundamental en la retención del suelo y la prevención de deslizamientos de tierra (Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Barral (2016) propuso para la realización del mapeo y la cuantificación del servicio ecosistémico se utilizará la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (Renard et al., 1991). Esta ecuación predice pérdidas de sedimentos medias anuales de acuerdo a factores climáticos, topográficos, edáficos y de uso y cobertura del suelo, dicha ecuación es presentada a continuación.

$$A_i = R_i * K_i * LS_i * C_i * P_i \quad (6)$$

Donde A_i es La pérdida media anual de sedimentos por erosión hídrica (Ton/año); R_i es el factor erosivo de las lluvias o índice de erosividad; K_i es la susceptibilidad del suelo a la erosión; LS_i es el factor que combina la longitud del flujo y el grado de la pendiente; C_i es el factor de cobertura vegetal; P_i es el factor de buenas prácticas de manejo.

Para el cálculo de la máxima pérdida de sedimentos por erosión hídrica se ha asumido que la superficie a analizar debe de ser un suelo que no posea cobertura vegetal ni buenas prácticas de manejo. De esta forma se obtiene la ecuación presentada por Barral (2016), la cual es la diferencia entre la máxima pérdida de sedimentos (A_{max}) y la pérdida media anual de sedimentos (A_i) ambos por erosión hídrica (Ton/año).

$$A_{max} = R_i * K_i * LS_i$$

$$A_{máx} - A_i \quad (7)$$

2.12 Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada RUSLE

En la actualidad la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal (USLE) y la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE) desarrollada posteriormente, son los modelos de mayor uso en la predicción de pérdida de suelo por erosión (Lu et al., 2004).

El modelo USLE se elaboró para la estimación de la erosión del suelo en tierras de cultivo con topografía de pendiente suave (Wischmeier y Smith, 1978). A diferencia de ello, el modelo RUSLE ha ampliado su aplicación a diferentes escenarios, como son bosques, pastizales y áreas perturbadas. Es decir, este modelo representa cómo el clima, el suelo, la topografía y el uso de la tierra afectan la erosión del suelo, causada por el impacto de la precipitación y la escorrentía superficial (Renard et al., 1997)

El factor R es obtenido por la cantidad total de precipitación anual, además de la forma en que esta precipitación se produce, por tanto, se puede establecer una relación directa en la que es más erosivas cuanto mayor cantidad de agua cae en un menor espacio de tiempo (Barral, 2016). Para la realización del cálculo se emplea el producto de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima de 30 minutos de duración, esta operación nos permite obtener la erosividad de tormentas individuales, a partir de ello se realiza la suma promedio anual para la estimación del factor R (Wischmeier y Smith, 1978). No obstante, en el territorio nacional no se cuenta con la información necesaria su aplicación (Sabino et al., 2017). Es por ello que la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978) y fue adaptada y sintetizada en la ecuación propuesta por Sabino, Felipe and Lavado (2017), la cual se muestra a continuación, siendo P_i es Precipitación mensual (mm) y p es Precipitación anual (mm).

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log_{10}(P_i^2/p) - 0.08188)} \quad (8)$$

La pérdida de suelo se incrementa acorde a un aumento de la longitud y la inclinación de la pendiente. Dicha pérdida está estimada mediante el factor LS procedente de los subfactores longitud (L) y pendiente (S) del terreno. (Wischmeier y Smith, 1978). proponen la ecuación mostrada a continuación.

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad (9)$$

En el que LS significa la proporción de pérdida de suelo en comparación con un área de referencia "estándar" con 9 por ciento de pendiente y 22.13 metros de longitud de la pendiente. S es la pendiente en grados mientras que el exponente m toma los siguientes valores:

$$\begin{aligned}
 m &= 0.5 \text{ if } \beta > 0.05 \\
 m &= 0.4 \text{ if } 0.03 < \beta < 0.05 \\
 m &= 0.3 \text{ if } 0.01 < \beta < 0.03 \\
 m &= 0.2 \text{ if } \beta < 0.01
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Además, λ se estima con la siguiente ecuación propuesta por (Bolton et al., 1995):

$$\lambda = \left(\frac{\text{Acumulación de flujo} \cdot \text{longitud del píxel}}{3.1416} \right)^{0.5}
 \tag{11}$$

La ecuación anterior es utilizada mediante procedimientos de sistemas de información geográfica.

El factor K está referido a la erodabilidad inherente al suelo, es decir, es la resistencia del suelo al proceso de erosión y transporte. El factor K relacionado principalmente a las variables de capacidad de infiltración, textura y estructura, permeabilidad y cohesión de partículas del suelo (Zúñiga, 2017).

$$K_i = \frac{1.292 * (2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - MO) + 3.25 * (E - 2) + 2.5 * (P - 30))}{100}
 \tag{12}$$

Siendo:

$$M = (100 - \% \text{ arcilla}) * (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina})$$

De las ecuaciones anteriores relacionadas al factor K se puede apreciar que MO es el porcentaje de materia orgánica, E es el código (curva) de estructura y P es el código (curva) de permeabilidad. Para la estimación de estos valores Wischmeier y Smith (1978) presentan el nomograma mostrado en la Figura 2.

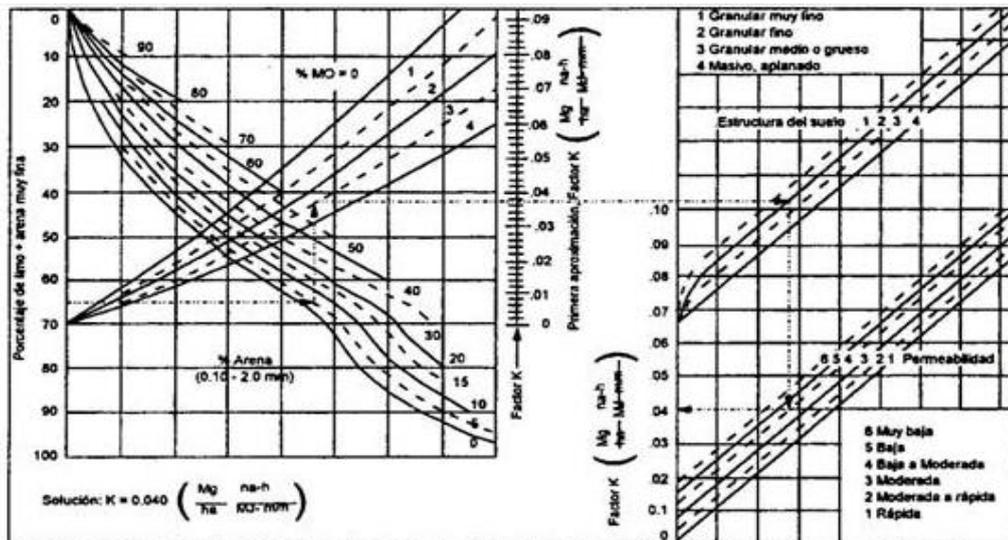


Figura 2. Nomograma para la obtención del factor K

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

Ante la falta de los datos necesarios para la aplicación del método anterior, la (FAO, 1980) realizó una metodología para la estimación de los valores del factor K, basada principalmente en la unidad de clasificación del suelo FAO/United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) y la textura. Los valores del factor K se muestran en la Tabla 2. Autores como Colín-García et al. (2013), Röder et al. (2006), Sabino et al. (2017), entre otros, aplicaron esta metodología con éxito ante la falta de información necesaria.

El factor C referido a la cobertura vegetal, está considerado como la biomasa en la superficie del suelo que intercepta las lluvias, reduciendo la acción de la lluvia, constituyendo la capacidad de infiltración, esorrentía y la pérdida de suelo según el tipo y densidad de cubierta vegetal (Zúñiga, 2017). Wischmeier y Smith (1978) proponen valores de C en función a los cultivos y las prácticas de manejo, la Tabla 3 detalla los valores del factor C.

La erosión es como proceso natural, no puede evitarse en su totalidad, no obstante, puede reducirse a un valor máximo aceptable o pérdida tolerable de suelo. Las estrategias para el control de la erosión utilizan técnicas de conservación de suelos con las que se prevé mantener las pérdidas de suelo por debajo del umbral que, en teoría debería permitir a la velocidad natural de formación del suelo, y a su vez compensar las pérdidas por erosión (Morgan et al., 1994).

El factor P está referido a la protección debida a prácticas de conservación, proporción entre la pérdida de suelo con una práctica de conservación, y la labranza en sentido de la pendiente (Zúñiga, 2017).

Tabla 2: Valores del factor de erodabilidad (factor K) de acuerdo a la taxonomía y la textura de suelo

Unidades de suelo de acuerdo a la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Cód	Tipo de Suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	ACRISOLES	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	ALISOLES	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AN	ANDOSOLE	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	ARENOSOLE	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los Arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales álbicos.	0.013	0.02	0.007
CL	CALCISOLES	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los Calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido.	0.053	0.079	0.026
CM	CAMBISOLES	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color.	0.026	0.04	0.013
CH	CHERNOZEM	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro.	0.013	0.02	0.007
DU	DURISOLES	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico) o nódulos de sílice secundaria (horizonte dúrico).	0.053	0.079	0.026
FR	FERRALSOLES	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
FL	FLUVISOLES	Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Perfiles con evidencia de estratificación, débil diferenciación de horizontes.	0.026	0.04	0.013
GL	GLEYSOLE	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe.	0.026	0.04	0.013
GY	GIPSISOLES	Suelos con acumulación de sulfato de calcio, con o sin carbonatos, concentrada en el subsuelo. Horizonte superficial de color claro.	0.053	0.02	0.007
HS	HISTOSOLE	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho.	0.053	0.02	0.007
KS	KASTANOEZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
LP	LEPTOSOLE	Suelos someros, finos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	LIXISOLES	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcilla) entre el suelo superficial con menor y subsuelo con mayor contenido de arcilla.	0.013	0.02	0.007
LV	LUVISOLES	Diferenciación pedogénica del contenido de arcilla.	0.026	0.04	0.013
NT	NITISOLES	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o nuciformes.	0.013	0.02	0.007
PH	PHAEOEZEMS	Suelos ricos en materia orgánica. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems pero están más intensamente lixiviados.	0.013	0.02	0.007
PL	PLANOSOLE	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas.	0.053	0.079	0.026
PT	PLINTOSOLE	Fuerte meteorización con segregación subsecuente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido.	0.026	0.04	0.013
PZ	PODZOLES	Suelos con un horizonte iluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica.	0.053	0.079	0.026
RG	REGOSOLE	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros.	0.026	0.04	0.013
LX	SOLONCHAKS	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad.	0.053	0.04	0.013
LV	SOLONETZ	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables.	0.053	0.079	0.026
UM	UMBRISOLES	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases.	0.026	0.04	0.013
VR	VERTISOLES	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan.	0.053	0.079	0.026

Fuente: FAO (1980).

La erosión es como proceso natural, no puede evitarse en su totalidad, no obstante, puede reducirse a un valor máximo aceptable o pérdida tolerable de suelo. Las estrategias para el control de la erosión utilizan técnicas de conservación de suelos con las que se prevé mantener las pérdidas de suelo por debajo del umbral que, en teoría debería permitir a la velocidad natural de formación del suelo, y a su vez compensar las pérdidas por erosión (Morgan et al., 1994).

Tabla 3: Índices del factor de cobertura vegetal C

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.001
Pradera sobre pastoreada	0.1
Pradera herbácea	0.01-0.025
Albolado denso	0.01-0.003
Albolado forestal clareado	0.003-0.009
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral ralo y eriales	0.20-0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Cubierta escasa (60 por ciento)	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

Wischmeier y Smith (1978) proponen valores de P en función a la pendiente y el tipo de uso del suelo, los cuales se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Valores de factor P

Tipo de uso de la tierra	Pendiente (%)	Factor P
Agricultura	0-5	0.10
	5-10	0.12
	10-20	0.14
	20-30	0.19
	30-50	0.25
	50-100	0.33
Otro tipo de uso	Todos	1.00

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

2.13 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

En términos generales, los Sistemas de Información Geográfica son una tecnología de procesamiento de datos, formada por un hardware y un software que permite manejar adecuadamente la información espacial para la realización de los análisis geográficos. (Crespo, 2013).

Los Sistemas de Información Geográfica están elaborados para el análisis de información que está espacialmente referenciada a la tierra. Es por ello el beneficio de esta herramienta en la investigación de problemas ambientales, cuando las relaciones entre elementos espaciales y geográficos forman parte de los elementos significativos del problema a ser investigado (Bateman et al., 2002).

2.14 Ecohidrología

La ecohidrología es la ciencia que tiene por objetivo investigar la influencia de las actividades humanas en los recursos hídricos, es por ello que posee un gran número de temas variados inmersos, como es el caso de los ecosistemas, las actividades antrópicas que determinaran escenarios futuros, entre otros (Nuttle, 2002). En la Figura 3 se muestra, gráficamente, los procesos ecohidrológicos en una cuenca.

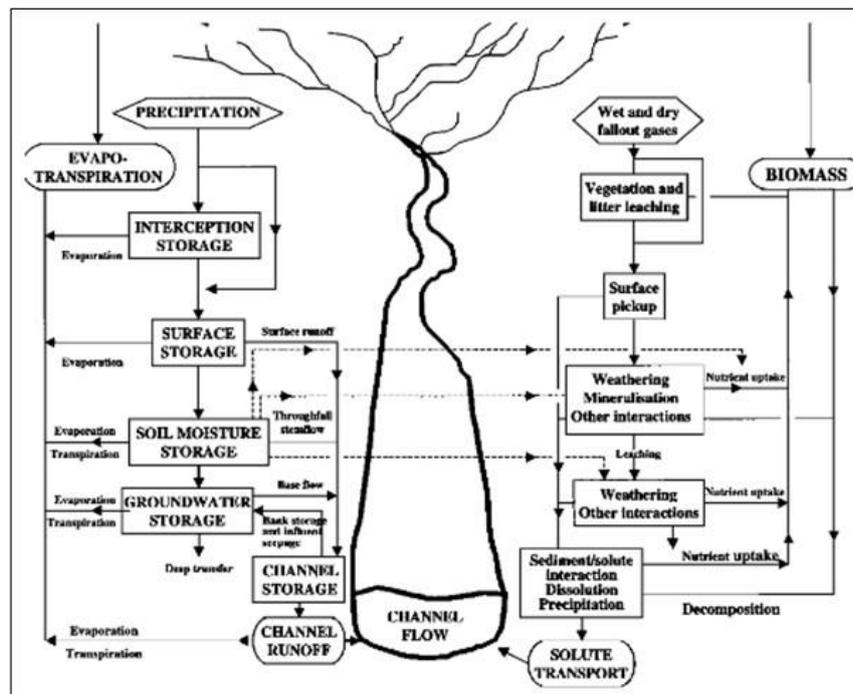


Figura 3: Representación simplificada de la interacción de los procesos hidrológicos y bioquímicos que operan en una cuenca
Fuente: Webb y Walling (1996).

En el ámbito académico hay una prioridad de modificar la percepción de los sistemas ecológicos en modelos económicos. Esta necesidad surge a partir de los progresivos cambios mundiales y el incremento en la demanda de una conducción más sostenible y eficiente enfocado en lo siguiente: necesidades sociales cambiantes y el contexto, la identificación y evaluación, así como la incorporación funcional de servicios del ecosistema como elemento integral del manejo y la economía de los recursos hídricos, el abasto sustentable de agua y los modelos de demanda son una necesidad (UNESCO, 2021).

El tópico central de la ecohidrología muestra que el balance hídrico se encuentra estrechamente relacionado a la dinámica y al modelo de vegetación, principalmente en ecosistemas con déficit hídrico (Wilcox et al., 2017).

Estudios realizados por (Andrade et al., 2020), mostró que una adecuada gestión del territorio enfocado en la ecohidrología favorece la cobertura de los servicios ecosistémicos en los bosques tropicales secos. Además, Le Maitre et al. (2014) investigo el vínculo entre la hidrología a escala del paisaje y los servicios de los ecosistemas, y cómo se cree que la degradación del paisaje ha alterado la prestación de esos servicios. Concluyendo que los efectos de la actividad antrópica mal manejada en la reducción de la cobertura vegetal perenne, producen cambios en la retención y transferencia de agua, nutrientes y materia orgánica.

2.15 Cuenca hidrográfica

Se puede definir como una porción del territorio, en el cual las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural delimitada por la existencia de la divisoria de las aguas. En una cuenca hidrológica, además se incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo, conformando un sistema integral, constituyendo un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad (Gaspari et al., 2009).

2.16 Red de conectividad ecológica

Es definida como un área esencial y necesaria para las actividades vitales de los grupos funcionales de la biota, siendo cruciales estas áreas para mantener la biodiversidad. La importancia de la red de conectividad ecológica, radica en ser una forma de fomentar la diversidad genética; por ende, la viabilidad y resiliencia (Liquete et al., 2015).

2.17 Cobertura vegetal

El Ministerio del Ambiente (2015) indica que “El Mapa Nacional de Cobertura Vegetal está conformado por unidades espaciales definidas y clasificadas en base a criterios geográficos, fisonómicos, condición de humedad y excepcionalmente florísticos. La memoria descriptiva del mapa muestra la distribución geográfica, superficie y características biofísicas generales de los diversos tipos de cobertura vegetal que cubren el país, como por ejemplo los bosques lluviosos y los palmerales pantanosos (aguajales) de la selva baja, los bosques lluviosos de la selva alta, los bosques secos del noroeste, los bosques relictos andinos, los herbazales altoandinos (pajonales, bofedales), los matorrales andinos, etc”.

2.18 Zonificación Ecológica y Económica

El MINAM (2019) señala lo siguiente:

“La Zonificación Ecológica y Económica es un proceso dinámico y flexible para la identificación de alternativas¹ de uso sostenible de un territorio basado en la evaluación de sus potencialidades y limitaciones con criterios físicos, biológicos, sociales, económicos y culturales”.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización

El área de estudio considerada en la investigación fue la unidad hidrográfica definida como la subcuenca del río Quiroz, mostrada en la Figura 4. Es importante señalar que la subcuenca del río Quiroz pertenece a la cuenca del río Chira, el cual desemboca en la vertiente del Pacífico. Además, esta subcuenca posee un trasvase con el cual se irrigan las áreas agrícolas del valle San Lorenzo, siendo este un valle regulado por una represa.

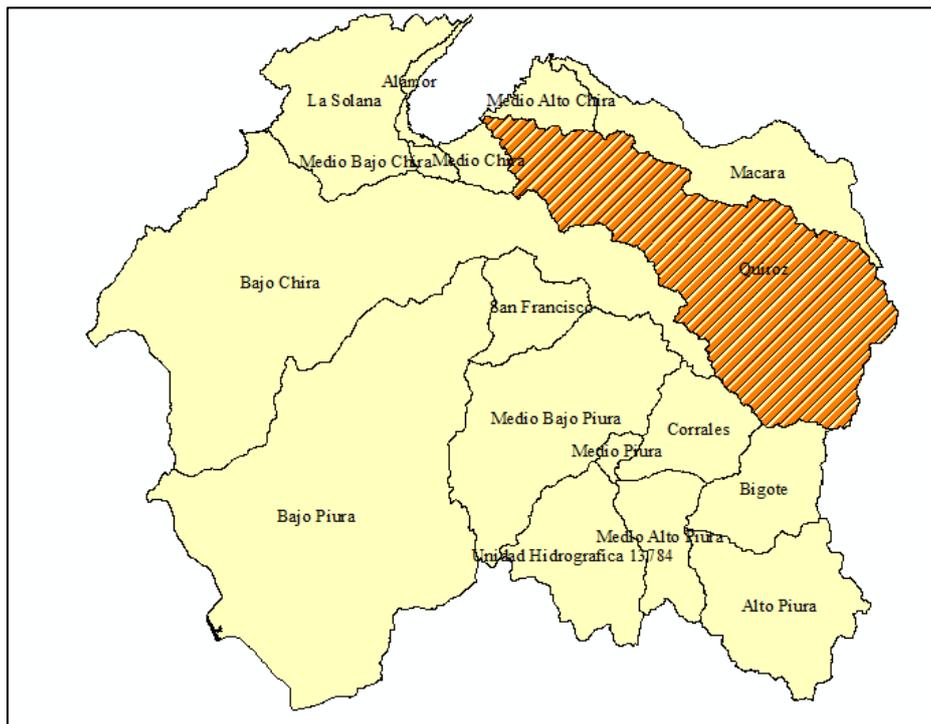


Figura 4. Ubicación hidrográfica del área de estudio

Fuente: Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (2012).

Políticamente, el área de estudio está localizada en la región Piura. A nivel provincial abarca Ayabaca, Sullana, Huancabamba, Morropon y Piura (Figura 5). Además, comprende los distritos de: Lalaquiz, Yamango, Huancabamba, Chalaco, El Carmen de La Frontera, Frias,

Pacaipampa, Sapillica, Lagunas, Las Lomas, Montero, Paimas, Sicchez, Jilili, Ayabaca, Suyo, Lancones (Figura 6).

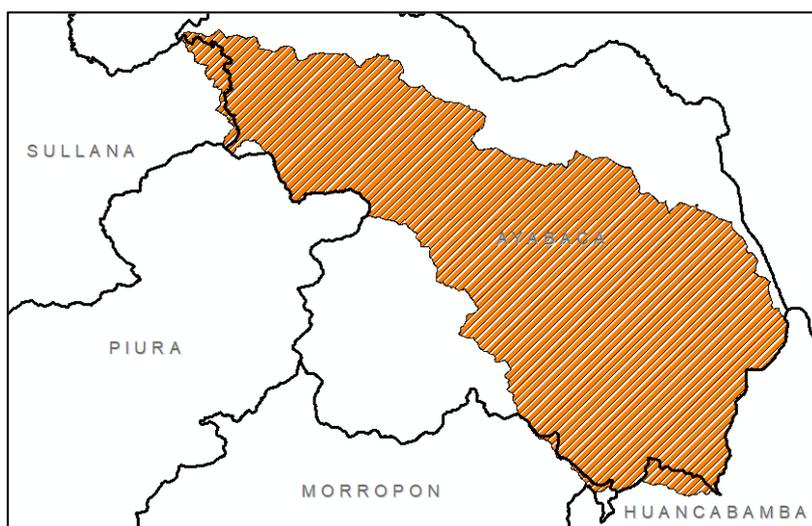


Figura 5. Ubicación política del área de estudio a nivel provincial
Fuente: GRRNGMA²(2012).

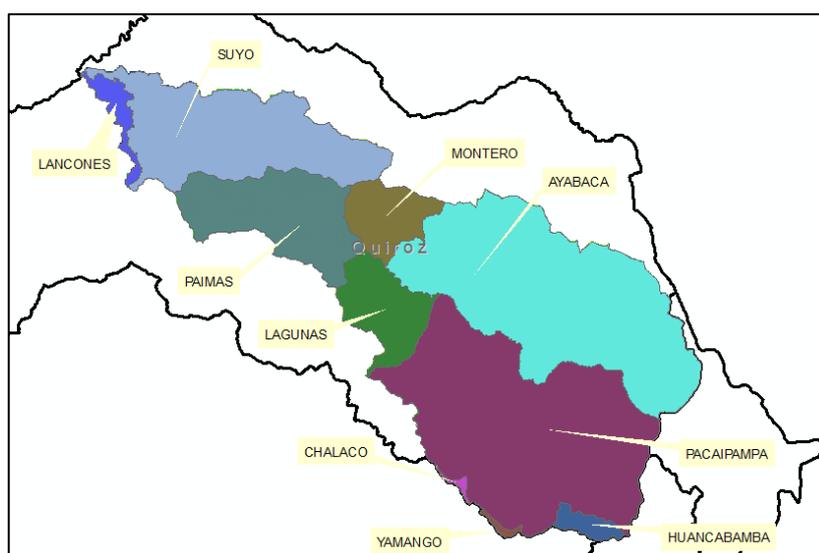


Figura 6. Ubicación política del área de estudio a nivel distrital
Fuente: GRRNGMA (2012).

Es importante señalar que la subcuenca del río Quiroz posee Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos (MRSEH), los cuales están efectuados a través del Fondo Quiroz que se encuentra en fase de implementación (Quintero y Pareja, 2015).

² GRRNGMA: Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente

3.1.2 Vías de acceso

La principal vía de acceso desde la ciudad de Piura hasta la ciudad principal del área de estudio, la cual es Ayabaca, se describe a continuación. Se sigue la ruta hacia la salida de Piura por la avenida Guardia Civil hacia la rotonda que intercepta con la vía de evitamiento. Posterior a ello, se continua por la carretera Antigua Panamericana hasta el desvío con dirección a Tambogrande; se prosigue por la ruta Tambogrande–Ayabaca, encontrándose a los poblados Las Lomas y Paimas hasta llegar al destino final. El recorrido en su totalidad tiene una duración de 4 horas aproximadamente, siendo la mayor parte del recorrido asfaltado. En la Figura 8 se muestra la ruta descrita anteriormente.

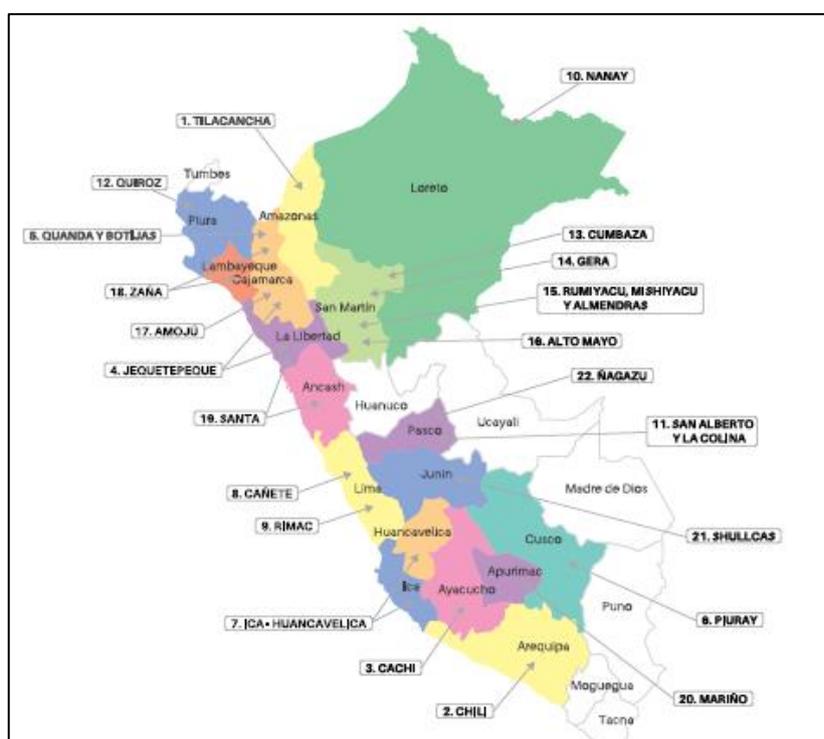


Figura 7. Ubicación de iniciativas de MRSEH en el país
Fuente: Quintero y Pareja (2015).

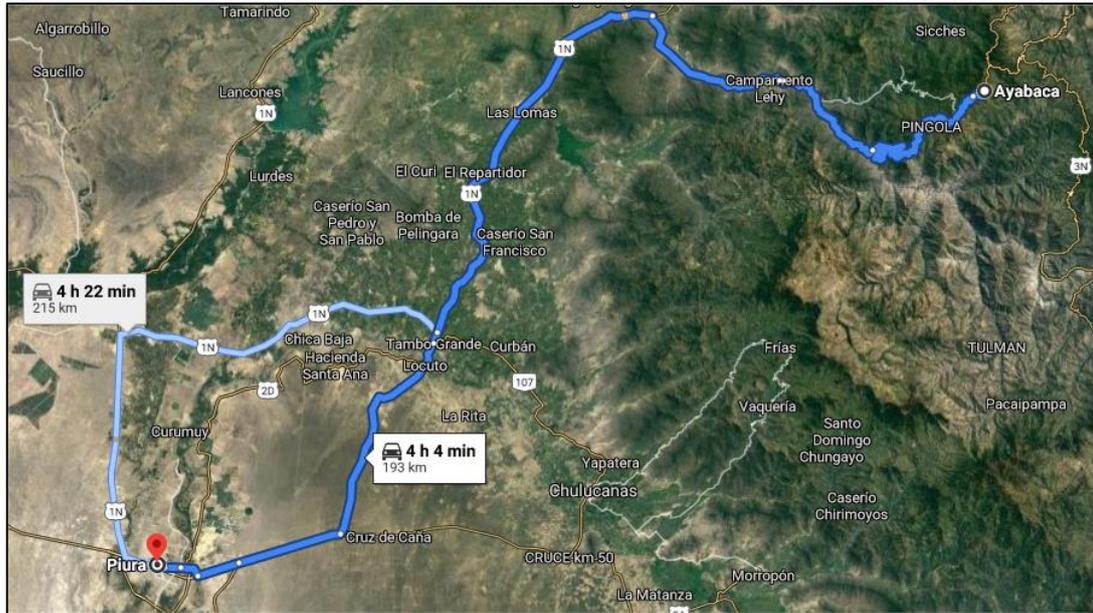


Figura 8: Recorrido Piura- Ayabaca

Fuente: Google Maps (2024).

3.1.3 Características generales de la subcuenca del río Quiroz

El río Quiroz posee una longitud de 114 km, aproximadamente, desde su origen en la confluencia de los ríos Santa Rosa y Tulman, hasta su desembocadura en el río Chira. A su vez, el río Santa Rosa posee alrededor de 11 km y nace de la intercepción de los ríos Parcuchaca (11 km, aproximadamente) y Palo Blanco (54 km aprox). De forma similar, el río Tulman tiene cerca de 19 km y su origen es en la unión de los ríos Naranjo (7 km aprox) y Malache (3 km).

En la Figura 9 se muestra el mayor detalle hidrográfico de la morfología de los principales ríos de la subcuenca del río Quiroz; y, en la Figura 10, el perfil longitudinal del río Quiroz.

3.2 Materiales y equipos

Los materiales utilizados en la fase de gabinete de la investigación, en la cual se determinó mediante cálculos y procedimientos la infraestructura verde, se detallan a continuación.

- Materiales de escritorio
- Carta nacional
- Computadora e impresora
- Software QGIS 3.34.2

- Paquete GIS del protocolo ECOSER
- Paquete GIS de SoilTexture
- Paquete GIS de QSWAT
- Software Google Earth
- Software R Studio
- Paquete en lenguaje de programación R de base de datos PISCO.
- Imágenes satelitales
- Software Hydraccess

3.3 Métodos

3.3.1 Metodología general

La metodología general (Figura 12) de la investigación consistió en la determinación de la infraestructura verde a partir de cálculos hidrológicos y sistemas de información geográfica. De forma similar a los procedimientos propuestos por Lique et al. (2015) para obtener la clasificación de infraestructura verde en el área de estudio. Es importante señalar que la investigación presenta una metodología para cuantificar la infraestructura verde en una subcuenca.

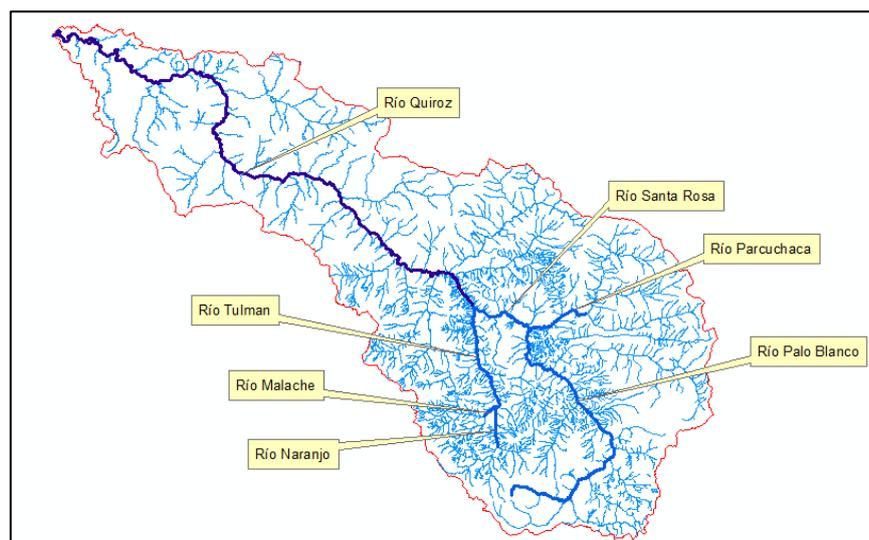


Figura 9: Descripción hidrográfica de la subcuenca

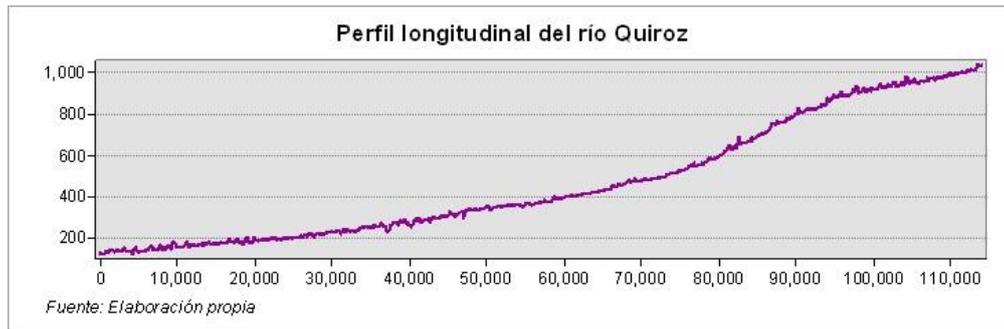


Figura 10: Perfil longitudinal del río Quiroz

Para la estimación de la infraestructura verde se utilizó la información de los servicios ecosistémicos y la importancia bioecológica. Los servicios ecosistémicos propuestos en la investigación fueron mitigación de inundaciones y control de la erosión. La metodología general está basada en los procedimientos realizados por Liqueete et al. (2015) aplicado en Europa (Figura 11).

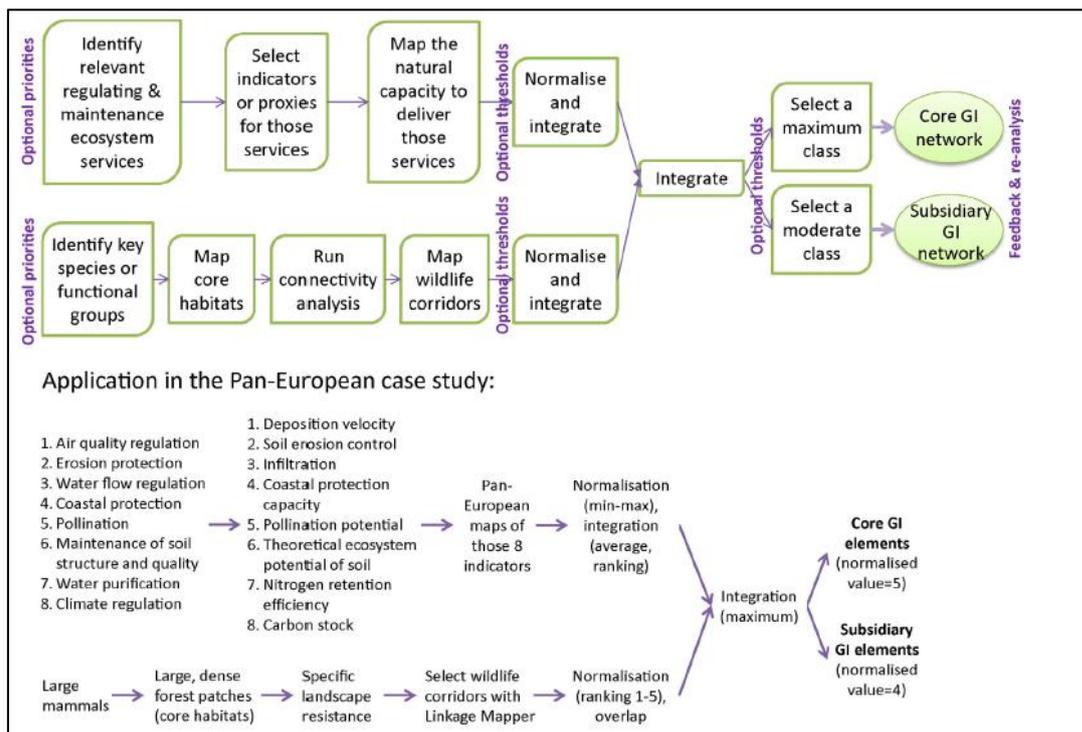


Figura 11: Metodología planteada en Europa para la determinación de IV
Fuente: Liqueete et al. (2015).

En la determinación de los servicios ecosistémicos se utilizó la metodología propuesta por Barral (2016), la cual está sustentada en conceptos hidrológicos, geográficos y biológicos. La estimación de los servicios ecosistémicos se detalla en las secciones 02.7 Servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones y 2.11 Servicio ecosistémico de control de la erosión.

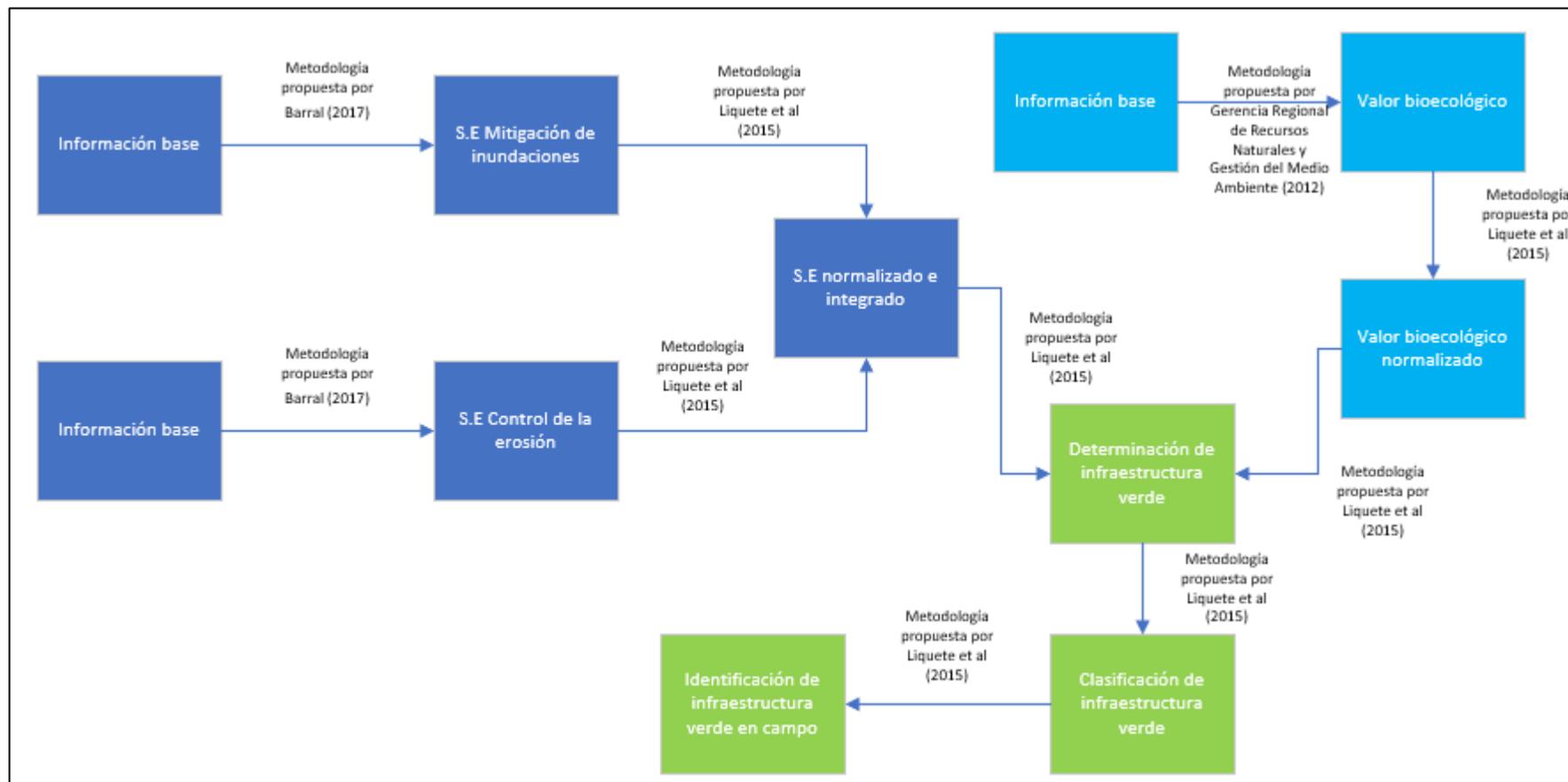


Figura 12: Metodología general de la investigación

3.3.2 Delimitación del área de estudio

En la investigación se utilizó como referencia la delimitación hidrográfica propuesta por la GRRNGMA (2012) publicada en la Zonificación Económica Ecológica de Piura. Para obtener una mayor precisión en la delimitación se utilizó el DEM3, el software QGIS 3.34.2 y el punto de drenaje obtenido en la Z.E.E.4 de Piura.

Cabe mencionar que el DEM utilizado fue descargado del sitio web ASF Data Search: Vertex, el cual es una página web diseñada por la NASA (ver Figura 14) para proveer de imágenes satelitales de forma gratuita para la comunidad científica internacional. El satélite que provee estas imágenes tiene el nombre de AlosPalsar y su resolución es de 30.8 m x 30.8 m. Con el fin de automatizar la delimitación de la subcuenca se utilizó la herramienta QSWAT.

La Figura 13 mostrada a continuación muestra el proceso utilizado por la aplicación QSWAT del software QGIS 3.34.2 utilizadas en el proceso.

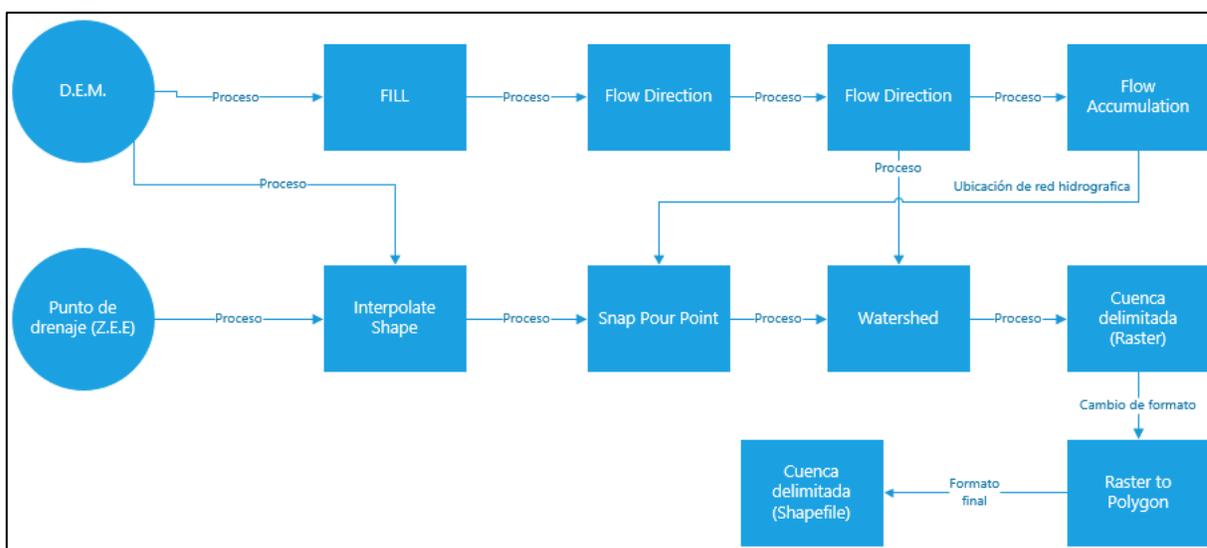


Figura 13: Delimitación del área de estudio

3 Es una abreviación en inglés que tiene por significado modelo de elevación digital

4 Zonificación Económica Ecológica

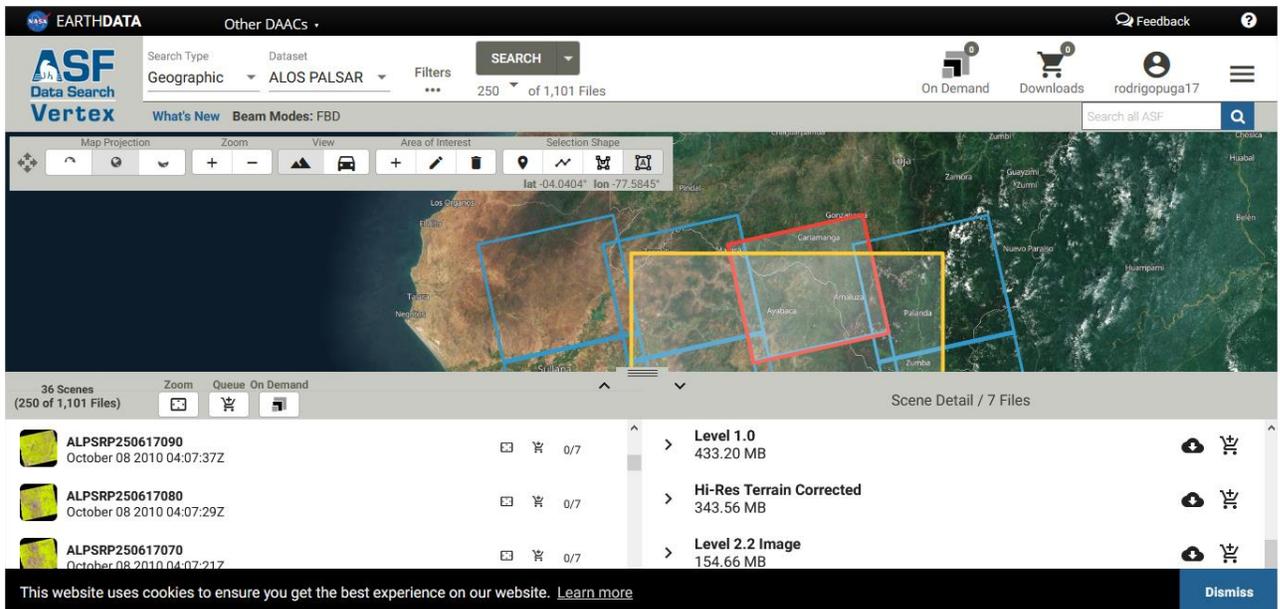


Figura 14: Decarga de DEM
 Fuente: ASF Data Search (2022).

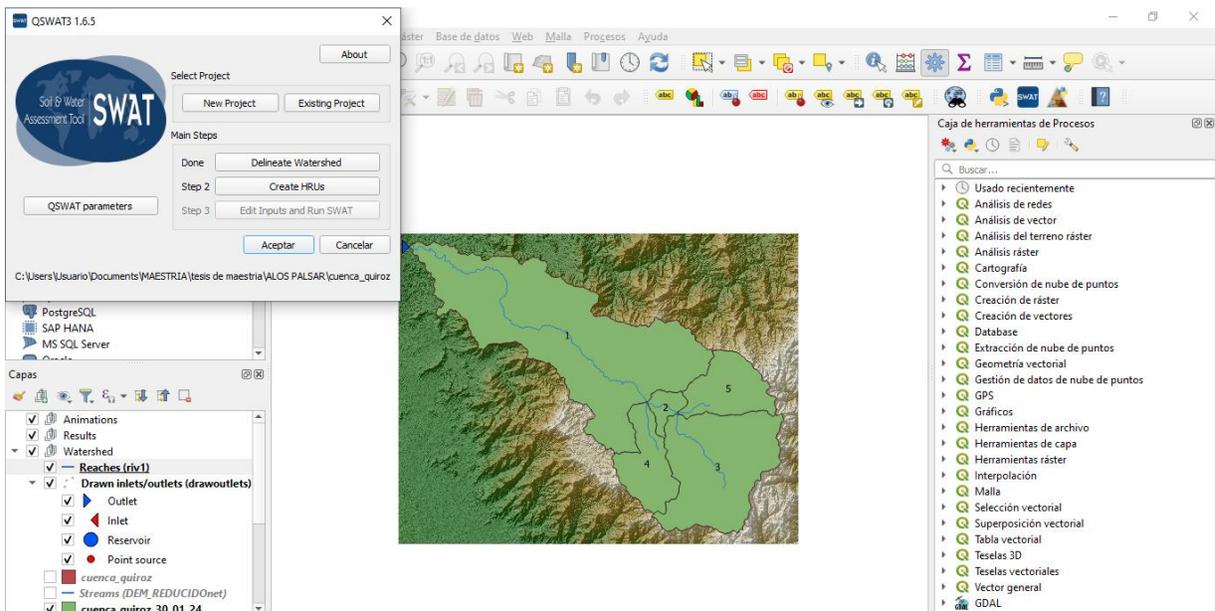


Figura 15: Aplicación del QSWAT en el QGIS

3.3.3 Determinación del S.E. de mitigación de inundaciones

La estimación del provisionamiento del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones se realizó en base a la metodología propuesta por Fu et al. (2013) a través de la herramienta elaborada por Barral (2016) en el protocolo ECOSER para la interfaz del software QGIS.

Fu et al. (2013) basaron su procedimiento en el método Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN). Es por ello, que en la sistematización realizada por Barral (2016) en el protocolo ECOSER se requieren como información de insumo la precipitación, días de tormenta en un año y el valor curva número (CN). En el paquete de QGIS para este servicio ecosistémico es denominado por ECOSER como Retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal. La Figura 16 muestra la visualización de la herramienta.

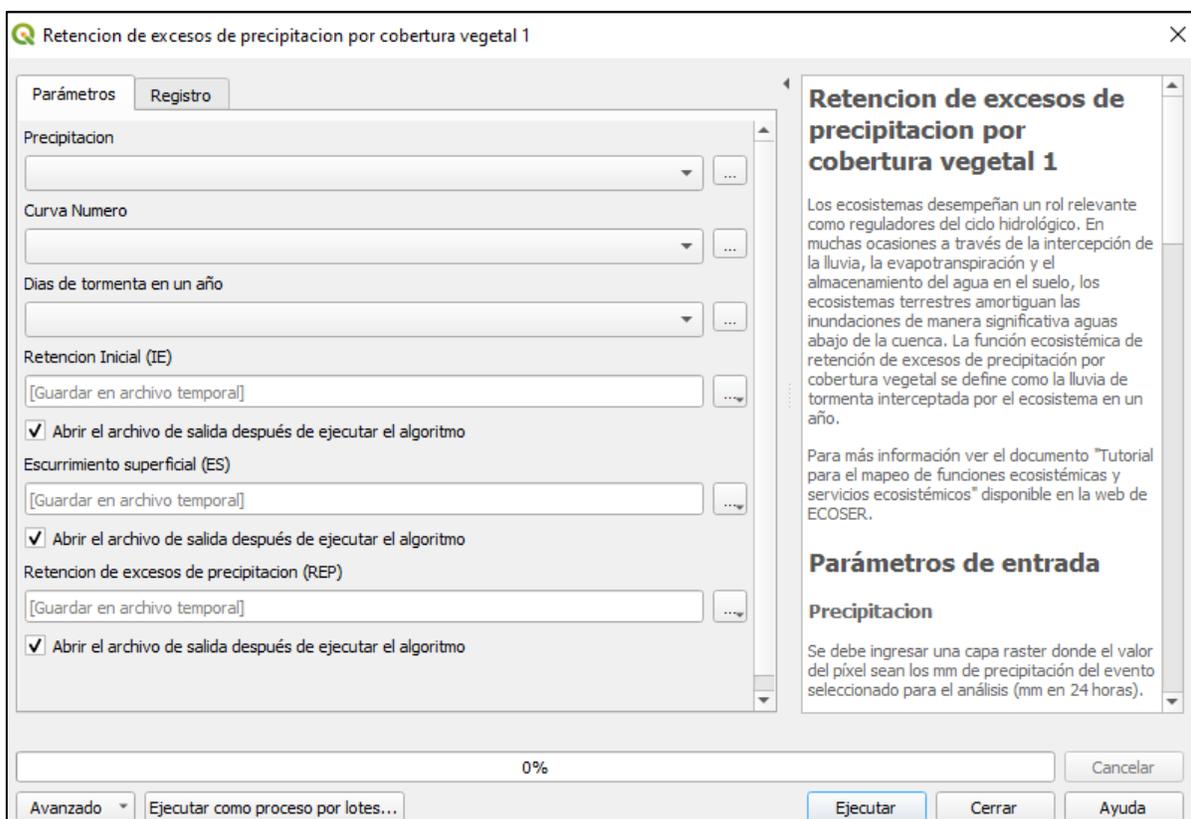


Figura 16: Retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal con herramienta de QGIS

El cálculo del valor curva número fue estimado a partir de la metodología propuesta por Ferrer et al. (1995) a través de SIG. Este procedimiento esta propuesto en función de los valores propuestos por Témez (1978), que posee las siguientes variables: pendientes, características hidrológicas, tipo y usos del suelo.

Las pendientes fueron obtenidas a través del DEM utilizado previamente en la delimitación del área de estudio. Esto fue posible con la ayuda de la herramienta SLOPE del QGIS, configurado para obtener pendientes en porcentaje. Como último paso se reclasifico el área de estudio, siendo el límite 3 por ciento.

Las características hidrológicas han sido referidas en función a la forma de cultivar la tierra, las cuales se dividen en dos grupos: el cultivo sigue las curvas de nivel (N) y el cultivo sigue la línea de máxima pendiente (R). Para fines del estudio, de acuerdo a la información recopilada por la ZEE de Piura se asumió que los cultivos son sembrados siguiendo las curvas de nivel.

El tipo de suelo fue definido en base a la clasificación establecida a través de imágenes satelitales de la página SoilGrids (Figura 18), según lo recomendado por Sabino et al. (2017), la cual muestra imágenes satelitales en formato TIF del contenido de arena, limo y arcilla del suelo. Con dichas capas se procedió a utilizar el paquete de QGIS denominado SoilTexture, lo cual permitió clasificar el suelo en clases texturales.

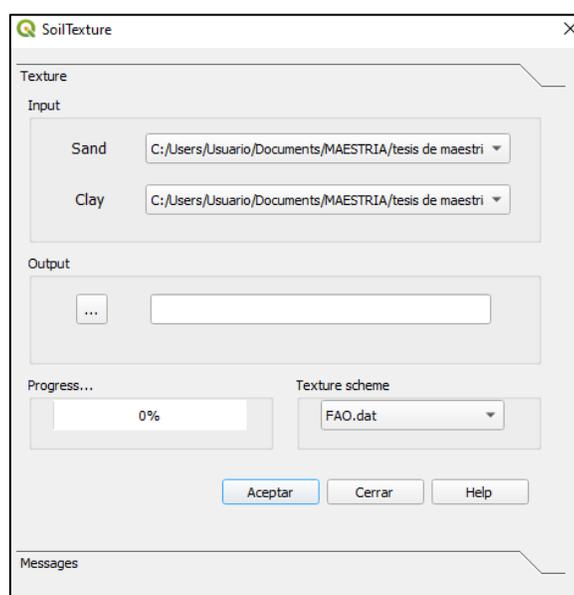


Figura 17: Paquete SoilTexture

Para fines del estudio se consideró lo siguiente (ver Tabla 5):

- Suelo A: Arenoso, areno-arcilloso y areno-limosas.
- Suelo B: Franco-arenosa, franco y franco-limosa.
- Suelo C: Franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa, franco-limoso-arcilloso o arcillo - arenosa.
- Suelo D: Arcilloso, arcilloso-limoso

Tabla 5: Clasificación del tipo de suelo

Clasificación SCS	Textura del suelo
A	Arenosas y areno-limosas
B	Franco-arenosa, franca, franco-arcillosa o franco-limosa
C	Franco-arcillosa, franco-arcillo-limosa o arcillo-arenosa.
D	Arcilla o litosuelo

Fuente: Ferrér et al. (1995).

El Uso de suelo fue obtenido a través de la información disponible en la Z.E.E. de Piura, la cual fue reclasificada según las equivalencias de forma similar a Ferrer et al. (1995), a fin de obtener el área de estudio reclasificada con los valores propuestos por Témez (1978).

Posterior a ello, se asignaron los valores propuestos por Ferrer et al. (1995) mostrados en la Tabla 7. La capa resultante fue utilizada para la elaboración del mapa de curva, además la capa fue convertida al formato raster para ser usada como insumo en la estimación.

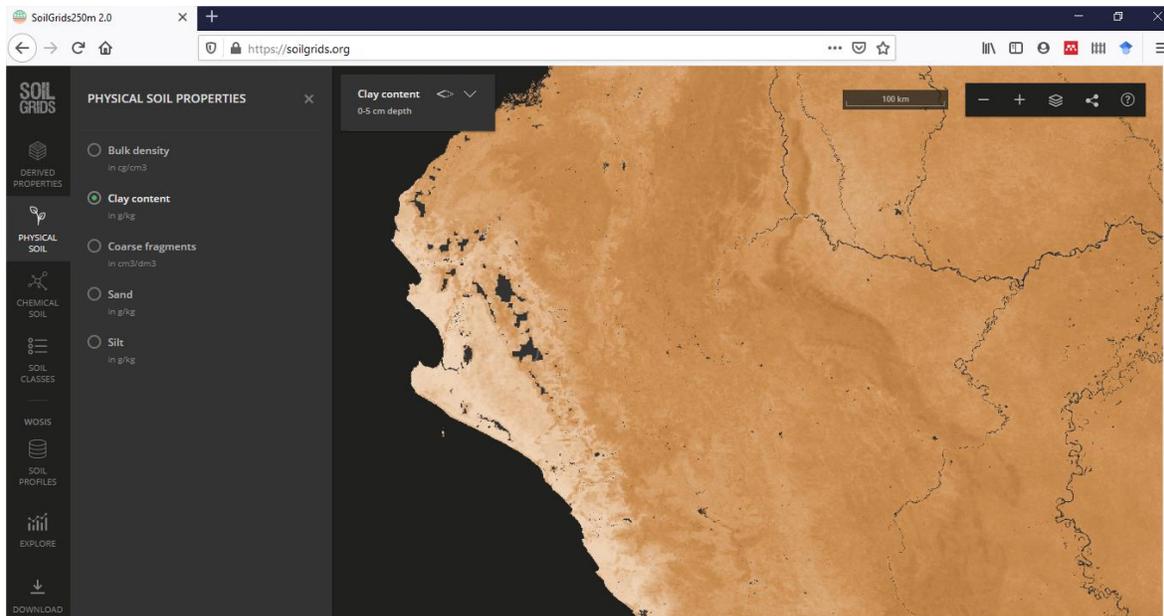


Figura 18: Descarga de imagen satelital en SoilGrids

La estimación de estos parámetros se realizó a través del paquete de QGIS para Retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal desarrollada por ECOSER (Figura 20).

Para la determinación del parámetro de precipitación se utilizó la metodología propuesta por Fu et al. (2013), quienes proponen estimar este parámetro a través de un procedimiento simplificado, adaptado a la información disponible. Esto se realizó a través de una serie histórica de precipitación diaria obtenida a través de la base de datos PISCO, en la cual se utilizaron 30 puntos referidos a estaciones meteorológicas (cuenca Chira) del SENAMHI (ver Tabla 6), a las cuales se les realizó un preprocesamiento de información pluviométrica con el fin de evaluar la calidad de los datos, esto fue efectuado a través del software Hydraccess utilizando el método del Vector Regional, de esta forma se descartó las estaciones pluviométricas con baja calidad de datos. Para fines de interpolación geográfica se utilizaron dos estaciones adicionales inmersas en las cuencas Piura (Chalaco) y Chamaya (Salala). La data histórica abarca la precipitación diaria desde 1981 hasta 2016; esta fue descargada a través del algoritmo⁵ diseñado en lenguaje de programación R, utilizando las coordenadas de los 28 puntos mencionados anteriormente. La

5 Los autores de dicho algoritmo son Adrián Huerta y Waldo Lavado, participantes de la publicación de Aybar y otros (2017)

información obtenida de precipitación diaria fue descargada en formato texto y convertida a formato excel.

Tabla 6: Localización de las estaciones meteorológicas empleadas

N°	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	U.H
1	Paraje Grande	-4.616667	-79.9	555	Cuenca Chira
2	Ardilla (Solana Baja)	-4.516667	-80.433333	150	Cuenca Chira
3	Puente Sullana	-4.875992	-80.687	32	Cuenca Chira
4	Alamor	-4.488689	-80.387	150	Cuenca Chira
5	Toma De Zamba	-4.666667	-79.9	585	Cuenca Chira
6	Ayabaca	-4.633333	-79.716667	2700	Cuenca Chira
7	Lagartera	-4.733333	-79.966667	307	Cuenca Chira
8	Chilaco	-4.700278	-80.500278	100	Cuenca Chira
9	Mallares	-4.857111	-80.714694	47	Cuenca Chira
10	El Ciruelo	-4.3	-80.15	202	Cuenca Chira
11	La Tina	-4.4	-79.95	427	Cuenca Chira
12	Pico De Loro	-4.533333	-79.866667	1325	Cuenca Chira
13	Suyo	-4.533333	-80	250	Cuenca Chira
14	Puente Internacional	-4.39985	-79.968353	408	Cuenca Chira
15	Ania Cabuyal	-4.85	-79.483333	2450	Cuenca Chira
16	Aul (C. Membrillo)	-4.55	-79.7	640	Cuenca Chira
17	Espindola	-4.633333	-79.5	2300	Cuenca Chira
18	Huara De Veras	-4.583611	-79.566944	1243	Cuenca Chira
19	Arrendamientos	-4.833333	-79.9	3010	Cuenca Chira
20	Olleros	-4.7	-79.65	1360	Cuenca Chira
21	Sausal De Culucan	-4.747778	-79.761667	980	Cuenca Chira
22	Tacalpo	-4.65	-79.6	2012	Cuenca Chira
23	Tapal	-4.766667	-79.55	1890	Cuenca Chira
24	Tipulco	-4.7	-79.566667	2600	Cuenca Chira
25	Vado Grande	-4.473856	-79.611	900	Cuenca Chira
26	Laguna Seca	-4.883333	-79.483333	2450	Cuenca Chira
27	Aranza	-4.85	-79.983333	1300	Cuenca Chira
28	Jilili	-4.583611	-79.800278	1236	Cuenca Chira
29	Sicchez	-4.566667	-79.766667	1435	Cuenca Chira
30	Paimas	-4.616667	-79.95	545	Cuenca Chira

Tabla 7: Valores de número de curva (NC) para el modelo

USO DE LA TIERRA	PENDIENTE	A	B	C	D
Barbecho R	>= 3	77	68	89	93
Barbecho N	>= 3	74	82	86	89
Barbecho R/N	< 3	71	82	86	89
Cultivos en hilera R	>= 3	69	79	86	89
Cultivos en hilera N	>= 3	61	73	81	83
Cultivos en hilera R/N	< 3	64	73	78	82
Cereales de invierno R	>= 3	63	75	83	86
Cereales de invierno N	>= 3	61	73	81	83
Cereales de invierno R/N	< 3	59	70	78	81
Rotación de cultivos pobres R	>= 3	66	77	85	89
Rotación de cultivos pobres N	>= 3	64	75	82	86
Rotación de cultivos pobres R/N	< 3	63	73	79	83
Rotación de cultivos densos R	>= 3	58	71	81	85
Rotación de cultivos densos N	>= 3	54	69	78	82
Rotación de cultivos densos R/N	< 3	52	67	76	79
Pradera pobre	>= 3	68	78	86	89
Pradera media	>= 3	49	69	78	85
Pradera buena	>= 3	42	60	74	79
Pradera muy buena	>= 3	39	55	69	77
Pradera pobre	< 3	46	67	81	88
Pradera media	< 3	39	59	75	83
Pradera buena	< 3	29	48	69	78
Pradera muy buena	< 3	17	33	67	76
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	>= 3	45	66	77	83
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	>= 3	39	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	>= 3	33	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal pobre	< 3	40	60	73	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal media	< 3	35	54	69	77
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal buena	< 3	25	50	67	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy clara		56	75	86	91
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) clara		46	68	78	83
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) media		40	60	69	76
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa		36	52	62	69
Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) muy espesa		29	44	54	60
Rocas permeables	>= 3	94	94	94	94
Rocas permeables	< 3	91	91	91	91
Rocas impermeables	>= 3	96	96	96	96
Rocas impermeables	< 3	93	93	93	93

Fuente: Ferrer et al (1995).

Según el procedimiento recomendado por Fu et al. (2013), se seleccionó el periodo de inundaciones para el análisis (febrero y marzo). También, se determinó analizar los eventos de precipitación mayores a 25 mm, en 24 horas. Este valor se asumió en base a la clasificación realizada por China Meteorological Administration (2003), Las tormentas, en función a la precipitación diaria, consideradas como pesadas se clasifican para eventos de 25 a 50 mm, para la investigación se asume que pueden generar inundaciones. Autores como Wang et al., (2018), utilizan esta clasificación en sus investigaciones.

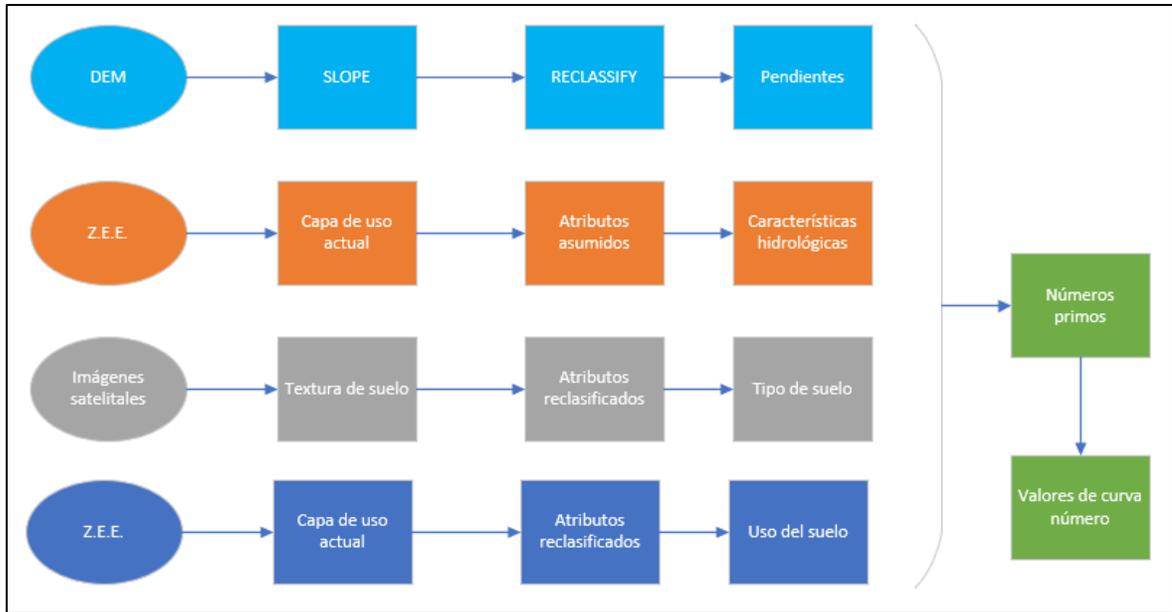


Figura 19: Metodología para la obtención de valores

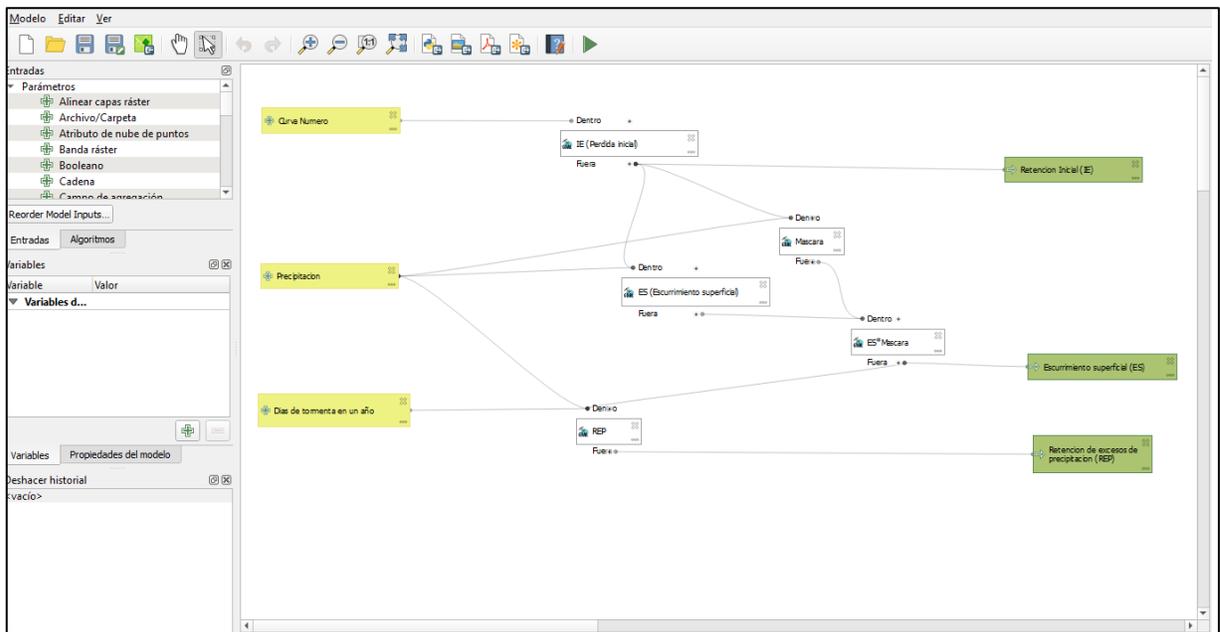


Figura 20: Cálculo de escurrimiento superficial y retención de excesos de precipitación con herramienta de QGIS

Una vez asumido esta cuantía se estimó el promedio anual de precipitación diaria por tormenta en cada uno de los 28 puntos mencionados anteriormente, seleccionándose los valores de lluvia mayores a 25 mm. De forma similar, se estimaron los días de tormenta en promedio por año

para cada punto, seleccionándose aquellas tormentas que sobrepasan los 25 mm de precipitación diaria. Al obtener estas estimaciones mediante una hoja de cálculo, se utilizó para el promedio final, tanto de días de tormentas como de precipitación, los años que obtuvieran en todas las estaciones al menos un día de tormenta. Finalmente se trasladó la información como base de datos georreferenciada a través del software QGIS.

Se obtuvo un shapefile de puntos con la información requerida, la cual mediante el método de interpolación de IDW⁶ se generaron las capas rasters de precipitación y número de tormenta, insumo necesario para el modelo aplicado en esta investigación. Se seleccionó esta técnica de IDW por presentar menor error en la variable de precipitación según lo analizado por Chávez y Moreano (2013) en Ecuador. Mediante el proceso descrito se generaron los mapas de días de tormenta y precipitación.

Finalmente, se ingresaron las capas generadas a la herramienta de QGIS diseñada por ECOSER (ver Figura 21). De esta forma se obtuvieron las capas de escurrimiento superficial y retención de excesos de precipitación, a partir de las cuales se realizaron los mapas respectivos.

Los valores de los píxeles en el raster de REP indican la retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal, en unidad de mm, en promedio por año. Cabe resaltar en el procesamiento de los rasters, se realizó una compatibilidad entre tamaño de píxeles (igual cantidad de filas y columnas en el análisis).

⁶ IDW: Inverse Distance Weighting.

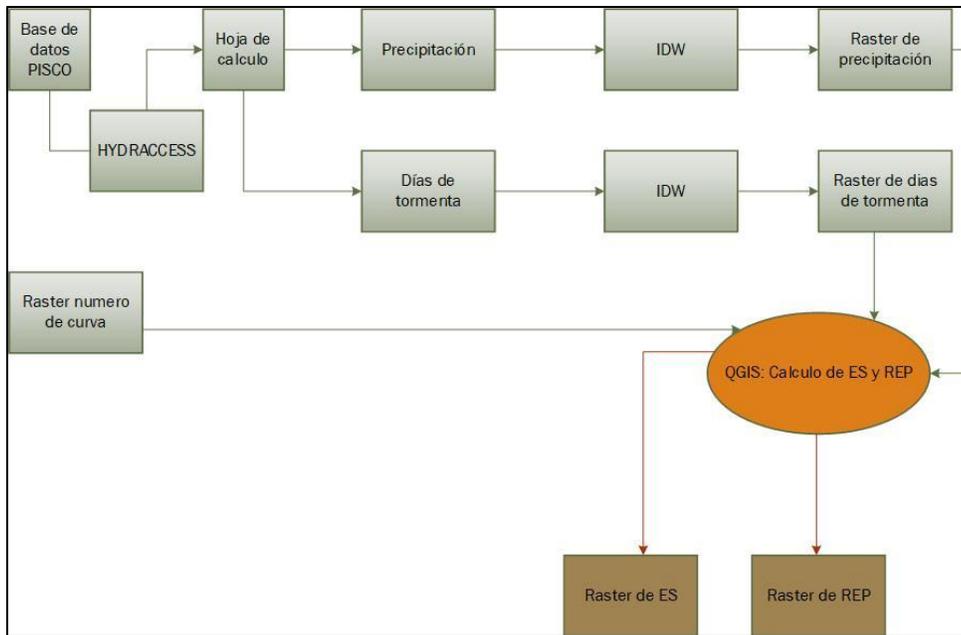


Figura 21: Diagrama del procedimiento descrito para el cálculo de R.E.P.

3.3.4 Determinación del S.E. de control de la erosión

La estimación del provisionamiento del servicio ecosistémico de control de la erosión se realizó en base a la metodología propuesta en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada Renard et al. (1991). El procedimiento efectuado fue realizado con la herramienta, elaborada en el software QGIS (Figura 22) desarrollada por ECOSER (Barral, 2016), que se adicionó a la caja de herramientas. Dicho paquete requiere como insumo los factores, en formato Raster, de la ecuación RUSLE (R, LS, K, C y P). La estimación de dichas variables, se efectuó en base a la metodología propuesta por Sabino et al. (2017).

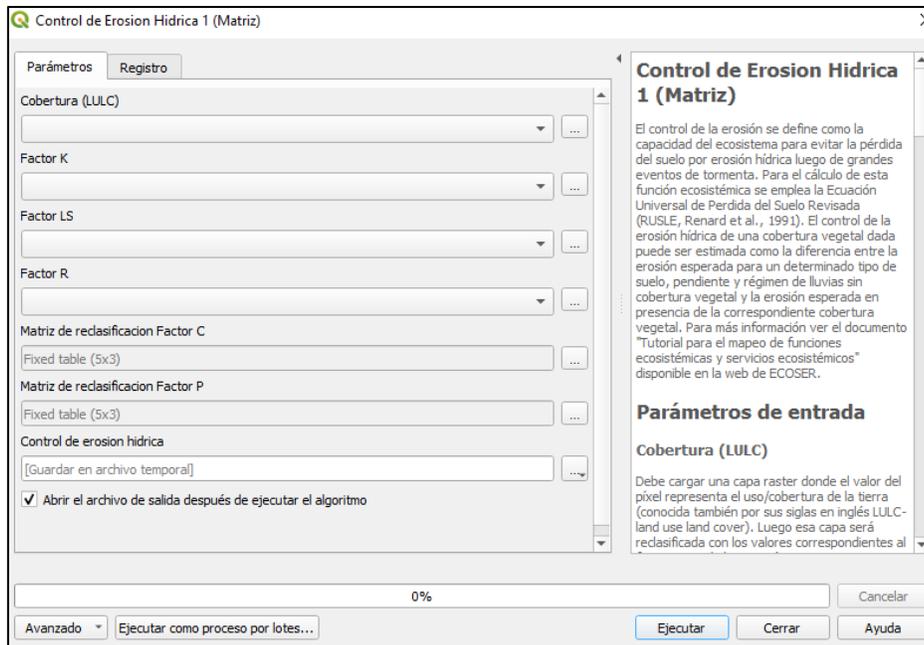


Figura 22: Herramienta del QGIS para la estimación del control de la erosión

Para la estimación del factor R se utilizó el producto de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima de 30 minutos de duración, esta operación permitió obtener la erosividad de tormentas individuales, a partir de ello se realizó la suma promedio anual para la estimación del factor R (Wischmeier y Smith, 1978). No obstante, en el territorio nacional no se cuenta con la información necesaria para su aplicación (Sabino et al., 2017). Es por ello que se empleó la fórmula 8 de la sección 2.12 Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada RUSLE para la aplicación en esta investigación.

Luego de obtener valores puntuales del factor R, en las estaciones mencionadas en el ítem de Determinación del S.E. de mitigación de inundaciones se realizó una interpolación, con el método IDW, en la cual se obtuvo un raster de iso-R, insumo necesario para la realización de la metodología ECOSER. El tratamiento de la información pluviométrica está inmerso en la base de datos PISCO para pluviometría mensual, la cual posee un control de la calidad de la información y completa los datos faltantes en el registro pluviométrico; evitando sesgo de análisis (Aybar et al., 2017). El periodo de análisis pluviométrico por cada estación fue entre el 01/01/1986 al 31/12/2016. Es importante señalar que para la aplicación de la metodología propuesta por ECOSER, es necesario cambiar las unidades de ha al tamaño del pixel (30.80

m x 30.80 m), es por ello que se aplicó un factor de corrección, con ello se obtuvo una capa raster donde el valor del píxel fue el índice de erosividad (conversión de unidad de ha a píxel).

El cálculo del factor LS fue realizado en base a imágenes satelitales descargadas de la plataforma virtual ASF Data Search Vertex, dicha página web está bajo la dirección de la NASA. La gran versatilidad y gran calidad de imágenes satelitales hace que esta herramienta virtual sea un gran apoyo a la investigación en diversos campos de la ciencia. Es por ello que se trabajó con dichas imágenes para obtener una mayor precisión en el estudio. Para fines del estudio se utilizó la información proveniente del satélite ALOS PALSAR en modo FBS elaboradas en enero del 2009. La resolución que poseen los píxeles es de 30m x 30m.

Las imágenes satelitales fueron procesadas como modelos de elevación digital (DEM), esto se realizó con el fin de proporcionar la información necesaria en la herramienta sistematizada (ver Figura 23) por ECOSER, la cual calcula de forma precisa el factor LS a través la acumulación de flujo, pendiente y valoración de la variable “m”.

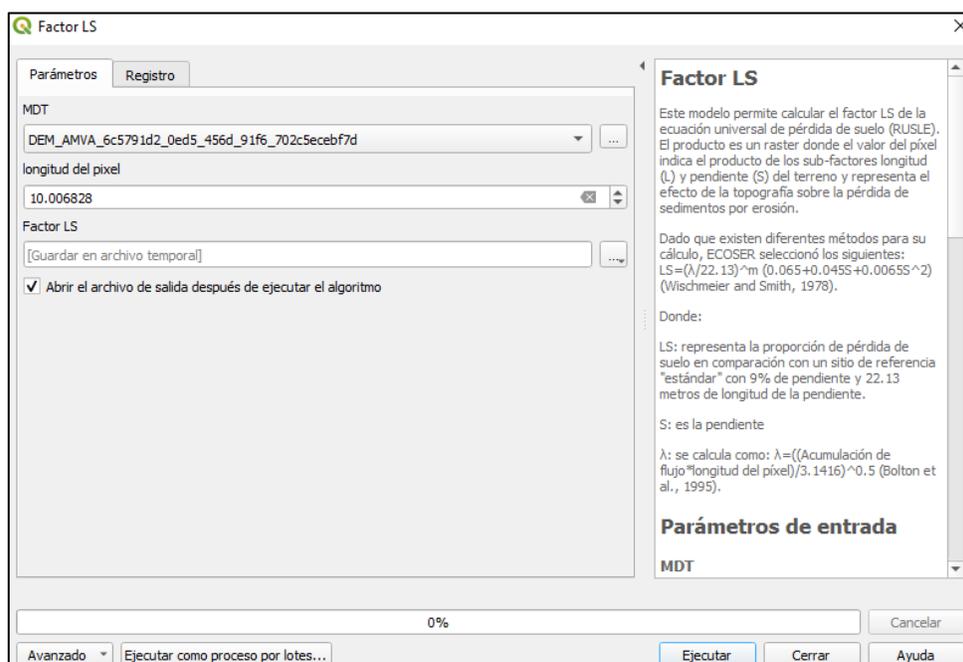


Figura 23: Herramienta Factor LS de QGIS

Para la estimación de los valores del factor K, autores como Colín-García et al. (2013), Röder et al. (2006), Sabino et al. (2017) propusieron una metodología con éxito ante la falta de información necesaria. Dicho procedimiento permite estimar los valores del factor K en función de la textura y las unidades de suelo clasificadas por la FAO (2009), mostrados en la Tabla 8.

La determinación de las unidades de suelo fue detallada anteriormente, las cuales son las mismas unidades empleadas para el servicio ecosistémico de regulación hídrica. Por otro lado, la estimación de la textura del suelo en el área de estudio fue realizada en base a imágenes satelitales; las cuales fueron descargadas, de forma libre, en la plataforma web SoilGrids administrada por International Soil Reference and Information Centre (ISRIC). A través de la página web mencionada, se descargaron las imágenes satelitales de contenido en porcentaje de limo, arena y arcilla. Estas tres imágenes satelitales tuvieron como referencia una profundidad entre 5 a 15 cm y una resolución espacial de 250 m, con lo cual se utilizó el paquete SoilTexture de forma similar a lo realizado en la estimación del valor de número de curva en la sección Determinación del S.E. de mitigación de inundaciones. La plataforma web mencionada permite a su vez, la descarga en formato raster, la clasificación suelos en base a grupos. Esto facilito la aplicación de los valores del factor K en el procedimiento.

Tabla 8: Valores del factor K

Tipo de Suelo	Textura		
	Gruesa	Media	Fina
Acrisoles	0.026	0.04	0.013
Alisoles	0.026	0.04	0.013
Andosoles	0.026	0.04	0.013
Arenosoles	0.013	0.02	0.007
Calcisoles	0.053	0.079	0.026
Cambisoles	0.026	0.04	0.013
Chernozem	0.013	0.02	0.007
Durisoles	0.053	0.079	0.026
Ferralsoles	0.013	0.02	0.007
Fluvisoles	0.026	0.04	0.013
Gleysoles	0.026	0.04	0.013
Gipsisoles	0.053	0.02	0.007
Histosoles	0.053	0.02	0.007
Kastanozems	0.026	0.04	0.013
Leptosoles	0.013	0.02	0.007
Lixisoles	0.013	0.02	0.007
Luvisoles	0.026	0.04	0.013
Nitisoles	0.013	0.02	0.007
Phaeozems	0.013	0.02	0.007
Planosoles	0.053	0.079	0.026
Plintosoles	0.026	0.04	0.013
Podzoles	0.053	0.079	0.026
Regosoles	0.026	0.04	0.013
Solonchaks	0.053	0.04	0.013
Solonetz	0.053	0.079	0.026
Umbrisoles	0.026	0.04	0.013
Vertisoles	0.053	0.079	0.026

Fuente: (FAO, 1980).

La metodología ECOSER propone que el análisis de los factores CP sean obtenidos de forma simultánea a través de la obtención de dichos valores en un formato raster para su procesamiento y su posterior reclasificación (Barral, 2016).

El factor C se estimó en base a la capa de cobertura vegetal obtenida por la GRRNGMA (2012) en la Z.E.E. de Piura. Dicha capa fue clasificada en base a la Tabla 9 propuesto por Wischmeier y Smith (1978). Posterior a ello, se transformó el shapefile a formato raster, de esta forma cada pixel representa el valor del factor C.

Tabla 9: Índices del factor de cobertura vegetal C

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.001
Pradera sobre pastoreada	0.1
Pradera herbácea	0.01-0.025
Albolado denso	0.01-0.003
Albolado forestal clareado	0.003-0.009
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral ralo y eriales	0.20-0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Cubierta escasa (60 por ciento)	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Wischmeier y Smith (1978)

En la estimación del factor P se utilizó la capa de uso actual del suelo, la cual se interceptó con la capa de pendiente. De esta forma se pudieron clasificar las zonas agrícolas en base a su pendiente como se muestra en la Tabla 10, de esta forma se obtuvieron los valores del factor P en formato shapefile, los cuales se convirtieron en formato raster.

Para utilizar la información obtenida de los factores C y P, se utilizó la herramienta Raster Calculator de QGIS para la multiplicación de los valores en cada pixel, con ello se determinó la capa raster CP necesaria como dato de entrada para el modelo propuesto.

Tabla 10: Valores de factor P

Tipo de uso de la tierra	Pendiente (%)	Factor P
Agricultura	0-5	0.10
	5-10	0.12
	10-20	0.14
	20-30	0.19
	30-50	0.25
	50-100	0.33
Otro tipo de uso	Todos	1.00

Fuente: Wischmeier y Smith (1978).

Finalmente se ingresó la información raster necesaria para la aplicación del modelo propuesto por ECOSER, con ello se estimó la función ecosistémica Control de la Erosión Hídrica en unidades de Tn anuales/píxel. El resumen de la metodología utilizada se puede apreciar en el diagrama de flujo mostrado en la Figura 24.

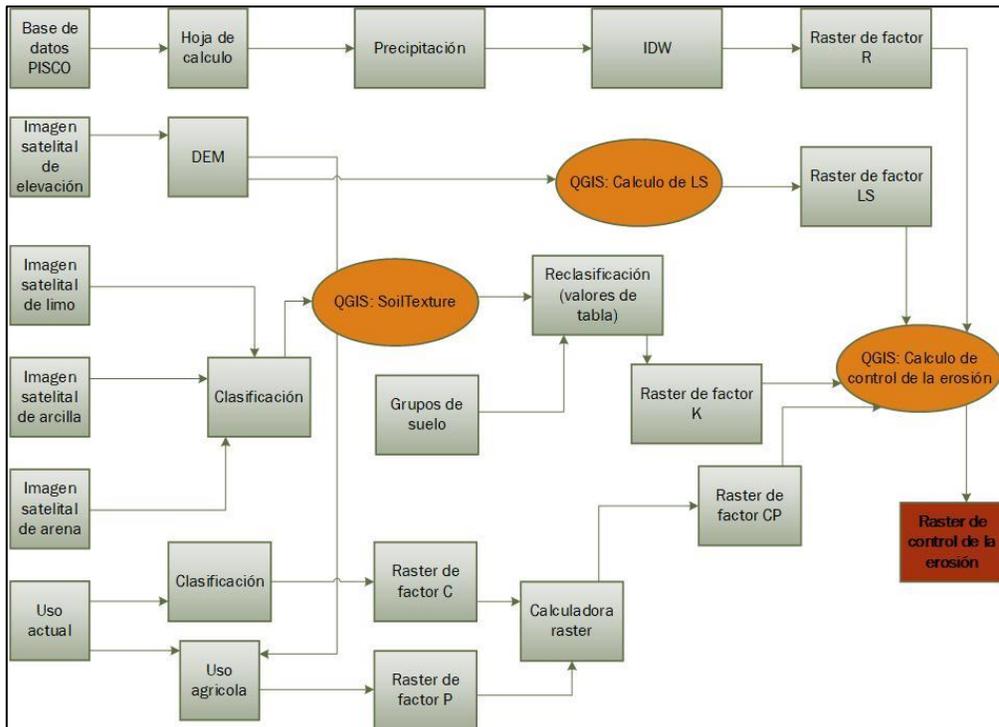


Figura 24: Metodología de Control de la erosión

3.3.5 Determinación de la importancia bioecológica

La determinación de la importancia biológica fue elaborada en base a la información proveniente de la Z.E.E. de Piura (GRRNGMA, 2012), la cual cuenta con un submodelo

geográfico de valor bioecológico. Este submodelo fue elaborado en base a la información de especies, sistemas ecológicos, potencial hídrico, cobertura vegetal, áreas naturales protegidas y redes de conectividad.

Para la presente investigación se utilizó la clasificación de la valoración bioecológica, proveniente del submodelo geográfico de valor bioecológico. El submodelo es clasificado según la importancia: bajo, medio, alto y muy alto. Esta valoración está basada en el análisis de tres aspectos fundamentales: la distribución de la biodiversidad en un espacio geográfico, zonas prioritarias por grupos taxonómicos y endemismo de especies a tanto a nivel regional como local.

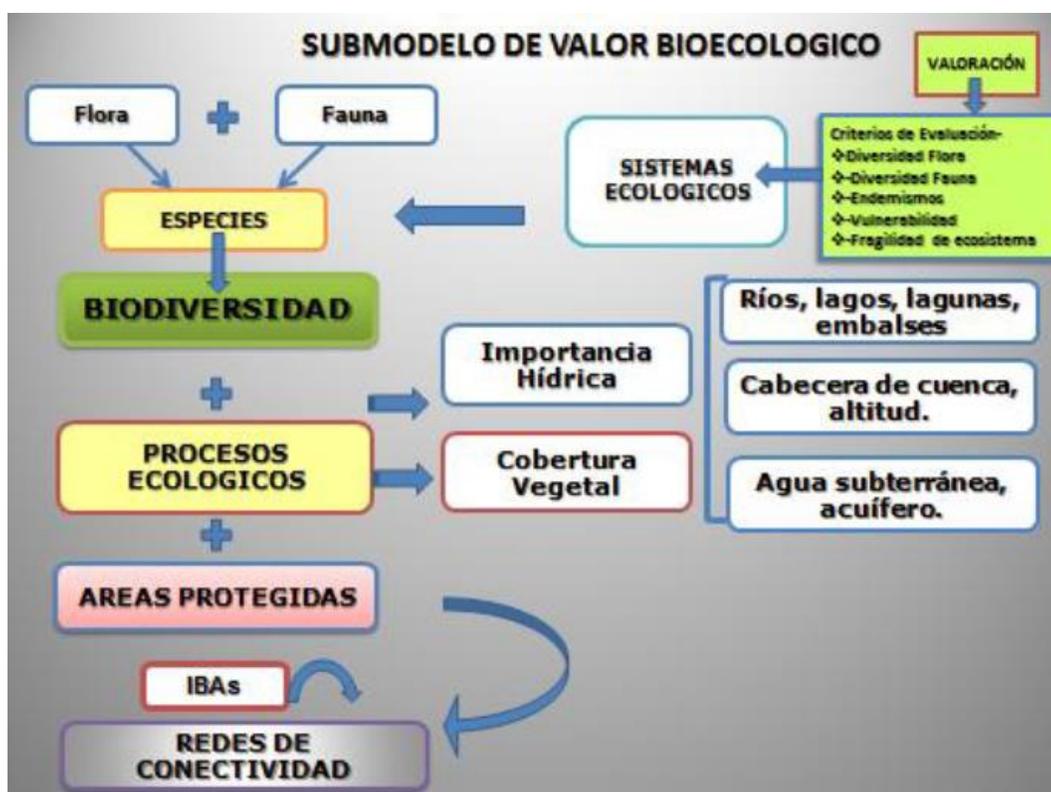


Figura 25. Generación de submodelo de valor bioecológico en la Z.E.E. de Piura
Fuente: GRRNGMA (2012).

3.3.6 Normalización e integración

En esta fase de la investigación se utilizó la metodología propuesta Lique et al. (2015) para la aplicación de la normalización e integración.

Las capas en formato ráster de los servicios ecosistémicos fueron reclasificadas con el método de cuantiles en cinco clases. Posterior a ello, se asignó una valoración numérica en un rango del uno al cinco en función a su magnitud, en donde uno es la clase con valores mínimos y cinco es la clase con valores máximos. De esta forma se normalizó las capas ráster en una escala numérica, con la cual se pueden realizar operaciones de álgebra de mapas. La integración de los servicios ecosistémicos se realizó obteniendo el promedio de la valoración de las capas ráster de ambos servicios ecosistémicos. Es por ello, que la integración de los mapas muestra de forma similar un rango del uno al cinco, localizando de forma proporcional a su magnitud de clase, las zonas del área de estudio que brindan mayor cobertura, en los servicios ecosistémicos analizados en la investigación.

Por otro lado, la normalización de los valores en la capa raster de importancia bioecológica, se llevó a cabo como se muestra en la Tabla 11. Se optó por designar al valor mínimo como dos, esto se debe a que no se tuvo en consideración la clasificación de “muy bajo”, la cual correspondería el valor de uno.

Tabla 11: Normalización del valor bioecológico

Valor bioecológico	Valor de normalización
Bajo	2
Medio	3
Alto	4
Muy alto	5

Finalmente, se realizó el proceso de integración de la información con el fin de obtener la valoración final. Esto se llevó a cabo integrando en primer lugar con los servicios ecosistémicos del estudio; y posterior a ello, la integración con la importancia bioecológica. El método de integración empleado fue la estimación de los valores promedios de las capas raster, a través del álgebra de mapas. Es decir, se realizan las operaciones matemáticas tomando como referencia el valor de los píxeles.

3.3.7 Determinación de la infraestructura verde

La estimación y localización de la infraestructura verde corresponde a la etapa final de la investigación y los principales objetivos de la investigación, es por ello que conservadoramente se ha aplicado la metodología propuesta por Liqueste et al. (2015), en la cual se clasifica a la

infraestructura verde en función a la valoración realizada en la etapa de integración, la Tabla 12 muestra dicha clasificación.

Tabla 12: Clasificación de la infraestructura verde en función de la integración

Clasificación	Valores
Infraestructura verde fundamental	4-5
Infraestructura verde subsidiaria	3-4
No es infraestructura verde	< 3

Fuente: adaptado de Liqueste et al., (2015).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Resultados de la determinación del área de estudio

La determinación del área de estudio se realizó en base a la metodología propuesta en el Item 3.3.1.; a través del cual se obtuvo el Mapa N° 01: Unidades Hidrográficas como se muestra en Figura 26. Como características principales se tiene: un área de 3138.64 km², un perímetro de 359.24 km, una altura máxima de 3891 m.s.n.m., una altura mínima de 124 m.s.n.m. y una altitud promedio de 1764 m.s.n.m.

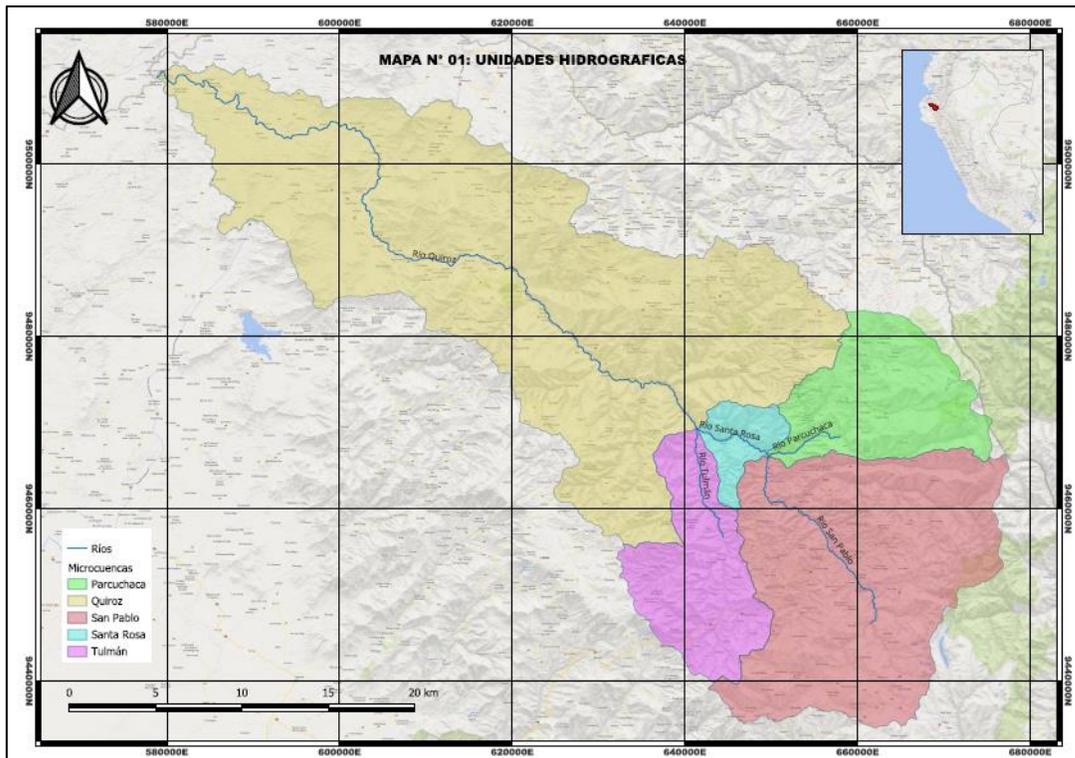


Figura 26: Determinación del área de estudio

Para un mayor detalle ver el ítem ANEXO 4: Mapas generados en la sección VIII. ANEXOS.

Finalmente, las principales características geomorfológicas de la subcuenca del río Quiroz se presentan en la Tabla 13 y Tabla 14.

Tabla 13: Parámetros geomorfológicos de la subcuenca del río Quiroz

Parámetro		Valor	Unidad
Área		3138.0	km ²
Perímetro		481.9	km
Cota Max.		3883	m.s.n.m.
Cota Min.		126	m.s.n.m.
Coordenadas centroide	Xc	636734	m.E.
	Yc	9473462	m.S.
	Zc	1463	m.s.n.m.
Longitud de cauce principal		172	km
Pendiente media de la subcuenca		38	%

Tabla 14: Parámetros de microcuencas

Microcuenca	km	km ²	Xc	Yc	Zc
Parcuchaca	113.7	293.5	660761	9483107	2357
Santa Rosa	57.5	69.5	649673	9465994	1390
Quiroz	381.9	1717.8	583348	9510657	754
Tulmán	124.3	278.7	632886	9455794	1982
San Pablo	190.3	778.4	649686	9465969	1758

4.1.2 Resultados del Servicio Ecosistémico de mitigación de inundaciones

La estimación de la retención inicial se realizó de acuerdo a lo descrito en el ítem 3.3.3., para lo cual se obtuvieron de manera inicial los insumos raster de precipitaciones, días de tormenta y número de curva.

En el preprocesamiento de las estaciones inmersas en la cuenca del Chira se realizó el análisis de consistencia de la información con el software Hydraccess (ver Figura 27), obteniéndose que cuatro (4) estaciones no cuentan con buena calidad de datos, las cuales son: Puente Sullana, Alamor, Chilaco y Mallares.

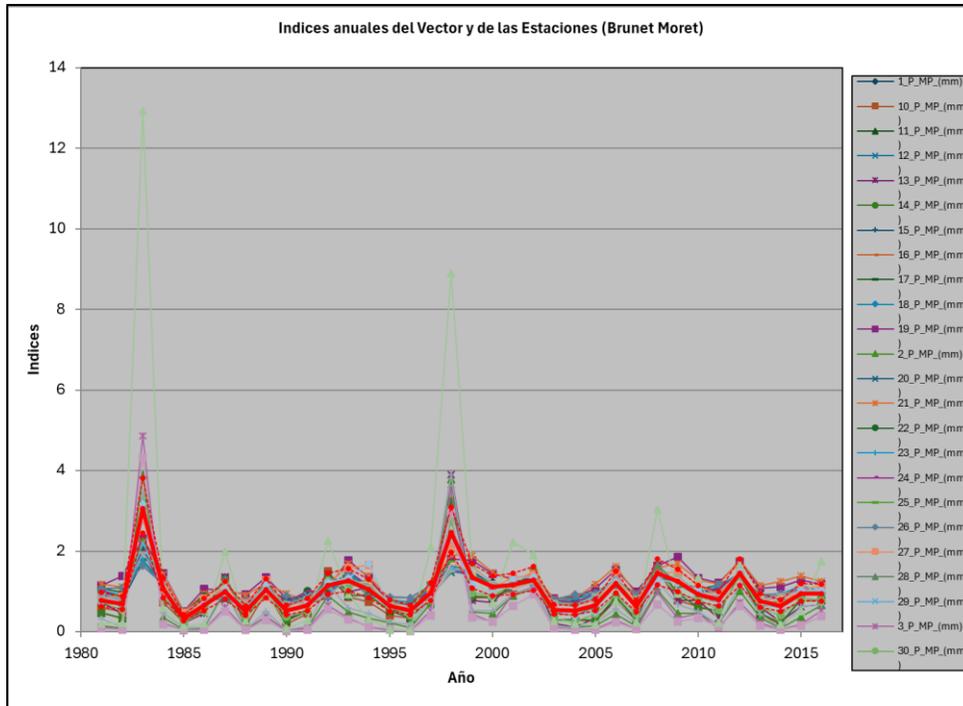


Figura 27: Indices anuales obtenidos en Hydraccess

Es así que se optó por realizar los cálculos en base a los puntos correspondientes a veintiséis (26) estaciones seleccionadas y dos (2) estaciones complementarias. Obteniéndose el Mapa N° 2: Estaciones pluviométricas (ver Figura 28).

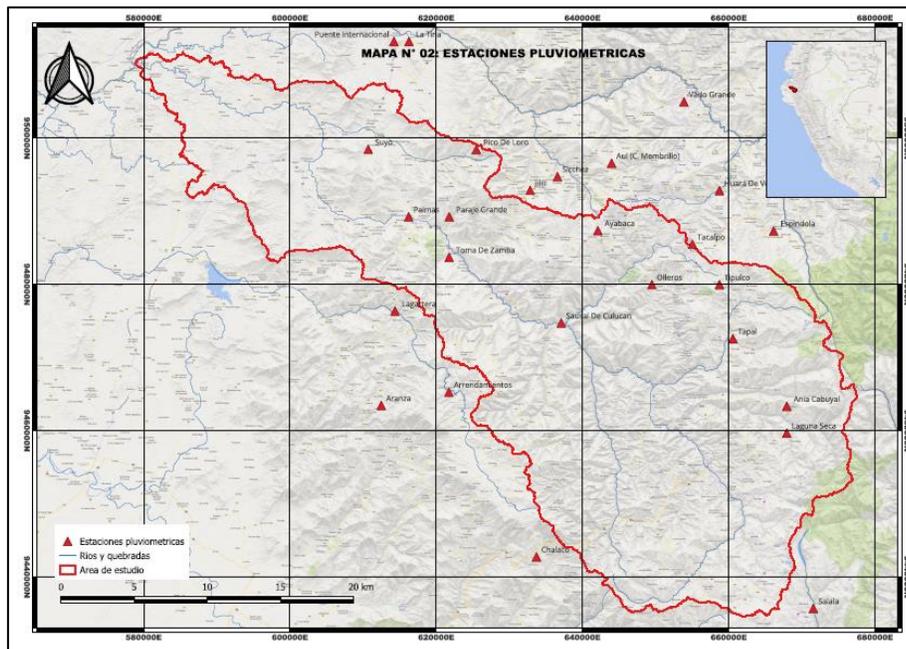


Figura 28: Estaciones seleccionadas

A partir de ello se estimó, como se muestra en la Tabla 15, los valores de precipitación y días de tormenta generándose los mapas correspondientes (ver Figura 29 y Figura 30).

Tabla 15: Valores de precipitación y días de tormenta

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	U.H	Días de tormenta	PP
Paraje Grande	-4.616667	-79.9	555	Cuenca Chira	9.375	37.0125
Ardilla (Solana Baja)	-4.516667	-80.433333	150	Cuenca Chira	8.125	51.475
Toma De Zamba	-4.666667	-79.9	585	Cuenca Chira	9.375	37.0125
Ayabaca	-4.633333	-79.716667	2700	Cuenca Chira	13.25	39.5625
Lagartera	-4.733333	-79.966667	307	Cuenca Chira	4	41.075
El Ciruelo	-4.3	-80.15	202	Cuenca Chira	11.75	52.9
La Tina	-4.4	-79.95	427	Cuenca Chira	11.875	57.1125
Pico De Loro	-4.533333	-79.866667	1325	Cuenca Chira	8.875	44.9625
Suyo	-4.533333	-80	250	Cuenca Chira	7.625	55.65
Puente Internacional	-4.39985	-79.968353	408	Cuenca Chira	11.875	57.1125
Ania Cabuyal	-4.85	-79.483333	2450	Cuenca Chira	5.125	47.175
Aul (C. Membrillo)	-4.55	-79.7	640	Cuenca Chira	8.75	53.8
Espindola	-4.633333	-79.5	2300	Cuenca Chira	4.75	44.3625
Huara De Veras	-4.583611	-79.566944	1243	Cuenca Chira	7	49.5875
Arrendamientos	-4.833333	-79.9	3010	Cuenca Chira	2.125	33.4125
Olleros	-4.7	-79.65	1360	Cuenca Chira	12.375	45.1375
Sausal De Culucan	-4.747778	-79.761667	980	Cuenca Chira	1.125	29.675
Tacalpo	-4.65	-79.6	2012	Cuenca Chira	8	47.575
Tapal	-4.766667	-79.55	1890	Cuenca Chira	6.75	47.425
Tipulco	-4.7	-79.566667	2600	Cuenca Chira	8	47.575
Vado Grande	-4.473856	-79.611	900	Cuenca Chira	6	57.9
Laguna Seca	-4.883333	-79.483333	2450	Cuenca Chira	5.125	47.175
Aranza	-4.85	-79.983333	1300	Cuenca Chira	5.125	43.8875
Jilili	-4.583611	-79.800278	1236	Cuenca Chira	8.875	44.9625
Sicchez	-4.566667	-79.766667	1435	Cuenca Chira	8.375	38.925
Paimas	-4.616667	-79.95	545	Cuenca Chira	7.25	46.125
Chalaco	-5.036944	-79.791667	2276	Cuenca Piura	7.625	41.9
Salala	-5.1	-79.45	2865	Cuenca Chamaya	2.16666667	31.45

Los resultados muestran que el área de estudio posee una variación en promedio días de tormentas entre 1.20 a 13.19, siendo el promedio de 7.13 días. A su vez, se estimó una precipitación promedio de tormentas entre 29.82 mm a 55.62 mm, con un valor promedio 44.03 mm. Para mayor detalle ver el ANEXO 2:

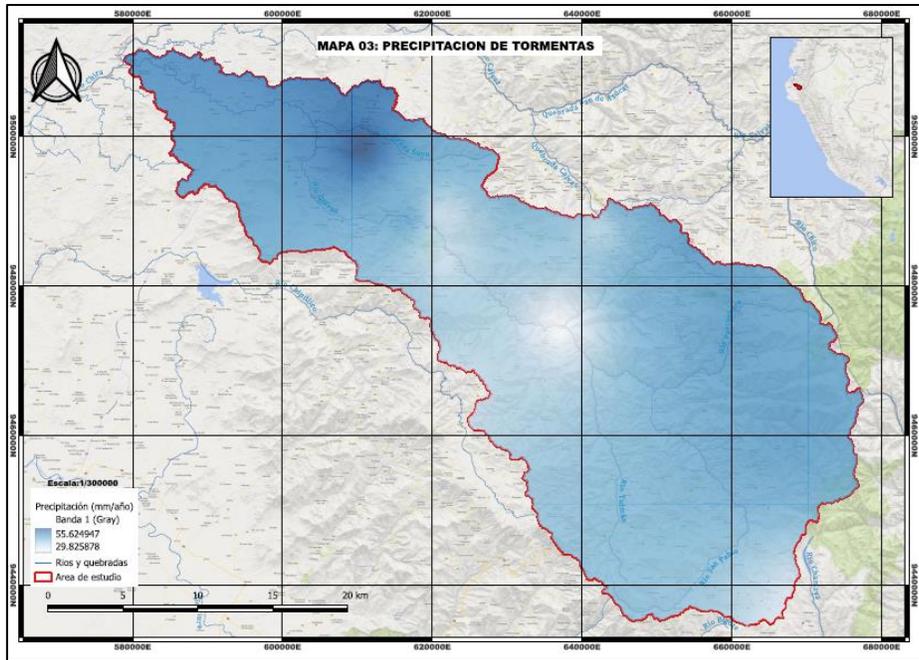


Figura 29: Precipitación de tormentas

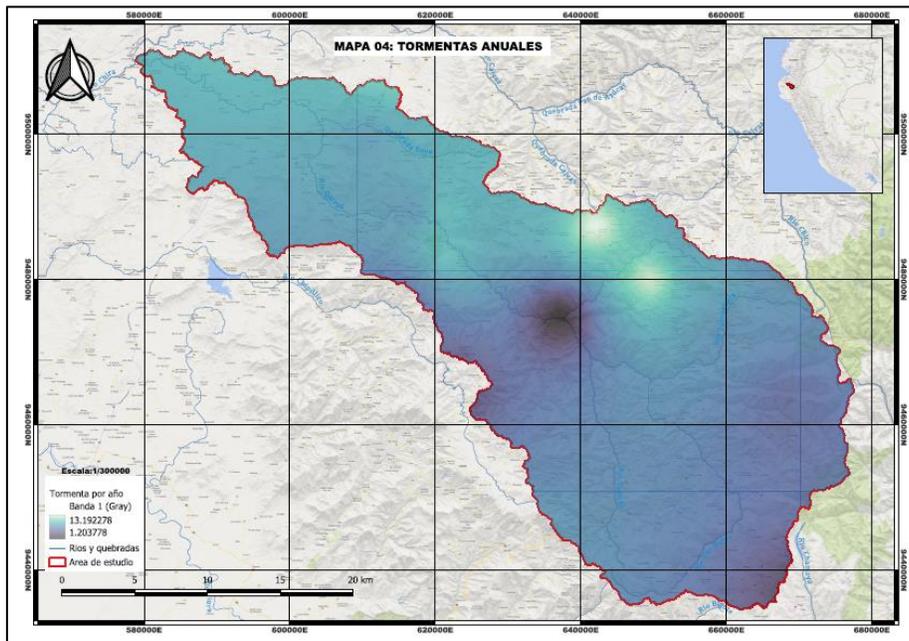


Figura 30: Tormentas anuales

En forma paralela se analizó la información correspondiente a la estimación de los valores de número de curva (pendiente, cobertura vegetal y textura del suelo), de los cuales se generó los mapas mostrados en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33.

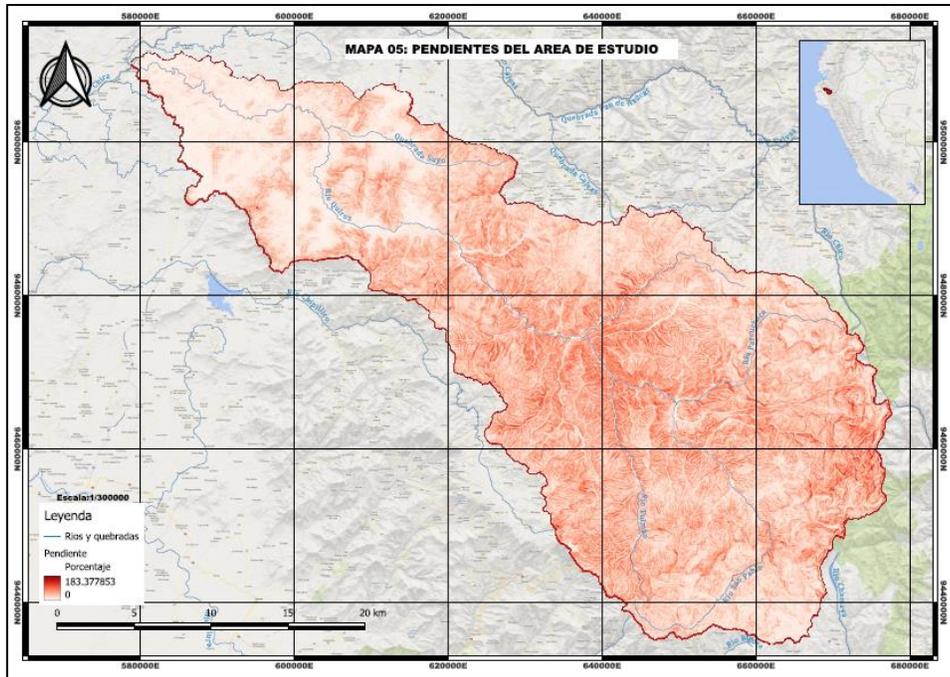


Figura 31: Pendientes en el área de estudio

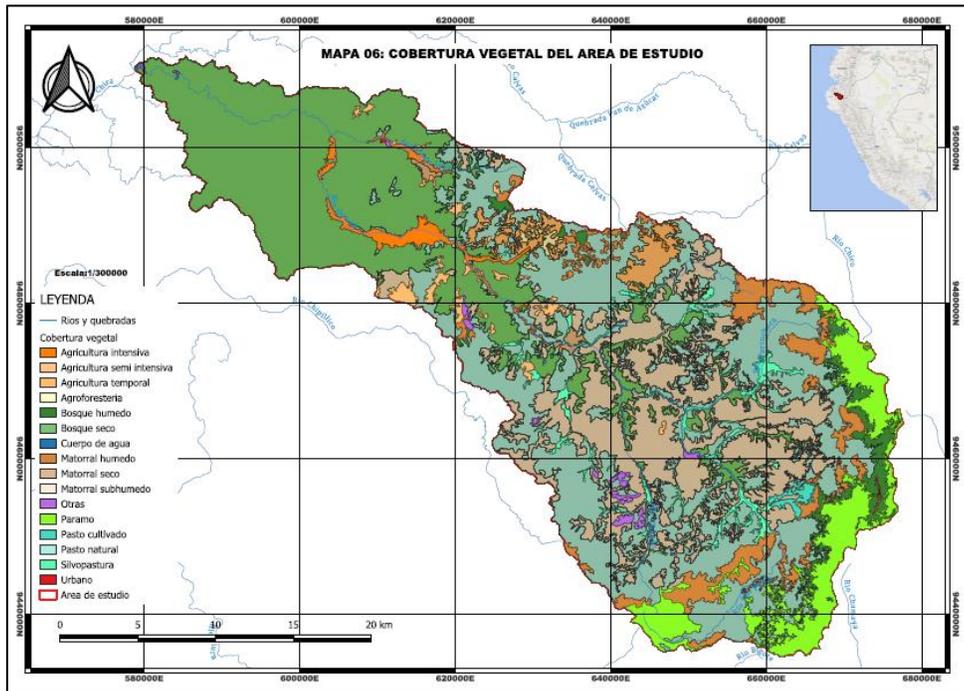


Figura 32: Cobertura vegetal en el área de estudio

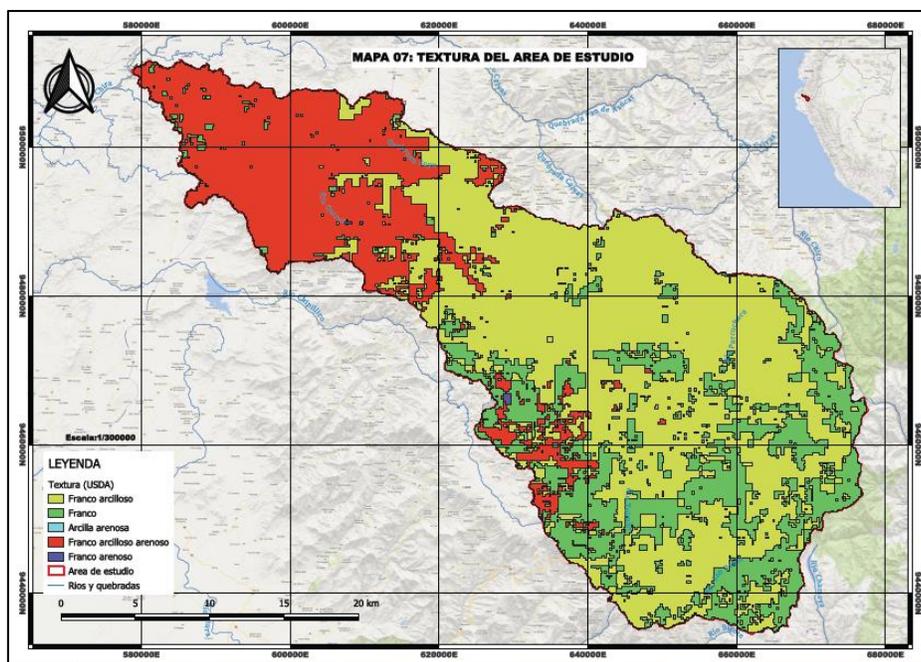


Figura 33: Textura en el área de estudio

Los resultados del análisis de pendientes muestran un rango de variación entre 0 y 183 por ciento, con un valor promedio de 38.62 por ciento. Con respecto a la variable de cobertura vegetal se obtuvo la clasificación mostrada en la Tabla 16, el pasto natural es la cobertura vegetal que mayor extensión posee (31.75%). Finalmente, con el paquete SoilTexture se obtuvo la clasificación detallada en la Tabla 17, estimándose en más de la mitad del área de estudio posee un suelo franco arcilloso (53.30 %).

Tabla 16: Cobertura vegetal en el área de estudio

Clasificación	ha	%
Pasto natural	99623.76	31.75
Bosque seco	87568.77	27.91
Agroforestería	1303.4	0.42
Silvopastura	6895.34	2.20
Agricultura intensiva	4142.16	1.32
Bosque húmedo	6887.57	2.19
Matorral seco	1325.96	0.42
Matorral subhúmedo	57227.61	18.24
Cuerpo de agua	27.84	0.01
Urbano	27.61	0.01
Matorral húmedo	15685.39	5.00
Agricultura temporal	3344.54	1.07
Agricultura semi intensiva	6213.43	1.98
Otras	1423	0.45
Paramo	21128.44	6.73
Pasto cultivado	977.08	0.31

Tabla 17: Textura del suelo en el área de estudio

Textura	km2	%
Franco arenoso	1.98	0.06
Franco	685.28	21.84
Franco arcilloso	1672.48	53.30
Arcilla arenosa	0.37	0.01
Franco arcilloso arenoso	777.71	24.79

Para la estimación del valor de curva número se utilizó herramientas raster y vectoriales en QGIS, obteniéndose el mapa visualizado en la Figura 34. El procesamiento muestra un rango de valores entre 33 a 96, siendo el promedio del valor de curva número de 68.36.

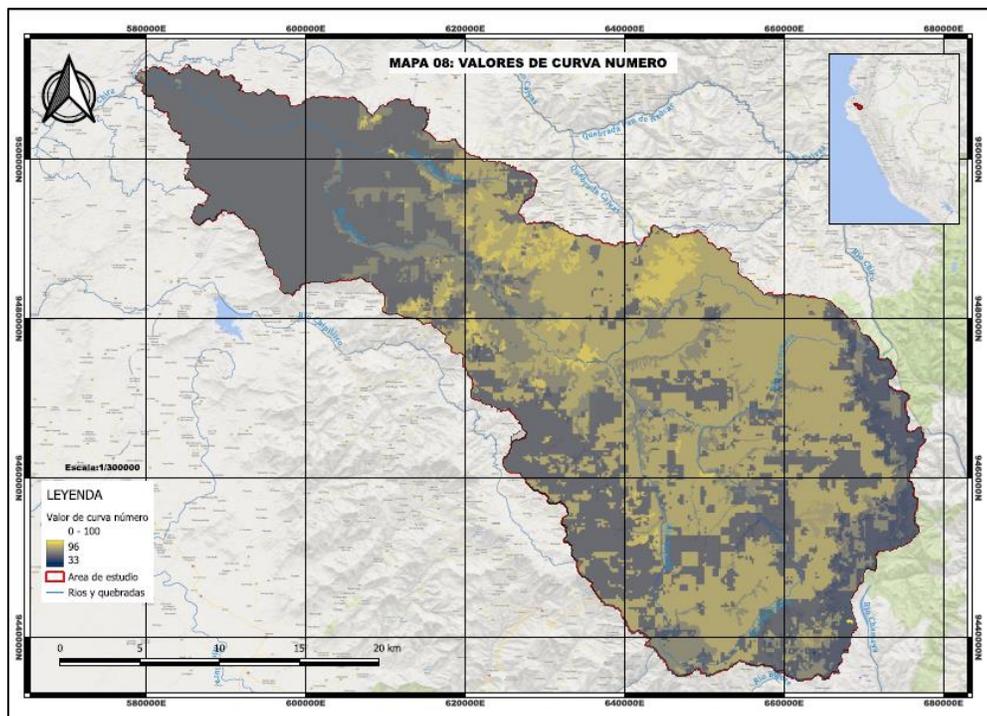


Figura 34: Valores de curva número en el área de estudio

Una vez obtenidos los rasters de número de curva, precipitación y días de tormenta, se ejecutó el paquete de ECOSER en el software QGIS, obteniéndose los rasters de retención inicial, escurrimiento superficial y retención de excesos de precipitación. Con dichos rasters se generaron los mapas mostrados en la Figura 35, Figura 36 y Figura 37.

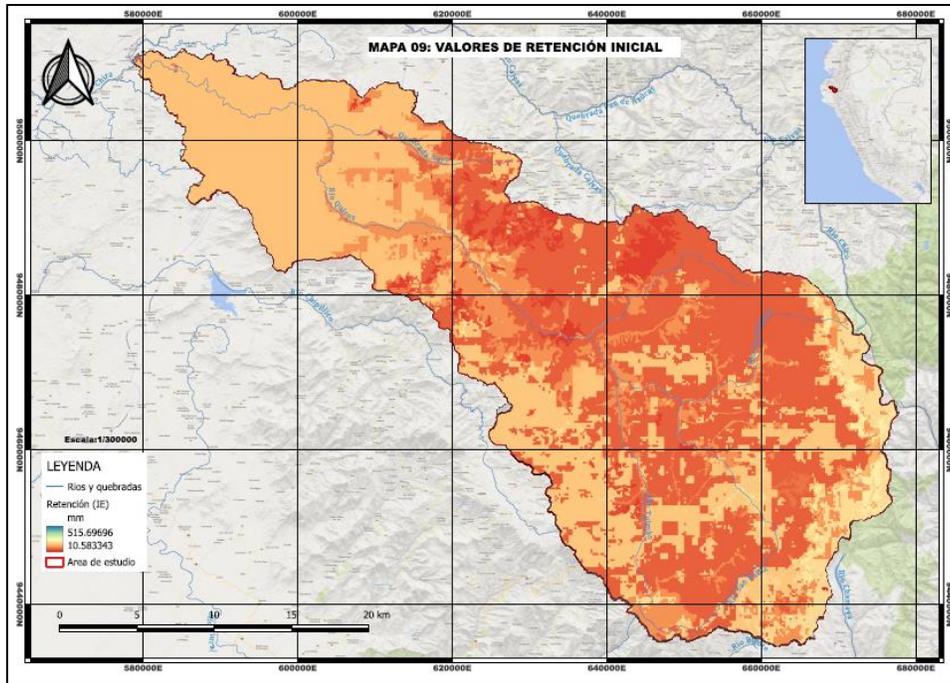


Figura 35: Valores de retención inicial

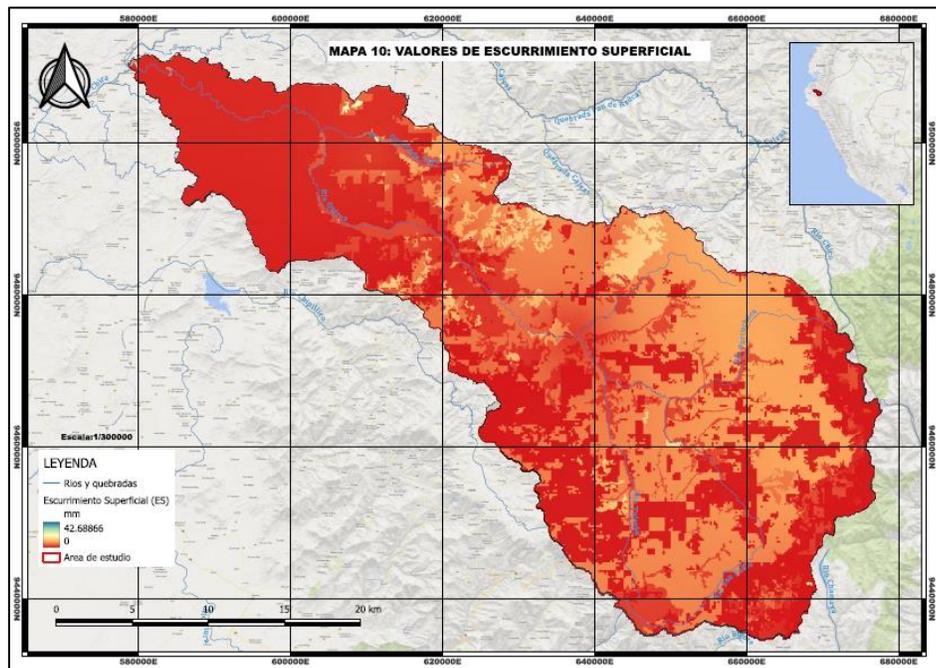


Figura 36: Valores de escurrimiento superficial

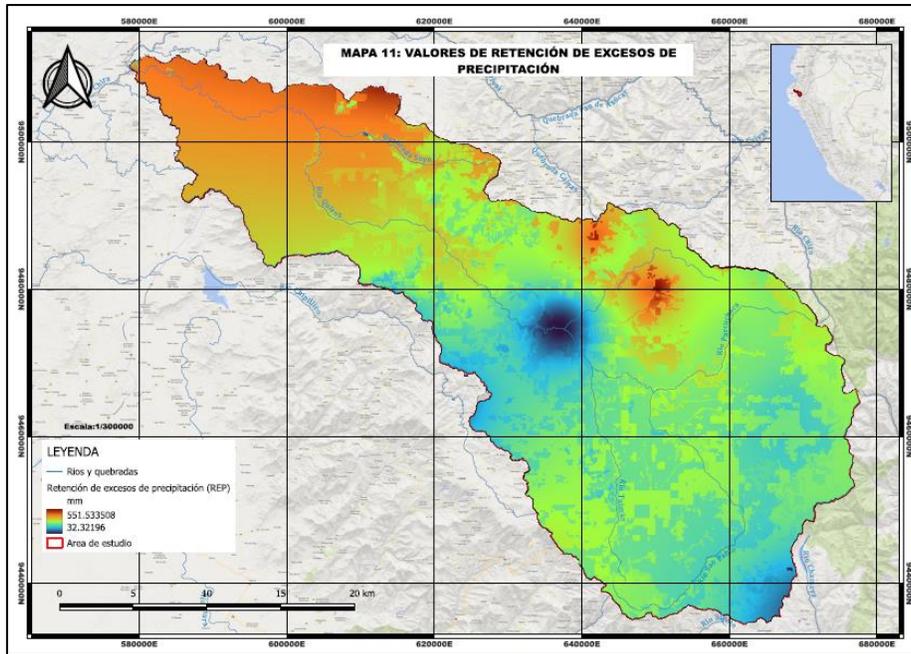


Figura 37: Valores de retención de excesos de precipitación

Para la investigación realizada es importante analizar a profundidad los valores de retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal, por ser este resultado uno de los objetivos específicos de la investigación en lo concerniente al servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones. Es por esta razón que se estimó en el REP⁷ los siguientes productos: el histograma raster (Figura 38), los valores en microcuencas (ver Tabla 18) y los valores en distritos (ver Tabla 19).

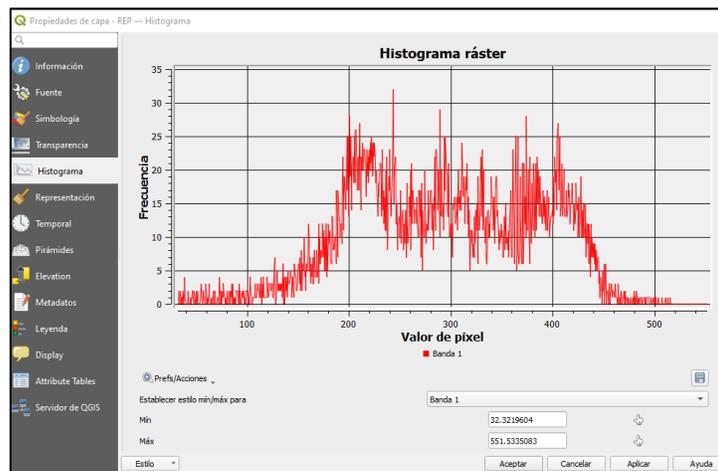


Figura 38: Histograma raster del REP

⁷ REP: Retención de excesos de precipitación.

Tabla 18: Valores de REP obtenidos en las microcuencas del área de estudio

Microcuenca	Perímetro (km)	Área (km ²)	Xc	Yc	Zc	Media	Mediana	Min	Max
Parcuchaca	113.7	293.5	660761	9483107	2357	273.87	272.12	202.88	368.69
Santa Rosa	57.5	69.5	649673	9465994	1390	266.55	258.78	193.17	352.95
Quiroz	381.9	1717.8	583348	9510657	754	316.61	326.51	25.18	552.15
Tulmán	124.3	278.7	632886	9455794	1982	255.25	263.80	171.67	308.66
San Pablo	190.3	778.4	649686	9465969	1758	231.03	233.34	39.19	314.40

Tabla 19: Valores de REP obtenidos en los distritos del área de estudio

Distrito	Perímetro (km)	Área (ha)	Media	Mediana	Min	Max
Lalaquiz	8.57	42.74	258.51	260.92	206.14	267.38
Yamango	25.85	740.14	259.76	263.38	215.74	291.90
Huancabamba	37.55	3460.33	187.87	192.88	108.86	245.50
Chalaco	34.86	642.17	256.64	246.90	241.03	308.66
El Carmen de La Frontera	39.64	2561.43	247.53	250.97	99.99	262.26
Frias	35.96	95.70	237.69	236.36	157.72	296.28
Pacaipampa	176.45	96858.68	233.78	232.58	30.93	308.25
Sapillica	41.21	91.73	188.91	192.09	129.46	270.08
Lagunas	75.87	16866.62	203.63	202.21	34.13	331.99
Las lomas	50.20	100.41	330.59	329.40	292.09	371.30
Montero	56.37	12922.11	292.37	294.96	220.75	391.63
Paimas	98.75	32342.28	323.22	331.93	153.54	392.38
Sicchez	1.20	0.64	315.30	317.47	308.52	318.40
Jilili	10.51	19.29	318.77	303.35	301.39	383.76
Ayabaca	192.90	91387.69	276.69	273.91	25.18	552.15
Suyo	188.83	51112.19	395.11	401.10	85.74	521.88
Lancones	77.64	4557.74	407.47	413.41	253.59	432.72

En resumen, se tiene que el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones posee valores de retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal que varían en el área de estudio de 32.32 mm a 551.53 mm, con un promedio de 284.82 mm. La microcuenca que posee una mayor cobertura del servicio ecosistémico es Quiroz (parte baja) con un valor promedio de 316.61 m, y el distrito con una mayor cobertura es Lancones con un valor promedio de 413.41 mm. El servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones brinda en promedio de 893.94 hm³ de retención de excesos de precipitación por cobertura vegetal en la subcuenca del río Quiroz.

4.1.3 Resultados del cálculo de S.E. de control de la erosión

La estimación del S.E. de control de la erosión se realizó de acuerdo a lo descrito en el Item 3.3.4., para lo cual se obtuvieron los resultados preliminares de las variables necesarias para la aplicación de la fórmula RUSLE.

En la variable R se aplicó la fórmula indicada en el Item 3.3.4., con lo cual se obtuvo las magnitudes en $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$, con ello se generó el mapa (ver Figura 39). Por lo cual se procedió según las indicaciones del paquete de QGIS para el control de la erosión, en realizar la reconversión a $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{pixel}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. Los cálculos del procesamiento con las herramientas de QGIS nos dieron como resultado valores entre $512.98 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ a $4928.24 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ y un valor promedio de $2194.04 \text{ MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. En la sección de anexos se presentan los cuadros de cálculo

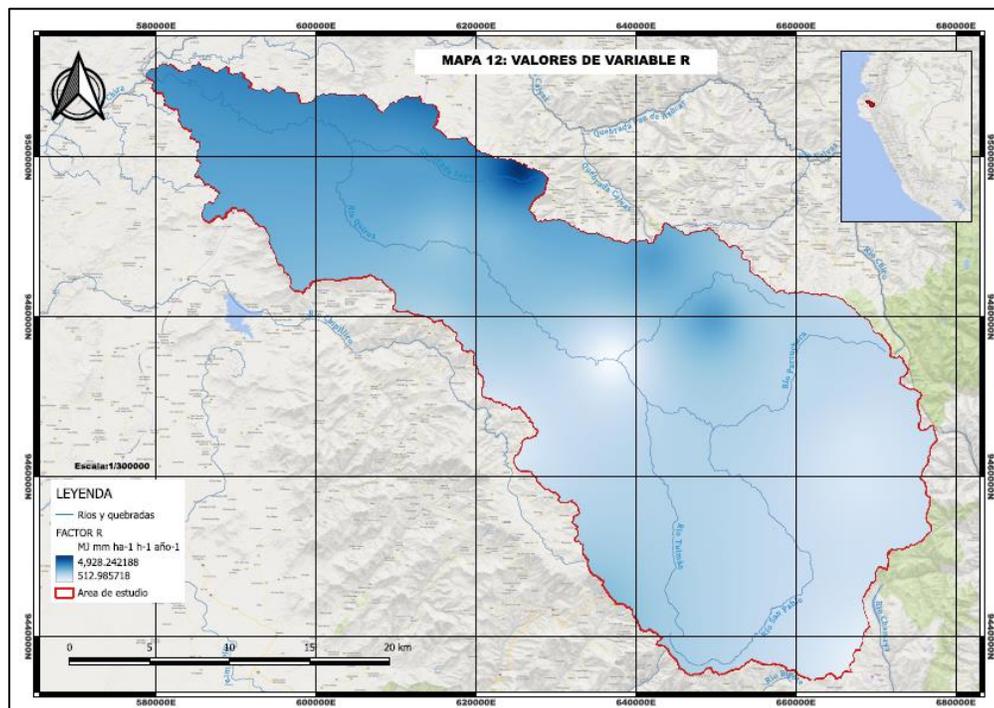


Figura 39: Valores de la variable R

En la variable K se utilizó el procedimiento indicado en el Item 3.3.4., obteniéndose en una fase previa el mapa de grupo de suelos (ver Figura 40 y Tabla 20) con lo cual se obtuvo las magnitudes en $\text{ton} * \text{pixel} * \text{h} * \text{pixel}^{-1} * \text{MJ}^{-1} * \text{mm}^{-1}$, con ello se generó el mapa (ver Figura 41). Los cálculos del procesamiento con las herramientas de QGIS nos dieron como resultado valores entre $0.007 \text{ ton} * \text{pixel} * \text{h} * \text{pixel}^{-1} * \text{MJ}^{-1} * \text{mm}^{-1}$ a $0.079 \text{ ton} * \text{pixel} * \text{h} * \text{pixel}^{-1} * \text{MJ}^{-1} * \text{mm}^{-1}$ y un valor promedio de $0.038 \text{ ton} * \text{pixel} * \text{h} * \text{pixel}^{-1} * \text{MJ}^{-1} * \text{mm}^{-1}$.

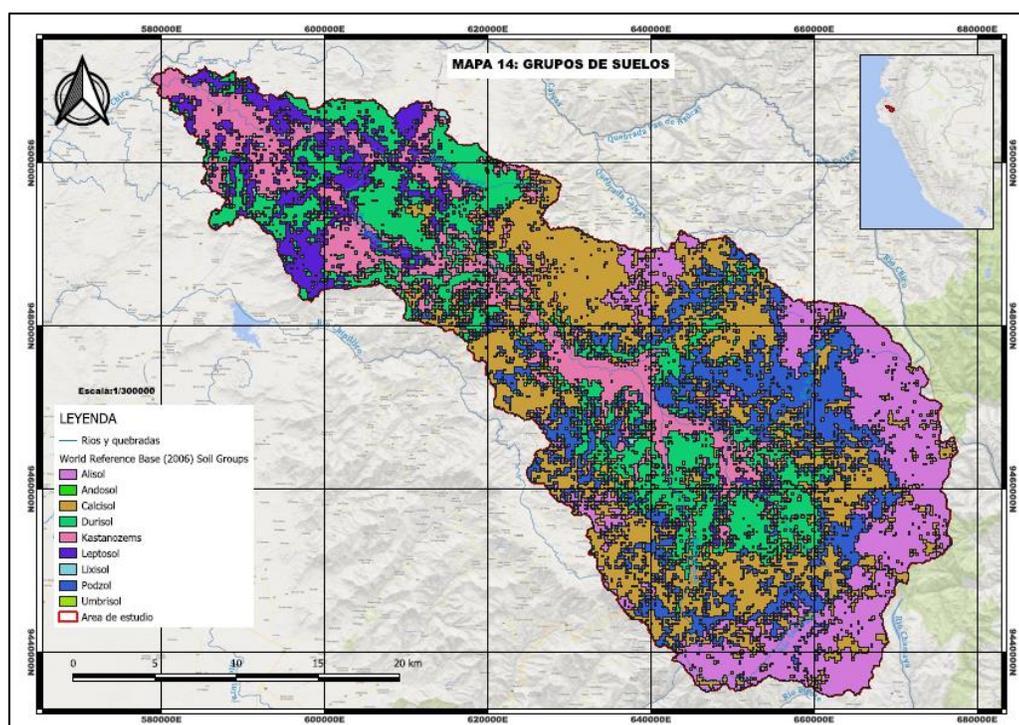


Figura 40: Grupos de suelos en el área de estudio

Tabla 20: Grupos de suelo

Grupo de suelo	ha
Leptosol	22628.87
Lixisol	986.32
Podzol	48773.71
Durisol	61569.26
Alisol	54339.82
Umbrisol	5.33
Andosol	12.72
Calcisol	81382.72
Kastanozems	44103.16

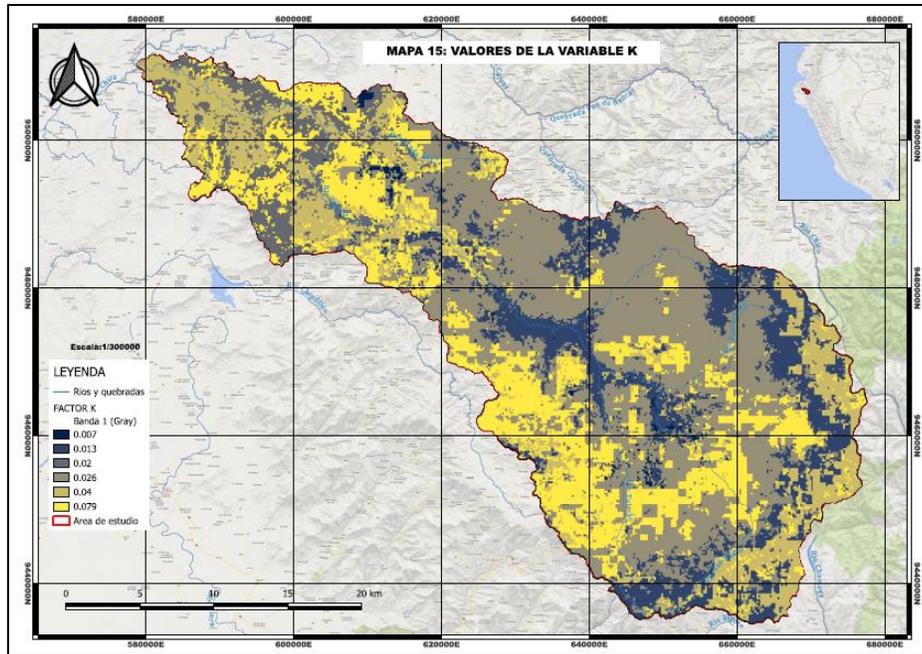


Figura 41: Valores de la variable K

En el caso, en la variable LS a través del paquete de cálculo de LS de ECOSER implementado para QGIS, se estimó los valores adimensionales en un rango de 0.00 a 161.59 y un valor promedio de 23.48.

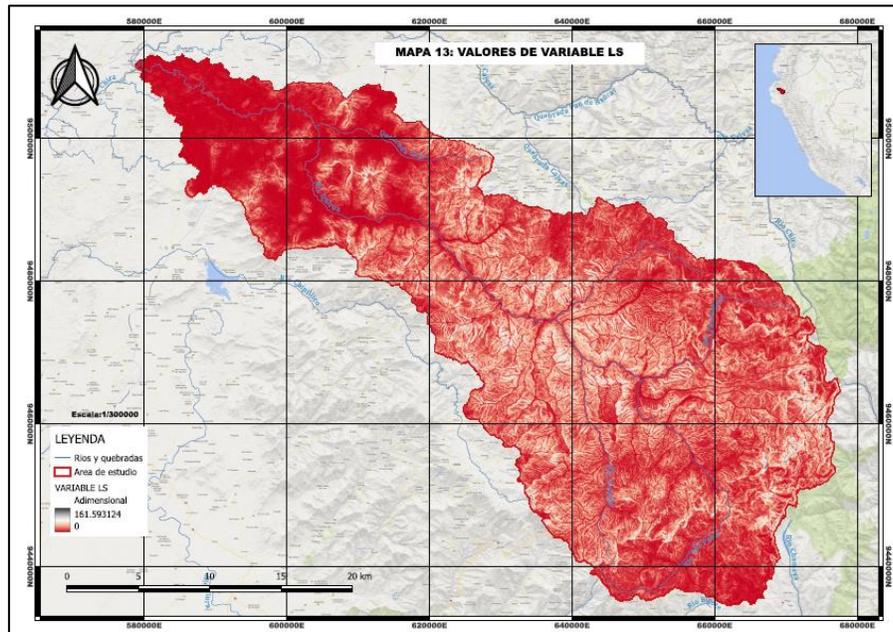


Figura 42: Variable LS en el área de estudio

La variable CP se estimó según lo indicado en el Item 3.3.4 los valores adimensionales en un rango de 0.001 a 1 y un valor promedio de 0.057.

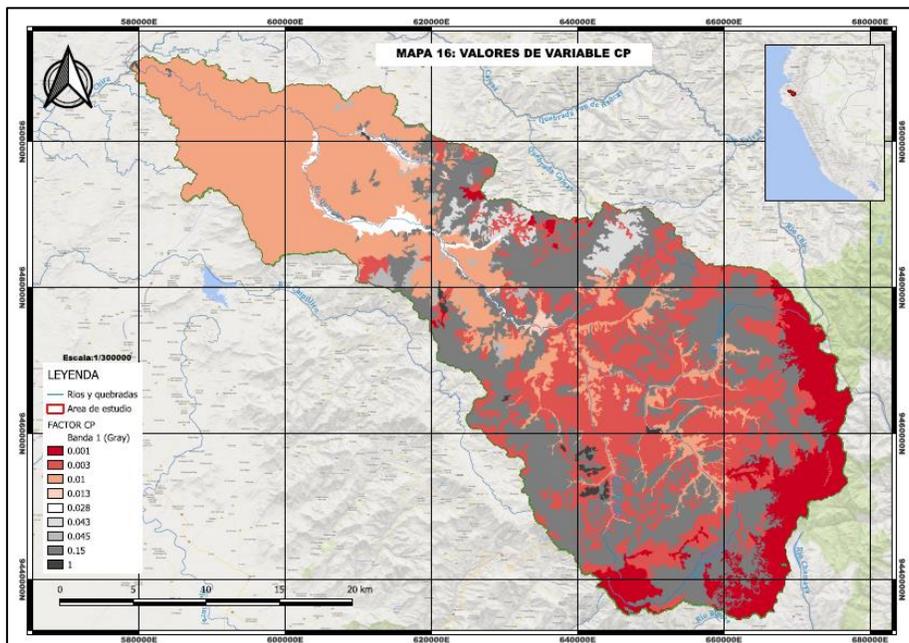


Figura 43: Valores de la variable CP

Para la investigación realizada es importante analizar a profundidad los valores de control de la erosión, por ser este resultado uno de los objetivos específicos de la investigación en lo concerniente al servicio ecosistémico de control de la erosión (ver Figura 44). Es por esta razón que se estimó en el control de la erosión hídrica⁸, los siguientes productos: el histograma raster (ver Figura 45), los valores en microcuencas (ver Tabla 21) y los valores en distritos (ver Tabla 22).

⁸ CEH: Control de la erosión hídrica

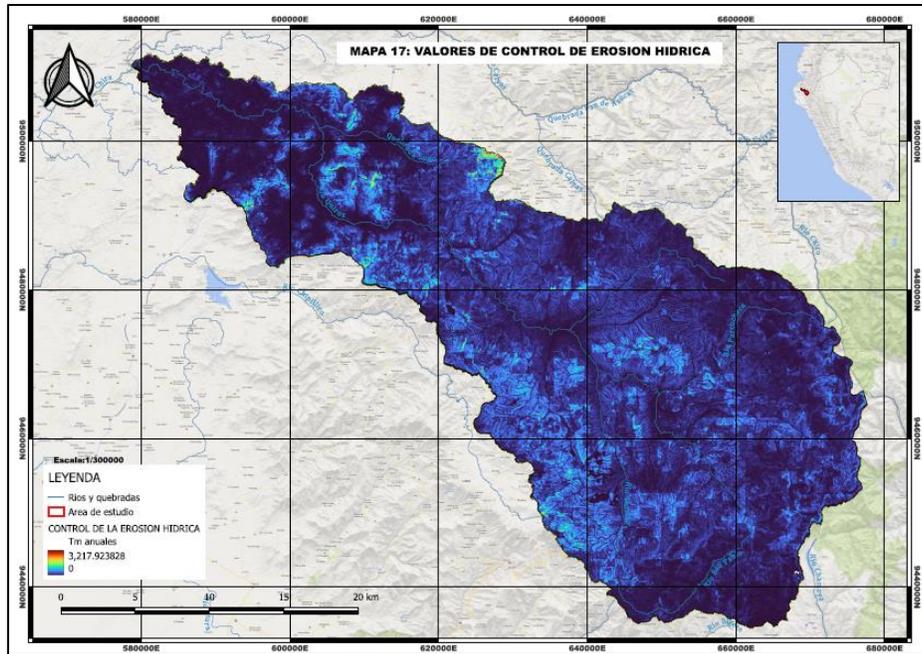


Figura 44: Valores de control de la erosión hídrica

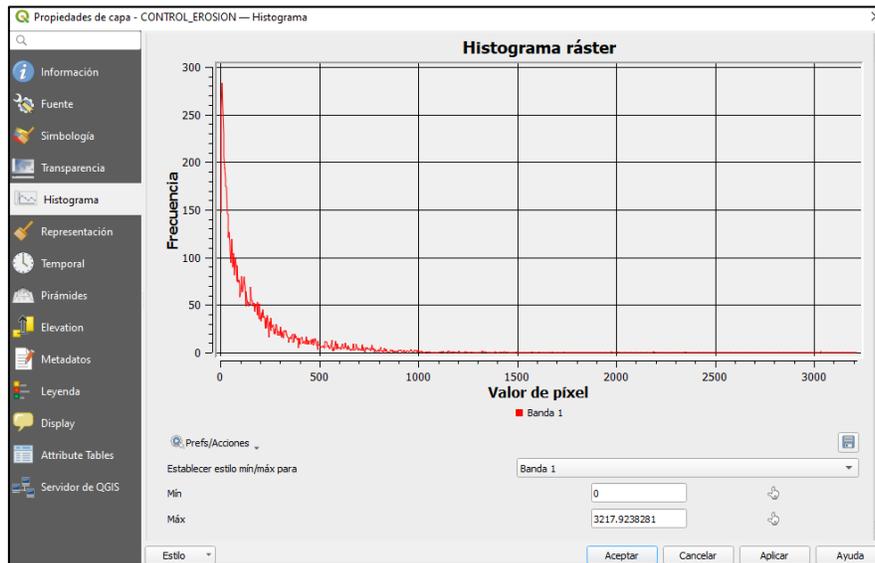


Figura 45: Histograma del raster de control de la erosión

Tabla 21: Valores de CEH en las microcuencas del área de estudio

Microcuenca	Perímetro (km)	Área (km ²)	Xc	Yc	Zc	Media	Mediana	Min	Max
Parcuchaca	113.7	293.5	660761	9483107	2357	116.41	76.24	0.00	1608.81
Santa Rosa	57.5	69.5	649673	9465994	1390	231.91	174.08	0.00	1404.11
Quiroz	381.9	1717.8	583348	9510657	754	167.27	101.19	0.00	3677.62
Tulmán	124.3	278.7	632886	9455794	1982	266.83	191.74	0.00	2440.57
San Pablo	190.3	778.4	649686	9465969	1758	127.93	82.88	0.00	1697.85

Tabla 22: Valores de CEH en los distritos del área de estudio

Distrito	Perímetro (km)	Área (ha)	Media	Mediana	Min	Max
Lalaquiz	8.57	42.74	24.24	20.66	0.00	88.80
Yamango	25.85	740.14	49.01	36.62	0.00	358.59
Huancabamba	37.55	3460.33	43.42	25.12	0.00	658.37
Chalaco	34.86	642.17	157.71	119.15	0.00	1191.47
El Carmen de La Frontera	39.64	2561.43	173.25	136.62	0.00	1516.52
Frias	35.96	95.7	130.83	74.24	0.70	1308.14
Pacaipampa	176.45	96858.68	184.43	117.34	0.00	2440.57
Sapillica	41.21	91.73	114.33	79.39	0.00	660.28
Lagunas	75.87	16866.62	223.25	151.94	0.00	2009.20
Las lomas	50.2	100.41	216.91	97.30	0.00	1655.71
Montero	56.37	12922.11	192.00	161.94	0.00	2065.29
Paimas	98.75	32342.28	184.91	107.44	0.00	2664.83
Sicchez	1.2	0.64	78.99	76.94	33.49	109.97
Jilili	10.51	19.29	109.17	92.80	3.24	504.84
Ayabaca	192.9	91387.69	138.69	97.52	0.00	2265.38
Suyo	188.83	51112.19	145.41	46.41	0.00	3677.62
Lancones	77.64	4557.74	36.56	18.42	0.00	1094.44

En resumen, se tiene que el servicio ecosistémico de control de erosión posee valores de control de la erosión hídrica que varían en el área de estudio de 0.00 Tm anuales/píxel a 3217.92 Tm anuales/píxel, con un promedio de 163.02 Tm anuales/píxel. La microcuenca que posee una mayor cobertura del servicio ecosistémico es Tulmán con un valor promedio de 266.83 Tm anuales/píxel, y el distrito con una mayor cobertura es Lagunas con un valor promedio de 223.25Tm anuales/píxel. El servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones brinda en promedio de 24805.55 Tm anual de CEH en la subcuenca del río Quiroz.

4.1.4 Resultados de la importancia bioecológica

En la estimación del valor bioecológico, visualizado en la Figura 46, la Tabla 23 presenta la clasificación por valor bioecológico para el área de estudio. El procedimiento está indicado en el Item 3.3.5.

Con ello se pudo estimar que la microcuenca mayor extensión de valor ecológico muy alto es San Pablo (ver Tabla 24) con un valor de 37319.65 ha se puede apreciar que el distrito con mayor extensión de valor muy alto en el área de estudio es Pacaipampa (ver Tabla 25), la cual abarca 47063.00 ha.

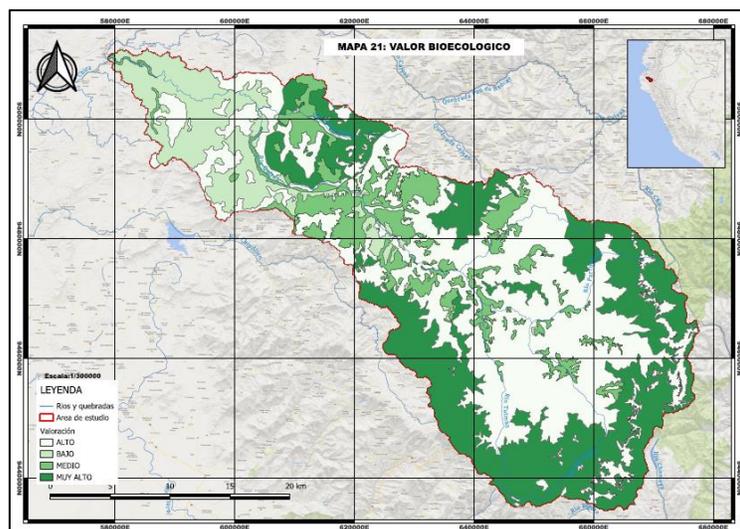


Figura 46: Valores de la importancia bioecológica

Tabla 23: Valor bioecológico

Clasificación	Km2
Muy alto	1049.17
Alto	1355.36
Medio	387.6
Bajo	345.89

Tabla 24: Clasificación de valor bioecológico por microcuencas

Microcuenca	Clasificación	Área (ha)
Parcuchaca	Muy alto	16165.39
Santa Rosa	Muy alto	727.39
Quiroz	Muy alto	37158.16
Tulmán	Muy alto	13546.3
San Pablo	Muy alto	37319.65
Parcuchaca	Alto	12519.8
Santa Rosa	Alto	5458.67
Quiroz	Alto	66712.27
Tulmán	Alto	13122.68
San Pablo	Alto	37722.1
Parcuchaca	Medio	668.31
Santa Rosa	Medio	765.14
Quiroz	Medio	33391.78
Tulmán	Medio	1205.94
San Pablo	Medio	2728.89
Quiroz	Bajo	34519.27
San Pablo	Bajo	70.15

Tabla 25: Clasificación de valor bioecológico por distrito

Distritos	Clasificación	Ha
Ayabaca	Muy alto	32285.16
Ayabaca	Alto	50950.50
Ayabaca	Medio	8021.32
Ayabaca	Bajo	130.70
Chalaco	Muy alto	639.55
Chalaco	Alto	2.63
El carmen de la frontera	Muy alto	1821.29
El carmen de la frontera	Alto	740.14
Frias	Muy alto	95.70
Huancabamba	Muy alto	2873.86
Huancabamba	Alto	586.47
Jilili	Muy alto	0.77
Jilili	Alto	18.52
Lagunas	Muy alto	5849.18
Lagunas	Alto	6343.93
Lagunas	Medio	3308.75
Lagunas	Bajo	1364.76
Lalaquiz	Muy alto	42.74
Lancones	Alto	185.07
Lancones	Medio	463.00
Lancones	Bajo	3909.67
Las lomas	Alto	77.50
Las lomas	Medio	22.91
Montero	Muy alto	295.89
Montero	Alto	5388.48
Montero	Medio	6923.41
Montero	Bajo	314.33
Pacaipampa	Muy alto	47063.00
Pacaipampa	Alto	44618.81
Pacaipampa	Medio	5051.12
Pacaipampa	Bajo	125.74
Paimas	Muy alto	3964.38
Paimas	Alto	10427.37
Paimas	Medio	9314.80
Paimas	Bajo	8635.73
Sapillica	Muy alto	28.02
Sapillica	Alto	50.41
Sapillica	Medio	13.30
Sicchez	Muy alto	0.64
Suyo	Muy alto	9314.40
Suyo	Alto	16047.86
Suyo	Medio	5641.45
Suyo	Bajo	20108.49
Yamango	Muy alto	642.30
Yamango	Alto	97.84

4.1.5 Resultados de la determinación de infraestructura verde

El proceso de normalización permitió generar, como se indica en el ítem 3.3.6, los mapas normalizados de los dos servicios ecosistémicos (ver Figura 47 y Figura 48) y el valor bioecológico (ver Figura 49).

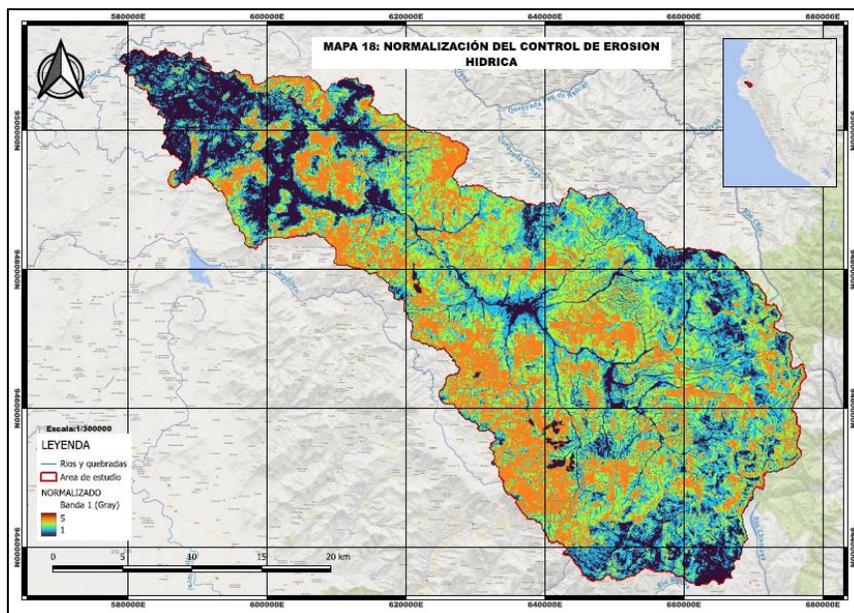


Figura 47: Normalización de CEH

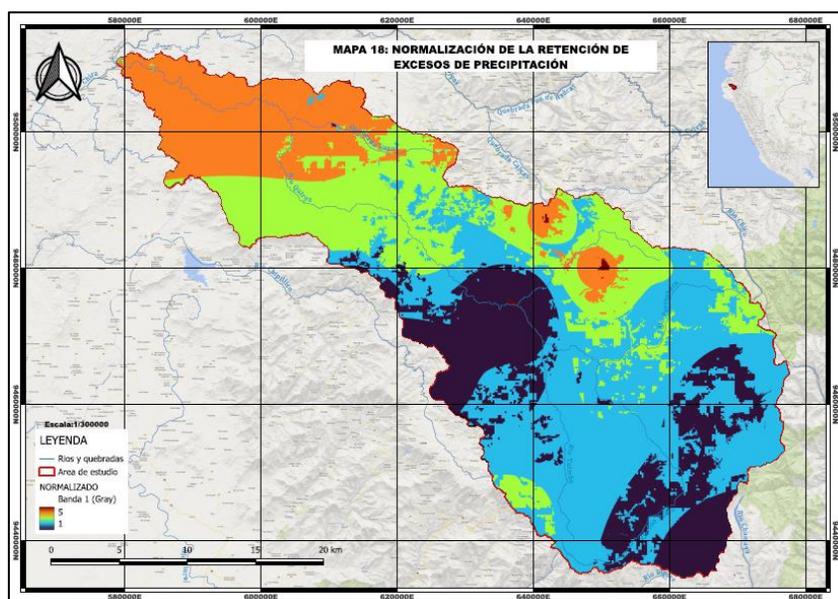


Figura 48: Normalización REP

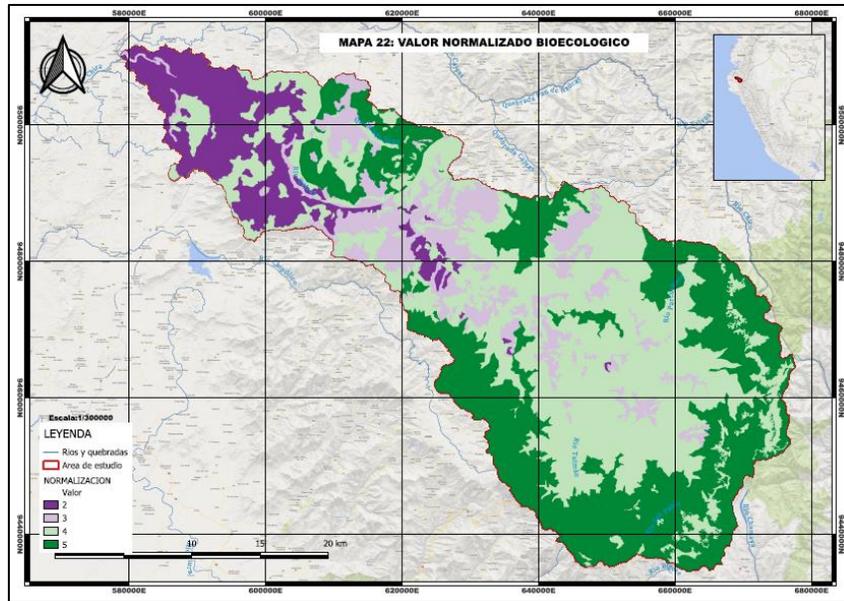


Figura 49: Normalización del valor bioecológico

Posterior a ello se generó a través de la normalización de los servicios ecosistémicos el mapa mostrado en la Figura 50. La Tabla 26 y Tabla 27 muestran los valores obtenidos a nivel de microcuencas y distritos respectivamente. Obteniéndose en promedio que la microcuenca Quiroz (parte baja), posee el valor medio más alto (2.71) del área de estudio. De forma similar el distrito de Suyo posee la media más alta (3.05) de la subcuenca.

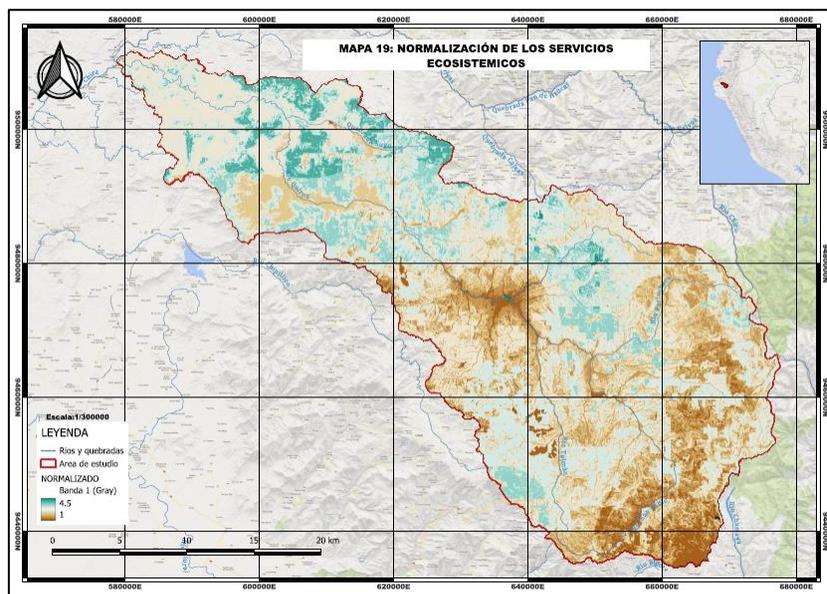


Figura 50: Normalización de los servicios ecosistémicos

Tabla 26: Valores normalizados de la cobertura de servicios ecosistémicos en las microcuencas

Microcuenca	Perímetro (km)	Área (km2)	Xc	Yc	Zc	Media	Mediana	Min	Max
Parcuchaca	113.7	293.5	660761	9483107	2357	2.29	2	1	3.5
Santa Rosa	57.5	69.5	649673	9465994	1390	2.59	2.5	1	3.5
Quiroz	381.9	1717.8	583348	9510657	754	2.71	2.5	1	4.5
Tulmán	124.3	278.7	632886	9455794	1982	2.54	2.5	1	3.5
San Pablo	190.3	778.4	649686	9465969	1758	2.02	2	1	3.5

Tabla 27: Valores normalizados de la cobertura de servicios ecosistémicos en los distritos

Distritos	Media	Mediana	Min	Max
Lalaquiz	1.64	1.5	1	2
Yamango	1.86	2	1	3.5
Huancabamba	1.39	1	1	3
Chalaco	2.45	2.5	1.5	3.5
El carmen de la frontera	2.37	2.5	1	3
Frias	2.07	2	1	3.5
Pacaipampa	2.19	2	1	4.5
Sapillica	1.78	1.5	1	3
Lagunas	2.14	2	1	3.5
Las lomas	2.82	3	2	3.5
Montero	2.81	3	1.5	4
Paimas	2.70	2.5	1	4
Sicchez	2.54	2.5	2.5	3
Jilili	2.75	2.5	2	4
Ayabaca	2.44	2.5	1	4.5
Suyo	3.05	3	1	4.5
Lancones	2.69	2.5	1.5	4

Finalmente, se realizó la integración de los rasters normalizados de servicios ecosistémicos y valor bioecológico, obteniéndose el raster de infraestructura verde mostrado en el mapa de la Figura 51, y su clasificación visualizada en la Figura 52. Con ello se logró obtener el resultado necesario para cumplir con el objetivo de la investigación.

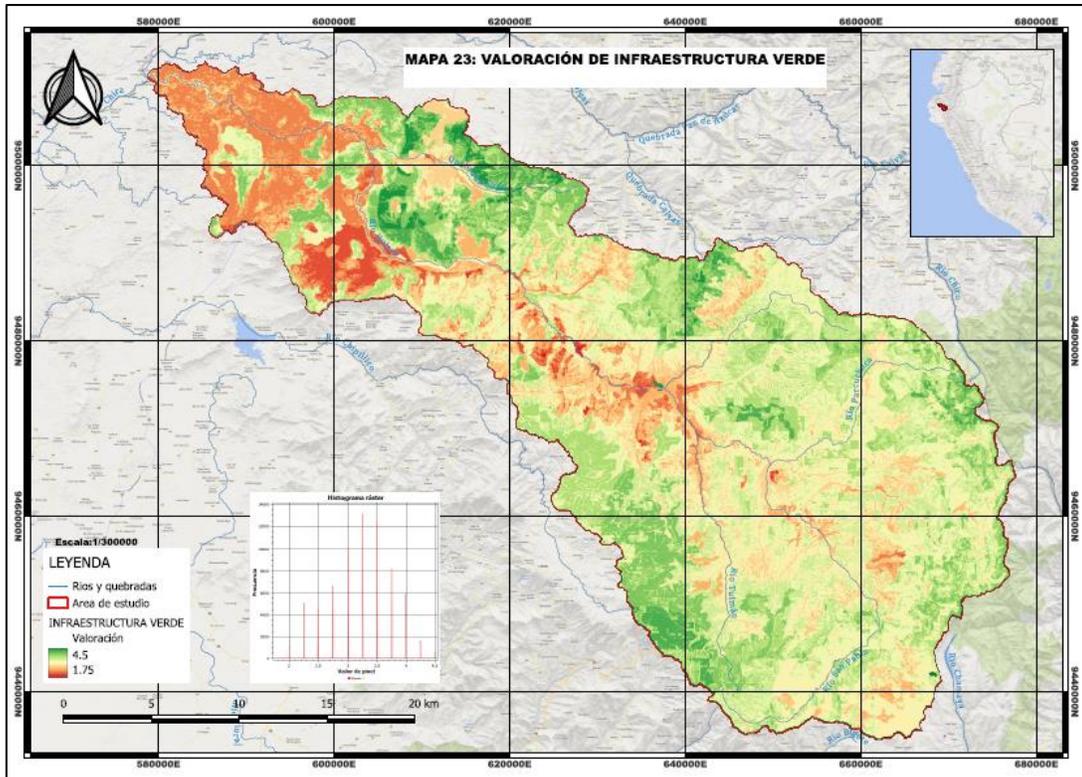


Figura 51: Valores de Infraestructura Verde en la subcuenca Quiroz

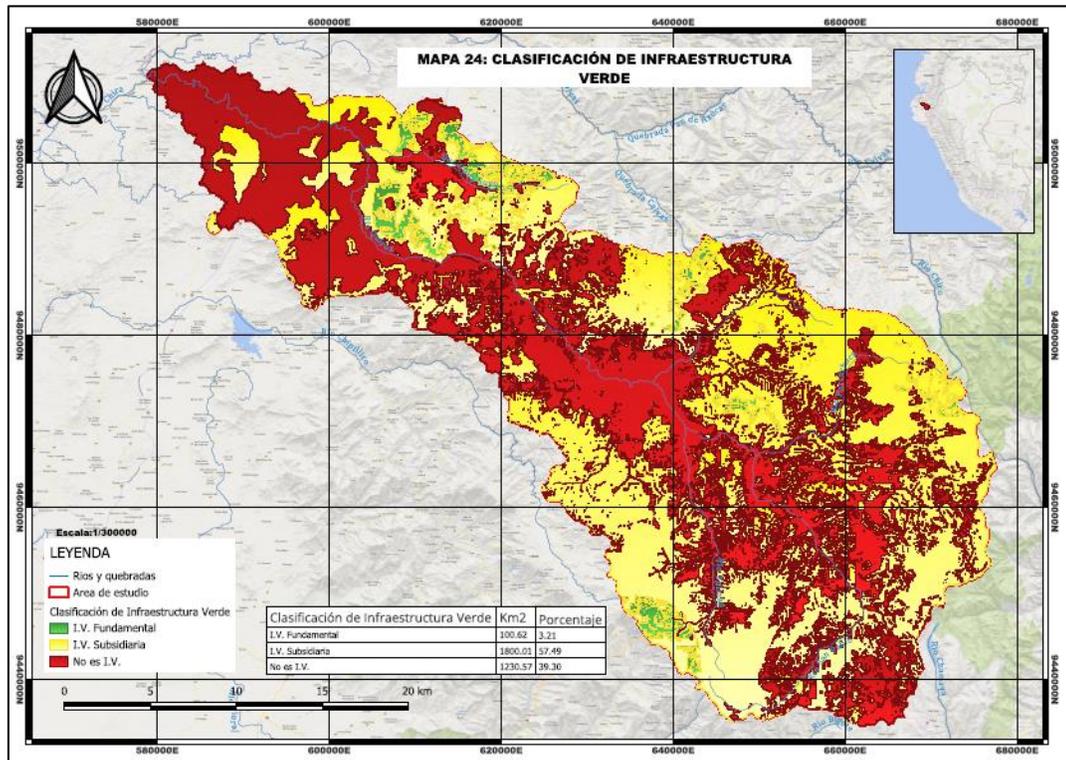


Figura 52: Clasificación de Infraestructura Verde en la subcuenca del río Quiroz

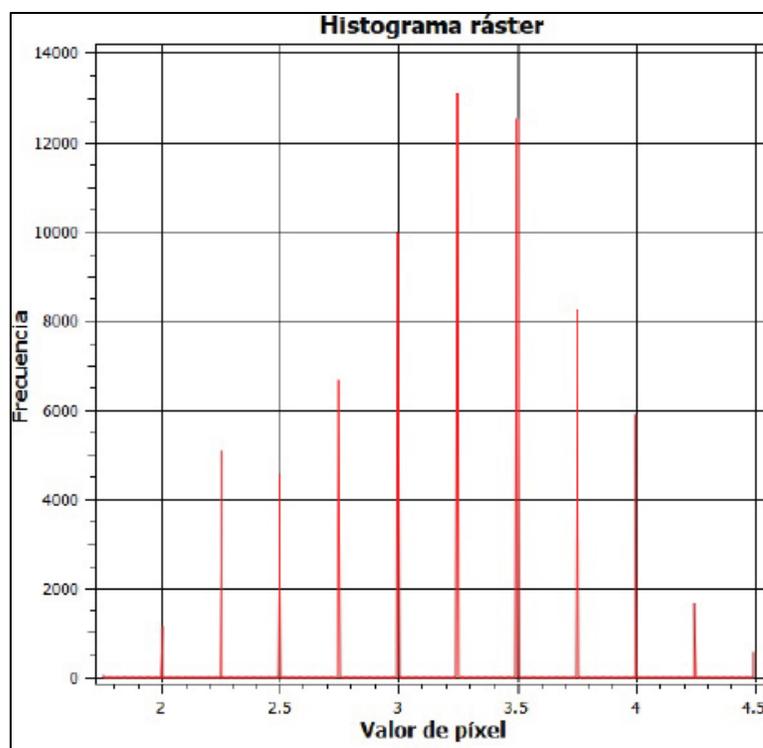


Figura 53: Histograma raster de valores en Infraestructura Verde

Tabla 28: Clasificación de I.V.⁹ en el área de estudio

Clasificación I.V.	Km2	%
I.V. Fundamental	100.62	3.21
I.V. Subsidiaria	1800.01	57.49
No es I.V.	1230.57	39.3

Tabla 29: Clasificación de I.V. a nivel de microcuenca

Cuenca	Clasificación I.V.	Área (ha)
Parcuchaca	I.V. Fundamental	699.99
Parcuchaca	I.V. Subsidiaria	22970.77
Parcuchaca	No es I.V.	5630.27
Quiroz	I.V. Fundamental	6806.57
Quiroz	I.V. Subsidiaria	85660.76
Quiroz	No es I.V.	78870.74
San Pablo	I.V. Fundamental	0.81
San Pablo	I.V. Subsidiaria	48621.9
San Pablo	No es I.V.	29044.03
Santa Rosa	I.V. Fundamental	381.05
Santa Rosa	I.V. Subsidiaria	4048.52
Santa Rosa	No es I.V.	2521.63
Tulmán	I.V. Fundamental	2173.3
Tulmán	I.V. Subsidiaria	18687.46
Tulmán	No es I.V.	6985.62

⁹ I.V.: Infraestructura Verde

Tabla 30: Clasificación de I.V. a nivel distrital

Distrito	Clasificación I.V.	Área (ha)
Ayabaca	I.V. Fundamental	2347.71
Ayabaca	I.V. Subsidiaria	64489.18
Ayabaca	No es I.V.	24434.05
Chalaco	No es I.V.	0.28
Chalaco	I.V. Fundamental	69.45
Chalaco	I.V. Subsidiaria	556.93
El Carmen de la Frontera	No es I.V.	191.17
El Carmen de la Frontera	I.V. Subsidiaria	2334.34
Frias	No es I.V.	9.72
Frias	I.V. Subsidiaria	62.15
Frias	I.V. Fundamental	5.32
Huancabamba	No es I.V.	2079
Huancabamba	I.V. Subsidiaria	1353.96
Jilili	No es I.V.	0.75
Jilili	I.V. Subsidiaria	10.27
Lagunas	I.V. Fundamental	0.27
Lagunas	No es I.V.	9022.14
Lagunas	I.V. Subsidiaria	7812.81
Lalaquiz	I.V. Subsidiaria	36.56
Lalaquiz	No es I.V.	0.28
Lancones	No es I.V.	4312.16
Lancones	I.V. Subsidiaria	181.53
Las lomas	No es I.V.	14.09
Las lomas	I.V. Subsidiaria	42.53
Montero	I.V. Fundamental	24.42
Montero	No es I.V.	6373.55
Montero	I.V. Subsidiaria	6508.24
Pacaipampa	I.V. Fundamental	2098.71
Pacaipampa	I.V. Subsidiaria	61680.25
Pacaipampa	No es I.V.	33002.05
Paimas	No es I.V.	18050.99
Paimas	I.V. Subsidiaria	12656.78
Paimas	I.V. Fundamental	1603.74
Sapillica	I.V. Subsidiaria	24.15
Sapillica	No es I.V.	32.67
Sicchez	I.V. Subsidiaria	0.13
Suyo	I.V. Fundamental	3911.87
Suyo	No es I.V.	25441.21
Suyo	I.V. Subsidiaria	21620.61
Yamango	No es I.V.	92.93
Yamango	I.V. Subsidiaria	630.96
Yamango	I.V. Fundamental	0.81

En resumen, el proceso de integración de rasters nos dio como resultado los valores de I.V., varían desde 1.75 a 4.5, con un promedio de 3.24 (ver Figura 53). Además, mediante la clasificación se obtuvo en el área de estudio una extensión de 100.62 km² (ver Tabla 28) como Infraestructura Verde fundamental, equivalente al 3.21 por ciento del territorio. Además, se estimó que la microcuenca Quiroz (parte baja) posee la mayor extensión I.V. fundamental, con un valor de 6806.57 ha (ver Tabla 29). A su vez, se obtuvo que el distrito con mayor hectareaje de I.V. fundamental es Suyo con un valor de 3911.87 ha (ver Tabla 30).

4.2 Discusión

Los resultados obtenidos muestran la localización y cuantificación de la infraestructura verde en la subcuenca del río Quiroz, en las categorías de I.V. fundamental y I.V. subsidiaria de forma similar a la propuesta de Lique et al. (2015). La importancia de estas dos categorías radica en su posible aplicación. Esto fue analizado por Rey Benayas et al. (2009) mencionando que la I.V. fundamental por su importancia para la biodiversidad y cobertura de servicios ecosistémicos debe de ser preservado, mientras que la I.V. subsidiaria por las características que presenta, zonas de importancia, pero con posibilidad de mejora, posee un potencial para zonas de restauración.

El bioma que presenta mayor extensión en el área definida como infraestructura verde fundamental es el bosque seco, de acuerdo a lo definido por la cobertura vegetal de la Z.E.E. de Piura. Dicho bioma abarca 4351.74 ha inmersas de infraestructura verde fundamental, principalmente ubicado en el distrito de Suyo y Paimas, ambos inmersos en la microcuenca de la parte baja del río Quiroz. Este bioma posee los siguientes servicios ecosistémicos de regulación: Moderación de eventos extremos, Regulación de caudales de agua, Prevención de la erosión, entre otros (De Groot et al., 2020). De forma similar, el segundo bioma con mayor extensión en el área definida como infraestructura verde fundamental son los pastos (3670.77 ha), los cuales se encuentran clasificados como un tipo de bosque tropical. Este tipo de bioma posee también los servicios ecosistémicos de Moderación de eventos extremos, Regulación de caudales de agua, Prevención de la erosión, entre otros (De Groot et al., 2020). Finalmente, el tercer bioma con mayor extensión (928.91 ha) inmerso en la zona clasificada como infraestructura verde fundamental es el matorral subhúmedo, el cual está clasificado como un tipo de pradera, el cual brinda el servicio ecosistémico de regulación referido a Regulación de caudales de agua (De Groot et al., 2020). Otros autores como Xie et al. (2017) consideran que los 3 biomas mencionados (Bosque seco, pastos y matorral subhúmedo) brindan los servicios ecosistémicos de Regulación de caudales de agua y Prevención de la erosión. Esto implica que los bosques secos, pastos y matorral subhúmedo están relacionados con los servicios ecosistémicos estudiados de control de la erosión y mitigación de inundaciones; es por ello que existe una coincidencia entre la infraestructura verde localizada con los bosques secos. Se puede analizar que existe una relación entre la localización de infraestructura verde y los servicios

ecosistémicos que brindan las coberturas en las que están inmersas, según lo estimado anteriormente por otros científicos como de Groot et al. (2020), Xie et al. (2017) y Costanza (2000).

En la investigación realizada, los análisis presentados deben entenderse como el uso de los mejores datos existentes de calidad aceptable para admitir evidencia sólida. El uso de la información recopilada principalmente por parte de la Z.E.E. Piura es de carácter oficial para la región. No obstante, esta información fue elaborada para una escala regional, lo cual puede generar variaciones si se analizara con información a escala distrital. De forma similar, las diversas imágenes satelitales analizadas poseen información a escala global, con la limitante de la resolución que poseen. A pesar de las limitaciones mencionadas, los procedimientos realizados para la escala de análisis (subcuenca), tienen precedente en su aplicación por otros autores mencionados en el documento. Es por ello que los resultados se consideran precisos y certeros para el área de estudio de la investigación. Si bien se utilizó una metodología distinta a la propuesta por Liqueste et al. (2015) para la obtención de los servicios ecosistémicos, al optarse por los procedimientos propuestos por Barral (2016) principalmente. Esto se debe a que los procedimientos elaborados por el último autor mencionado se dan en un contexto latinoamericano. Cabe mencionar que se los paquetes de QGIS utilizados pertenecen a la versión más reciente elaborado por la Universidad de Antioquia¹⁰, por lo que se brindan mejoras en los procesamientos de los algoritmos como por ejemplo la automatización de los cálculos, esto nos permite una mayor precisión en los resultados obtenidos. Otra ventaja dentro de la actualización fue la migración del software ArcGis al QGIS, siendo este último un software de libre acceso con lo que se permite una mayor difusión de este conjunto de técnicas. Es importante resaltar que esta migración será fundamental en futuras investigaciones con recursos limitados.

El procedimiento de localización de infraestructura verde en términos generales sigue las pautas de Liqueste et al. (2015). Además, autores como Madrigal-Martínez y Miralles i García (2020) recomiendan la variación de la escala de observación en las investigaciones, esto con el fin de observar posibles variaciones en los resultados obtenidos. Las comparaciones entre la escala de microcuencas y distrital nos permiten una mejor visualización, como lo aplicado por Madrigal-

¹⁰ Grupo de Investigación Aliados con El Planeta y su semillero - Universidad de Antioquia

Martinez et al. (2022). Se destaca que las técnicas usadas en la investigación permiten cuantificar la I.V a distintas escalas.

Es importante recalcar que se ha realizado una investigación a través de procesamientos, indicados por los distintos autores antes mencionados, en los cuales no fue necesario una fase de campo por la información disponible como lo realizado por Madrigal-Martinez et al. (2022). No obstante, se presentan algunas fotos referenciales del río Quiroz en anexos.

Otro aspecto a resaltar es el uso de la base de datos PISCO, la cual posee un rango de información desde 1981 al 2016 (Aybar et al., 2017). Este periodo es adecuado por ser concordante con el periodo de información de inicio en la elaboración de la Z.E.E. de Piura, alrededor del año 2012. No se consideró unir las bases de datos PISCO de los periodos 1981-2016 con la versión posterior, debido a que para la realización de dicho procedimiento requiere de una metodología especial y ser validada, la cual no es materia de análisis en el presente estudio. En adición a lo anterior, el periodo de información recopilado por la versión posterior de PISCO utilizada, no se encuentra inmerso en la información utilizada por la Z.E.E. a diferencia de la versión utilizada. Esto implica que el análisis realizado en la investigación es concordante con la información recopilada de las diversas fuentes consultadas. En adición a lo anterior, a diferencia de Fu et al. (2013) se utilizó las coordenadas de las estaciones meteorológicas del SENAMHI y su aplicación en el paquete PISCO, esto se debe a la escasez de información histórica. Utilizando los puntos de las estaciones se ha tratado de disminuir la incertidumbre en la interpolación, esto se justifica por lo que el paquete PISCO se encuentra calibrado en base a data histórica real (Aybar et al., 2017).

Otro punto a resaltar en lo que respecta a la importancia bioecológica, es lo descrito por la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente (2012), concluyendo que los mayores niveles de valoración son el Páramo, Matorral Húmedo, Bosque seco y matorral seco. Esto concuerda con lo estimado en la localización de la Infraestructura Verde, según lo mostrado en resultados. No obstante, la escala desarrollada es nivel regional, por lo que esta variable podría ser mejorada en base a técnicas que permitan identificar puntos de concentración referidas a la diversidad de especies. Sin embargo, para la presente investigación se considera pertinente esta escala, al ser el área de estudio a nivel de subcuenca.

Se debe precisar que la localización de infraestructura verde tiene su dependencia en los servicios ecosistémicos analizados, como lo estimado por Lique et al. (2015). En este caso, la investigación se ha direccionado por los servicios ecosistémicos relacionados a los recursos hídricos. Esto se debe a la importancia que tiene este tema para el valle de San Lorenzo siendo tratado por el Fondo del Agua Quiroz Chira¹¹, por lo que en futuras investigaciones podría realizarse un análisis de sensibilidad geográfica como lo aplicado por Madrigal-Martínez y Puga-Calderón (2018), el análisis mencionado permitiría aportar en la disminución de incertidumbre para la toma de decisiones.

El rol que cumple la infraestructura verde subsidiaria en la subcuenca Quiroz es considerable, debido a que se estimó en el 57.49 por ciento. Como se detalló anteriormente, dicha categoría provee de servicios ecosistémicos por encima del promedio, pero no de una forma óptima. No obstante, la gran extensión que poseen las zonas de I.V. subsidiarias permite notar que el aporte de servicios ecosistémicos sea considerable, concordando con lo expresado por Kometter (2013) en relación a la comparación del aporte en los servicios ambientales hídricos del área de estudio y la cuenca binacional Catamayo Chira.

Es importante señalar que la I.V. también puede fomentar el reconocimiento de las prácticas tradicionales, tanto para las comunidades indígenas como los paisajes, en lo relacionado a la planificación territorial (Tomateo, 2021). A su vez, los saberes ecológicos tradicionales (TEK por sus siglas en inglés) fomentan la interrelación de lo material vivo y no vivo, por lo que, al identificarse profundamente el ser humano con estas conexiones, mayor será la comprensión del medio ambiente (Marques et al., 2023). Esta identificación de los lugareños con el medio en el que viven, permite la localización de servicios ecosistémicos a través de talleres y plasmado en técnicas SIG, como lo realizado por Madrigal-Martínez et al., (2023) para servicios ecosistémicos de provisión en una unidad hidrográfica del Perú. De lo mencionado, se puede apreciar que las prácticas tradicionales o los saberes ecológicos tradicionales poseen una relación con la I.V., siendo esto un componente social que puede ayudar a su conservación.

Es preciso señalar que la subcuenca del río Quiroz no cuenta con áreas naturales protegidas, siendo la más próxima el Santuario Nacional de Tabaconas – Namballe. Esto implica la necesidad de concentrar los esfuerzos por localización para la conservación y restauración de

¹¹ Portada - FONDO DEL AGUA QUIROZ CHIRA

I.V. Además, la Infraestructura Verde puede ser un medio para el desarrollo practicas paisajitas tradicionales (Tomateo, 2021), en base a la identificación de servicios ecosistémicos por parte de los lugareños, como lo aplicado en el país por Madrigal-Martínez et al. (2023). El análisis realizado por la G.R.R.N.G.M.A (2012) resalta que las aves constituyen el grupo taxonómico de mayor endemismo y vulnerabilidad. Por la aplicación de la infraestructura verde basada en criterios técnicos es un aporte que podrá ayudar a su preservación.

Finalmente se debe mencionar que nuestro país se encuentra dentro del grupo de países latinoamericanos que ha ratificado la Convención sobre la Diversidad Biológica, por lo que este grupo de países ha fijado como nueva meta, denominada “iniciativa 30 x30”, la cual consiste en conservar el 30% de la superficie marítima y terrestre con un horizonte al 2030 (MINAM, 2022). Autores como (Barborak, 2021) mencionan para el bienestar de América Latina es importar realizar una efectiva gestión de las áreas naturales protegidas, con el fin de alcanzar la iniciativa 30 x 30, tanto en las ANP¹² existente como futuras. Incorporando la meta 30 x 30 en el área de estudio, se puede apreciar que la subcuenca Quiroz al poseer ANP puede focalizar los esfuerzos en conservación en las zonas clasificadas como I.V. No obstante, si consideramos solo las áreas de I.V. fundamental, no se alcanzaría la meta del 30% del territorio. Es por esta razón que la I.V. subsidiaria (57.49 por ciento) al tener el potencial de ser restaurada, puede cambiar determinadas zonas a la categoría a I.V. fundamental. Este es el fundamento, por el cual la I.V. subsidiaria es de suma importancia para lograr el objetivo de la iniciativa 30 x 30. En adición a lo anterior, este tipo de análisis de localización de I.V. complementa y enriquece el análisis de futuras áreas naturales protegidas, debido a que no todas las áreas con cobertura vegetal cumplen con dicha clasificación (Liquete et al., 2015).

¹² ANP: Áreas naturales protegidas

V. CONCLUSIONES

La investigación logro desarrollar los objetivos planteados, determinando que la subcuenca del río Quiroz posee 100.62 km² (3.21 por ciento) de áreas consideradas Infraestructura Verde fundamental, localizados mayormente en la parte baja de la subcuenca y en el distrito de Suyo (3911.87 ha). Además, permitió la cuantificación de los servicios ecosistémicos analizados, mitigación de inundaciones y control de la erosión, cumpliendo con los objetivos específicos planteados.

La tesis demuestra que la presencia de mayor cobertura vegetal, menor pendiente, elevada precipitación, textura del suelo media sumado a un estado de conservación adecuado por parte de la población se obtienen áreas de Infraestructura Verde fundamental. La I.V. subsidiaria está ampliamente localizada en el área de estudio. Esto demuestra que existen variables que pueden ser optimas y otras que son desfavorables. Sin embargo, estas áreas proporcionan beneficios importantes para los pobladores locales, es decir mitigar inundaciones y evitar la erosión.

La investigación ha proporcionado un procedimiento para obtener la determinación, localización y cuantificación, de Infraestructura Verde mediante software de uso libre e información de dominio público, lo cual permite su réplica para investigaciones futuras en distintos contextos. A su vez, se han utilizado escalas de observación a nivel distrital e hidrográfico para un mejor análisis de la localización de la Infraestructura Verde.

Esta base técnica puede ser usado en el futuro en los tomadores de decisiones para la gestión adecuada del territorio. Se debe enfatizar que uno los aportes de la investigación realizada, es permitir la orientación de la localización de las acciones a intervenir, de esta forma aumentar la cobertura de los servicios ecosistémicos analizados. Por lo tanto, los hallazgos obtenidos se pueden utilizar para orientar los esfuerzos de conservación y restauración, con el fin evitar la pérdida de hábitats para las especies y preservando la cobertura de los bienes y servicios que brinda la naturaleza a las poblaciones locales.

VI. RECOMENDACIONES

La investigación ha realizado un procedimiento que puede ser replicable en distintos lugares del país, para la estimación de la localización de la Infraestructura Verde. Es por ello que se recomienda su aplicación en otros ámbitos. A su vez, este procedimiento está basado en información principalmente proporcionada por la Z.E.E. de Piura, es recomendable una actualización de las coberturas vegetales a través del análisis de imágenes satelitales, esto podría enriquecer investigaciones futuras en relación a la Infraestructura Verde. De esta forma se permitiría la realización de análisis espaciotemporales en esta temática, en los cuales se pueda visualizar como varían los servicios ecosistémicos y su valoración económica en el territorio, de forma similar a lo realizado por Madrigal-Martinez et al. (2022). Otro aspecto que podría enriquecer futuras investigaciones es la realización de un análisis de sensibilidad en el territorio de estudio, como lo efectuado por Madrigal-Martínez and Puga-Calderón (2018) aplicado a un análisis de sensibilidad geográfico de servicios ecosistémicos.

Es importante señalar que la temática de investigación en Infraestructura Verde es muy amplia, es por ello que se sugiere un mayor énfasis en la promoción de estudios en el país, dado que Perú posee una gran variedad de ecosistemas que brindan distintos beneficios a las localidades cercanas o inmersas. Además, adquiere suma importancia la identificación de focos de concentración de servicios ecosistémicos en el manejo del territorio (Hauck et al., 2013). En adición a lo anterior esta localización guía la priorización de áreas de conservación (Y. Li et al., 2017). Es importante señalar que actualmente el protocolo ECOSER posee nueve procedimientos para la estimación de servicios ecosistémicos (Barral, 2016a), siendo una fuente de información aplicable para futuras investigaciones en distintos contextos.

La realización de futuras investigaciones, en el ámbito de las ciencias ambientales, en el departamento de Piura es factible debido a la gran cantidad de información que posee la Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente, al haber realizado con éxito los estudios correspondientes a la Zonificación Económica y Ecológica.

Se recomienda que las autoridades vinculadas en la toma de decisiones en favor del medio ambiente, apliquen la metodología de análisis planteada en la estimación de la Infraestructura Verde. Con ello se lograría dar una información más certera acerca de los problemas que poseen los actores del territorio y sus conflictos de uso, propiciando una gestión adecuada de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del territorio.

Finalmente, se recomienda una vez identificadas las áreas de Infraestructura Verde, promover estrategias de conservación y restauración a través del conocimiento ancestral (Tomateo, 2021), considerando a los lugareños actores claves en la dinámica territorial.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albán, L. (2017). El Fondo del Agua Quiroz-Chira: Un mecanismo de gestión para los ecosistemas de montaña de Piura, Perú.
- Alva, A. A. A. (2019). Dinámica, transformación y situación actual de los humedales costeros: caso de estudio de los municipios de Chibote y Nuevo Chimbote, Perú = Dynamics, transformation and current situation of coastal wetlands. Case study of the municipalities of Chimbote and Nuevo Chimbote, Peru. *Territorios en formación*, 16, 4. <https://doi.org/10.20868/tf.2019.16.4222>.
- Andrade, E. M., Guerreiro, M. J. S., Palácio, H. A. Q., & Campos, D. A. (2020). Ecohydrology in a Brazilian tropical dry forest: thinned vegetation impact on hydrological functions and ecosystem services. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100649. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100649>.
- Andreucci, M. B. (2013). Progressing Green Infrastructure in Europe. 413-422. <https://doi.org/10.2495/SC130351>.
- Arones, A. L., & Nuñez, R. A. (2020). Infraestructura Verde: Un Modelo de Plan Integral para el “Bosque de Protección Alto Mayo”, San Martín. Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura.
- ASF Data Search. (2022). <https://search.asf.alaska.edu/#/>.
- Aybar, C. L., Lavado-Casimiro, W., Huerta, A., Fernández Palomino, C., Vega-Jácome, F., Sabino Rojas, E., & Felipe-Obando, O. (2017). Uso del producto grillado pisco de precipitación en estudios, investigaciones y sistemas operacionales de monitoreo y pronóstico hidrometeorológico. Nota Técnica No 001 SENAMHI-DHI-2017..

- Balvanera, P., & Cotler, H. (2007). Acercamientos al estudio de los servicios ecosistémicos. *Gaceta Ecológica*, 84-85, 8-15.
- Barborak, J. R. (2021). 30 % para 2030: América Latina y la nueva meta global para sus sistemas de áreas protegidas. *Revista de Ciencias Ambientales*, 55(2), 368-378. <https://doi.org/10.15359/rca.55-2.19>.
- Barral, M. P. (2016). Tutorial para el mapeo de funciones ecosistémicas y servicios ecosistémicos. Protocolo ECOSER.
- Bateman, I. J., Jones, A. P., Lovett, A. A., Lake, I. R., & Day, B. H. (2002). Applying Geographical Information Systems (GIS) to Environmental and Resource Economics. *Environmental and Resource Economics*, 22(1/2), 219-269. <https://doi.org/10.1023/A:1015575214292>.
- Bellantuono, L., Monaco, A., Amoroso, N., Aquaro, V., Lombardi, A., Tangaro, S., & Bellotti, R. (2022). Sustainable development goals: conceptualization, communication and achievement synergies in a complex network framework. *Applied Network Science*, 7(1), 14. <https://doi.org/10.1007/s41109-022-00455-1>.
- Bhatta, B., Shrestha, S., Shrestha, P. K., & Talchabhadel, R. (2019). Evaluation and application of a SWAT model to assess the climate change impact on the hydrology of the Himalayan River Basin. *CATENA*, 181, 104082. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104082>.
- Bolton, P., Bradbury, P. A., Lawrence, P., & Atkinson, E. (1995). CALSITE V-3.1-User Manual. HR Wallingford Ltd.
- Campagna, M., Di Cesare, E. A., & Cocco, C. (2020). Integrating Green-Infrastructures Design in Strategic Spatial Planning with Geodesign. *Sustainability*, 12(5), 1820. <https://doi.org/10.3390/su12051820>.
- Cantó, M. (2014). La planificación y gestión de la Infraestructura Verde en la Comunidad Valenciana. *Revista Aragonesa de Administración Pública*, 43, 215-234.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., Narwani, A., Mace, G. M., Tilman, D., Wardle, D. A., Kinzig, A. P., Daily, G. C., Loreau, M.,

- Grace, J. B., Larigauderie, A., Srivastava, D. S., & Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59-67. <https://doi.org/10.1038/nature11148>.
- Chattopadhyay, S., & Jha, M. K. (2016). Hydrological response due to projected climate variability in Haw River watershed, North Carolina, USA. *Hydrological Sciences Journal*, 61(3), 495-506. <https://doi.org/10.1080/02626667.2014.934823>.
- Chávez, L. S. A., & Moreano, R. (2013). Sistema de información para la interpolación de datos de temperatura y precipitación del Ecuador. *Revista Politécnica*, 32.
- China Meteorological Administration. (2003). Specifications for surface meteorological observation.
- Colín-García, G., Ibáñez-Castillo, L. A., Reyes-Sánchez, J., & Arteaga-Ramírez, R. (2013). Diagnóstico de la erosión hídrica de la cuenca del río pichucalco. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(1), 23-31. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2013.04.002>.
- Costanza, R. (2000). Social Goals and the Valuation of Ecosystem Services. *Ecosystems*, 3(1), 4-10.
- Crespo, A. (2013). La Historia geográficamente integrada y los Sistemas de Información Geográfica (SIG): concepto y retos metodológicos. *Tiempos Modernos: Revista Electrónica de Historia Moderna*, 7(26).
- Daily, G. C. (1997). Introduction: what are ecosystem services. En *Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems* (1.a ed., Vol. 1). Island Press.
- De Groot, R., Brander, L., Solomonides, S., McVittie, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., Sinclair, M., Ingabire Data review, D., Braat, L., Chen, W., Dijkstra, H., Geneletti, D., Hagedoorn, L., Hernandez, M., Kuik, O., Oleson, K., Rehdanz, K., ... Jihan Zinia, N. (2020). Ecosystem Services Valuation Database (ESVD) Update of global ecosystem service valuation data.

- De Groot, R., Brander, L., Solomonides, S., McVittie, A., Eppink, F., Sposato, M., Do, L., Ghermandi, A., Sinclair, M., Ingabire Data review, D., Braat, L., Chen, W., Dijkstra, H., Geneletti, D., Hagedoorn, L., Hernandez, M., Kuik, O., Oleson, K., Rehdanz, K., ... Jihan Zinia, N. (2020). Ecosystem Services Valuation Database (ESVD) Update of global ecosystem service valuation data.
- FAO. (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. FAO.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos.
- Ferrer, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del número de curva con sistemas de información geográfica. *Ingeniería del agua*, 2(4). <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2686>.
- Flores-López, F., Galaiti, S., Escobar, M., & Purkey, D. (2016). Modeling of Andean Páramo Ecosystems' Hydrological Response to Environmental Change. *Water*, 8(3), 94. <https://doi.org/10.3390/w8030094>.
- Fondo del Agua Quiroz Chira. (2024). Portada - Fondo del agua quiroz chira. <https://faqch.com/>
- Fu, B., Wang, Y. K., Xu, P., & Yan, K. (2013a). Mapping the flood mitigation services of ecosystems – A case study in the Upper Yangtze River Basin. *Ecological Engineering*, 52, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.11.008>.
- Fu, B., Wang, Y. K., Xu, P., & Yan, K. (2013b). Mapping the flood mitigation services of ecosystems – A case study in the Upper Yangtze River Basin. *Ecological Engineering*, 52, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.11.008>.
- Gaspari, F. J., Senisterra, G. E., Delgado, M. I., Rodríguez Vagaría, A., & Besteiro, S. (2009). Manual de manejo integral de cuencas hidrográficas.
- Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente. (2012). Zonificación Económica Ecológica de la Región Piura.

- Guerrero, O. A., & Castañeda, G. (2020). Policy Priority Inference: A Computational Method for the Analysis of Sustainable Development. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3604041>.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. B. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure.
- Hauck, J., Görg, C., Varjopuro, R., Ratamáki, O., Maes, J., Wittmer, H., & Jax, K. (2013). “Maps have an air of authority”: Potential benefits and challenges of ecosystem service maps at different levels of decision making. *Ecosystem Services*, 4, 25-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.11.003>.
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (2011). Valores del no de curva (cálculo de la escorrentía). *Universitat Politècnica de València*.
- Jongman, B., Ward, P. J., & Aerts, J. C. J. H. (2012). Global exposure to river and coastal flooding: Long term trends and changes. *Global Environmental Change*, 22(4), 823-835. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2012.07.004>
- Kometter, R. (2013). Fondo ambiental para la gestión participativa de la cuenca alta del Río Quiroz en Piura.
- Lafortezza, R., Davies, C., Sanesi, G., & Konijnendijk, C. (2013). Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 6(3), 102-108. <https://doi.org/10.3832/ifor0723-006>.
- Laterra, P., Barral, P., Carmona, A., & Nahuelhual, L. (2015). Protocolo colaborativo de evaluación y mapeo de servicios ecosistémicos y vulnerabilidad socio-ecológica para el ordenamiento territorial (INTA, Vol. 6).
- Le Maitre, D. C., Kotzee, I. M., & O'Farrell, P. J. (2014). Impacts of land-cover change on the water flow regulation ecosystem service: Invasive alien plants, fire and their policy implications. *Land Use Policy*, 36, 171-181. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.07.007>.

- Li, X., & Yeh, A. G.-O. (2004). Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 69(4), 335-354. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.10.033>.
- Li, Y., Zhang, L., Yan, J., Wang, P., Hu, N., Cheng, W., & Fu, B. (2017). Mapping the hotspots and coldspots of ecosystem services in conservation priority setting. *Journal of Geographical Sciences*, 27(6), 681-696. <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1400-x>.
- Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015a). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science and Policy*, 54, 268-280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>.
- Liquete, C., Kleeschulte, S., Dige, G., Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., & Zulian, G. (2015b). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environmental Science and Policy*, 54, 268-280. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.07.009>.
- López Alonso, R. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del soil conservation service montes montes montes ciencia y técnica ciencia y técnica montes montes. *Montes: revista de ámbito forestal*, 66, 92-97.
- Lu, D., Li, G., Valladares, G. S., & Batistella, M. (2004). Mapping soil erosion risk in Rondônia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*, 15(5), 499-512. <https://doi.org/10.1002/ldr.634>.
- Madrigal-Martínez, S., & Miralles i García, J. L. (2020). Assessment Method and Scale of Observation Influence Ecosystem Service Bundles. *Land*, 9(10), 392. <https://doi.org/10.3390/land9100392>.
- Madrigal-Martinez, S., Puga-Calderon, R., Bustínza Urviola, V., & Vilca Gomez, O. (2022). Spatiotemporal changes in land use and ecosystem service values under the influence of glacier retreat in a high-Andean environment. *Frontiers in Environmental Science*.

- Madrigal-Martínez, S., & Puga-Calderón, R. J. (2018a). Land suitability and sensitivity analysis for planning apple growing in Mala's Valley, Peru. *Bioagro*, 30(2), 95-106.
- Madrigal-Martínez, S., & Puga-Calderón, R. J. (2018b). Land suitability and sensitivity analysis for planning apple growing in Mala's Valley, Peru. *Bioagro*, 30(2), 95-106.
- Madrigal-Martínez, S., Puga-Calderón, R. J., Castromonte-Miranda, J., & Cáceres, V. A. (2023). Mapping the benefits and the exchange values of provisioning ecosystem services using GIS and local ecological knowledge in a high-Andean community. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 30, 100971. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100971>.
- Maes, J., Paracchini, M. L., & Zulian, G. (2011a). A European assessment of the provision of ecosystem services Towards an atlas of ecosystem services BESAFE-Biodiversity and Ecosystem Services: Arguments for our Future Environment View project ESMERALDA-Enhancing ecosystem services mapping for policy and decision making View project. <https://www.researchgate.net/publication/234127058>.
- Maes, J., Paracchini, M. L., & Zulian, G. (2011b). A European assessment of the provision of ecosystem services Towards an atlas of ecosystem services BESAFE-Biodiversity and Ecosystem Services: Arguments for our Future Environment View project ESMERALDA-Enhancing ecosystem services mapping for policy and decision making View project.
- Marques, B., McIntosh, J., & Hall, C. (2023). Cross-cultural Rongoā healing: a landscape response to urban health. *Landscape Research*, 48(8), 1091-1107. <https://doi.org/10.1080/01426397.2023.2230909>.
- Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311886.2019.1653531>.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2003). *Ecosystems and human well-being : a framework for assessment*. Island Press.

- MINAM. (2019). Conociendo la Zonificación Ecológica y Económica.
- MINAM. (2022). COP15: aportes del Perú en las negociaciones para compromisos globales y ante los riesgos a la biodiversidad del planeta - Noticias - Ministerio del Ambiente – Plataforma del Estado Peruano. MINAM. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/684049-cop15-aportes-del-peru-en-las-negociaciones-para-compromisos-globales-y-ante-los-riesgos-a-la-biodiversidad-del-planeta>.
- Ministerio del Ambiente. (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva. Ministerio del Ambiente - Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural.
- Monteiro, R., Ferreira, J., & Antunes, P. (2020). Green Infrastructure Planning Principles: An Integrated Literature Review. *Land*, 9(12), 525. <https://doi.org/10.3390/land9120525>.
- Morgan, R. P. C., Quinton, J. N., & Rickson, R. J. (1994). Modelling Methodology for Soil Erosion Assessment and Soil Conservation Design: The EUROSEM Approach. *Outlook on Agriculture*, 23(1), 5-9. <https://doi.org/10.1177/003072709402300103>.
- Mubareka, S., Estreguil, C., Baranzelli, C., Gomes, C. R., Lavallo, C., & Hofer, B. (2013). A land-use-based modelling chain to assess the impacts of Natural Water Retention Measures on Europe's Green Infrastructure. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(9), 1740-1763. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.782408>.
- Nuttle, W. K. (2002). Is ecohydrology one idea or many? *Hydrological Sciences Journal*, 47(5), 805-807. <https://doi.org/10.1080/02626660209492983>.
- Olds, A. D., Pitt, K. A., Maxwell, P. S., & Connolly, R. M. (2012). Synergistic effects of reserves and connectivity on ecological resilience. *Journal of Applied Ecology*, 49(6), 1195-1203. <https://doi.org/10.1111/jpe.12002>.
- Pinos, J., & Quesada-Román, A. (2021). Flood Risk-Related Research Trends in Latin America and the Caribbean. *Water*, 14(1), 10. <https://doi.org/10.3390/w14010010>.

- Quintero, M., & Pareja, P. (2015a). Estado de Avance y Cuellos de Botella de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos en Perú.
- Quintero, M., & Pareja, P. (2015b). Estado de Avance y Cuellos de Botella de los Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hidrológicos en Perú.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., & Porter, J. I. ? (1991). RUSLE Revised universal soil loss equation.
- Rey Benayas, J. M., Newton, A. C., Diaz, A., & Bullock, J. M. (2009). Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. *Science*, 325(5944), 1121-1124. <https://doi.org/10.1126/science.1172460>.
- Röder, J., García, R. V., & Villaseñor, P. Z. (2006). Aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo “usle” en sig para estimar riesgo potencial de erosión en el área protegida “sierra de quila”. XVII Semana de la Investigación Científica, 156-162.
- Ruskule, A., Vinogradovs, I., & Pecina, M. V. (2018). The Guidebook on “The Introduction to the Ecosystem Service Framework and Its Application in Integrated Planning”.
- Sabino, E., Felipe, O., & Lavado, W. (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI.
- Sabogal, D., Carlos, G., & Willems, B. (2018). El nexo agua-energía-alimentos en paisajes urbano-Amazónicos: un estudio de caso de Tarapoto y la microcuenca del río Cumbaza, Perú. *Medio Ambiente y Urbanización*, 88(1), 123-148.
- Sandoval, V., & Sarmiento, J. P. (2020). A neglected issue: informal settlements, urban development, and disaster risk reduction in Latin America and the Caribbean. *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 29(5), 731-745. <https://doi.org/10.1108/DPM-04-2020-0115>.

- Silva, J. M. C. da, & Wheeler, E. (2017). Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(1), 32-35. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.005>.
- Simberloff, D., & Dayan, T. (1991). The Guild Concept and the Structure of Ecological Communities. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 22(1), 115-143. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.22.110191.000555>.
- Slätmo, E., Nilsson, K., & Turunen, E. (2019). Implementing Green Infrastructure in Spatial Planning in Europe. *Land*, 8(4), 62. <https://doi.org/10.3390/land8040062>.
- Steinhoff-Knopp, B., Kuhn, T. K., & Burkhard, B. (2021). The impact of soil erosion on soil-related ecosystem services: development and testing a scenario-based assessment approach. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(S1), 274. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08814-0>.
- Témez, J. R. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales de Avenidas en pequeñas cuencas naturales. *Ingeniería civil y medio ambiente*.
- Termorshuizen, J. W., Opdam, P., & van den Brink, A. (2007). Incorporating ecological sustainability into landscape planning. *Landscape and Urban Planning*, 79(3-4), 374-384. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.04.005>.
- Costanza, R., D'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & Van Den Belt, M. (1997). The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature* 1997 387:6630, 387(6630), 253-260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>.
- Tomateo, C. (2021). Indigenous land systems and emerging of Green Infrastructure planning in the Peruvian coastal desert: tensions and opportunities. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 23(5), 683-700. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2021.1960806>.
- Tostes, M., Espejo, M., Macedo, E., & Torres, F. (2020). Water Resources Management in Vulnerable Ecosystems: Quiroz River Basin, Piura. *European Journal of Sustainable Development*, 9(4), 33. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2020.v9n4p33>.

- UNESCO. (2021). Soluciones de sistema ecohidrológico e ingeniería ecológica para el mejoramiento de la resiliencia hidrológica y ecosistémica y de los servicios ecosistémicos. <https://es.unesco.org/themes/garantizar-suministroagua/hidrologia/ecohidrologia/resiliencia>.
- United Nations. (2015). Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.
- Valdés, P., & Foulkes, M. D. (2016). La infraestructura verde y su papel en el desarrollo regional aplicación a los ejes recreativos y culturales de resistencia y su área metropolitana. *Cuaderno urbano*, 20(20), 045-070.
- Verheijen, F. G. A., Jones, R. J. A., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94(1-4), 23-38. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2009.02.003>.
- Wang, W., Flanagan, D. C., Yin, S., & Yu, B. (2018). Assessment of CLIGEN precipitation and storm pattern generation in China. *CATENA*, 169, 96-106. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.05.024>.
- Webb, B. W., & Walling, D. E. (1996). Chemical characteristic. En G. Petts & P. Calow (Eds.), *River Flows and Channel Forms* (Vol. 2, pp. 102-129). Blackwell Sci.
- Wilcox, B. P., Le Maitre, D., Jobbagy, E., Wang, L., & Breshears, D. D. (2017). Ecohydrology: Processes and Implications for Rangelands (pp. 85-129). https://doi.org/10.1007/978-3-319-46709-2_3.
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (537.a ed.). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- Woodward, G., Ebenman, B., Emmerson, M., Montoya, J., Olesen, J., Valido, A., & Warren, P. (2005). Body size in ecological networks. *Trends in Ecology & Evolution*, 20(7), 402-409. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.04.005>.

- Xie, G., Zhang, C., Zhen, L., & Zhang, L. (2017). Dynamic changes in the value of China's ecosystem services. *Ecosystem Services*, 26, 146-154. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.010>.
- Xu, Z., Zhang, Z., & Li, C. (2019). Exploring urban green spaces in China: Spatial patterns, driving factors and policy implications. *Land Use Policy*, 89, 104249. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104249>.
- Yang, Y., Nan, Y., Liu, Z., Zhang, D., & Sun, Y. (2020). Direct and indirect losses of natural habitat caused by future urban expansion in the transnational area of Changbai Mountain. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102487. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102487>.
- Zhang, R., Zhang, L., Zhong, Q., Zhang, Q., Ji, Y., Song, P., & Wang, Q. (2021). An optimized evaluation method of an urban ecological network: The case of the Minhang District of Shanghai. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62, 127158. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127158>.
- Zhang, Y., You, Q., Chen, C., & Ge, J. (2016). Impacts of climate change on streamflows under RCP scenarios: A case study in Xin River Basin, China. *Atmospheric Research*, 178-179, 521-534. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2016.04.018>.
- Zúñiga, J. E. (2017). Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca-Arequipa aplicando USLE y técnicas geoespaciales. UNALM.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN EN LENGUAJE R PARA LA DESCARGA DE LA BASE DE DATOS PISCO

```
dev.off()

rm(list=ls())

cat("\f")

## Leer puntos de estaciones de datos PISCO de prec a partir de
# puntos de estaciones que estan almacenados en un archivo *.csv
# Autores: Adrian Huerta & Waldo Lavado

setwd("C:/EXTRACCION")# Esta es la ruta de la carpeta donde esta Pisco
# y deben estar el archivo *.csv con los puntos a extraer
# ojo que es / no \

# Descargar datos PISCO de: http://www.senamhi.gob.pe/?p=observacion-de-inundaciones
# En la parte inferior ir a la carpeta Datos SONICS (DESCARGAS)
# bajar de preferencia los datos de la carpeta PISCO_v2.0
#ftp://ftp.senamhi.gob.pe/PISCO_v2.0/ ## PISCO_Pd_v2.0 son diarios y
# PISCO_Pm_v2.0 son mensuales
# Este ejemplo es para los datos mensuales PISCOpm.nc

rm(list = ls())
```

```

#install.packages("raster")#Instalar el paquete comentar # si ya esta instalado

#install.packages("ncdf4")#Instalar el paquete comentar # si ya esta instalado

library(raster)#cargar el paquete

library(ncdf4)#cargar el paquete

## Leer el archivo long_lat.csv (ver el archivo ejemplo)

## para agregar solo dismunya o incremente las coordenadas de las filas

## XX Longitud e YY Latitud

long_lat <- read.csv("long_lat.csv", header = T)

### Ensamblamos los datos *.nc

raster_pp <- raster::brick("PISCOpd.nc")

## Asignamos las coordenadas

sp::coordinates(long_lat) <- ~XX+YY

# Igualamos las proyecciones del raster y de los puntos a extraer

raster::projection(long_lat) <- raster::projection(raster_pp)

# Extraemos los valores

points_long_lat <- raster::extract(raster_pp[[1]], long_lat, cellnumbers = T)[,1]

data_long_lat <- t(raster_pp[points_long_lat])

colnames(data_long_lat) <- as.character(long_lat$NN)

# Guardamos los datos como "data_long_lat.csv" Ud puede cambiar el nombre

# Las filas son los datos mensuales en este caso y las columnas son los puntos seleccionados

# Ojo que el orden está de acuerdo al archivo long_lat.csv, de la columna NN

write.csv(data_long_lat, "data_long_lat.csv", quote =

```

ANEXO 2: INFORMACIÓN PROCESADA EN HYDRACCESS

La información procesada en Hydraccess es la siguiente:

- Estaciones
- Vector
- Gráfico de índices
- Gráfico de acumuladas
- Acumuladas

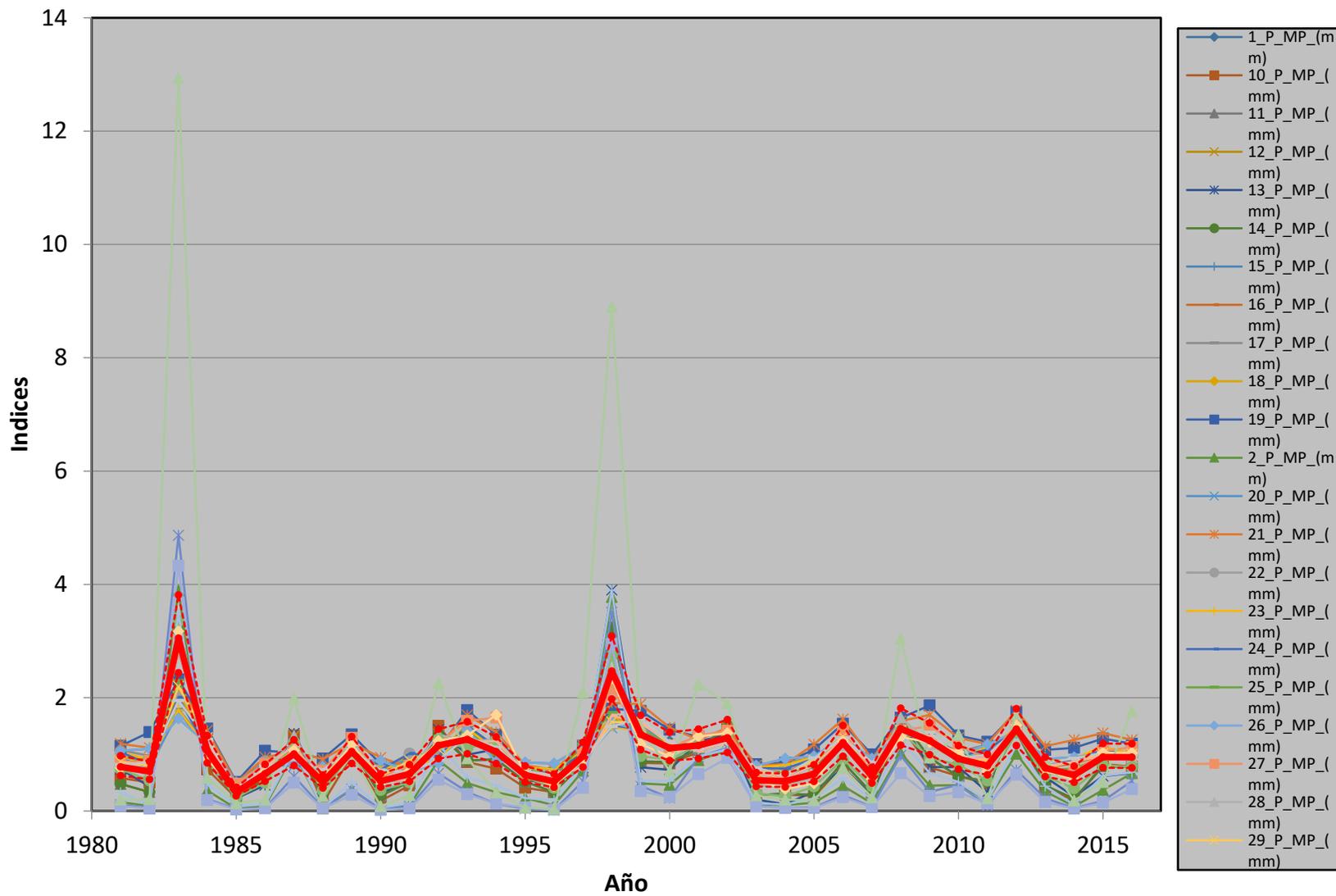
Análisis de estaciones

Id Estación	No Años	D.E. Obs.	Coef. Variación	Media Obs.	Media Calculada	Media Desvíos	D.E. Desvíos	Homogeneidad B.M.	Correl. /Vector	Lin. a priori	Lin. a post.	Proporcionalidad	Calidad(/10)	Evaluación(/10)
1_P_MP_(mm)	36	415.3	0.439	946.9	931	0.017	0.173	0.467	0.95	0.27	0.18	0.0897	8.9	8.2
10_P_MP_(mm)	36	698.8	0.85	821.6	976.4	-0.158	0.31	0.356	0.95	0.85	0.55	0.2804	3.1	3.1
11_P_MP_(mm)	36	699.1	0.813	859.6	1004.7	-0.144	0.276	0.335	0.96	0.78	0.46	0.2338	4.4	4.4
12_P_MP_(mm)	36	453.8	0.539	842.7	830.9	0.014	0.109	0.113	0.98	0.43	0.17	0.0872	8.9	8.9
13_P_MP_(mm)	36	484.9	0.859	564.3	640.3	-0.119	0.359	0.226	0.917	0.86	0.59	0.2975	2.7	2.7
14_P_MP_(mm)	36	699.1	0.813	859.6	1004.7	-0.144	0.276	0.335	0.96	0.78	0.46	0.2338	4.4	4.4
15_P_MP_(mm)	36	235	0.242	971.1	923.2	0.052	0.351	0.721	0.819	0.22	0.41	0.2045	5.3	5.3
16_P_MP_(mm)	36	358	0.324	1104.5	1080.9	0.022	0.257	0.812	0.919	0.15	0.24	0.1211	8	8
17_P_MP_(mm)	36	216.7	0.259	837.8	783.7	0.069	0.318	0.822	0.878	0.17	0.36	0.1836	6	6
18_P_MP_(mm)	36	299.7	0.313	957.1	914.7	0.046	0.258	0.833	0.926	0.15	0.28	0.1438	7.3	7.3
19_P_MP_(mm)	36	121	0.311	389.4	311.3	0.251	0.374	0.26	0.856	0.16	0.32	0.1522	7.1	7.1
2_P_MP_(mm)	36	774.3	1.459	530.6	899.9	-0.41	0.579	0.739	0.932	1.35	1.14	0.5687	0.1	0.1
20_P_MP_(mm)	36	384.2	0.292	1316.7	1307.5	0.007	0.309	0.72	0.863	0.16	0.32	0.1613	6.8	6.8
21_P_MP_(mm)	36	120.5	0.302	399.1	318.5	0.253	0.371	0.322	0.868	0.16	0.33	0.1361	7.6	7.6
22_P_MP_(mm)	36	314	0.296	1059.9	1017	0.042	0.285	0.696	0.898	0.15	0.31	0.156	6.9	6.9
23_P_MP_(mm)	36	266.4	0.266	1001.9	961	0.043	0.317	0.636	0.871	0.15	0.35	0.1791	6.2	6.2
24_P_MP_(mm)	36	314	0.296	1059.9	1017	0.042	0.285	0.696	0.898	0.15	0.31	0.156	6.9	6.9
25_P_MP_(mm)	36	310.8	0.366	849.6	836.6	0.015	0.201	0.955	0.958	0.21	0.16	0.0818	9	9
26_P_MP_(mm)	36	235	0.242	971.1	923.2	0.052	0.351	0.721	0.819	0.22	0.4	0.2045	5.3	5.3
27_P_MP_(mm)	36	255.7	0.46	555.7	504.3	0.102	0.175	0.475	0.962	0.3	0.17	0.0854	9	9
28_P_MP_(mm)	36	453.8	0.539	842.7	830.9	0.014	0.109	0.113	0.98	0.43	0.19	0.0872	8.9	8.9
29_P_MP_(mm)	36	372.3	0.351	1061.3	1039.4	0.021	0.237	0.756	0.926	0.2	0.19	0.0985	8.6	8.6
3_P_MP_(mm)	36	428.1	1.866	229.4	444.2	-0.484	0.704	0.752	0.922	1.7	1.37	0.656	0	0
30_P_MP_(mm)	36	413.2	0.707	584.3	651.5	-0.103	0.19	0.086	0.978	0.58	0.28	0.1398	7.5	7.5
4_P_MP_(mm)	36	791.2	1.251	632.3	956.9	-0.339	0.508	0.812	0.934	1.36	1.12	0.5591	0.1	0.1
5_P_MP_(mm)	36	415.3	0.439	946.9	931	0.017	0.173	0.467	0.95	0.27	0.19	0.0897	8.9	8.9
6_P_MP_(mm)	36	404.6	0.312	1296.3	1268	0.022	0.285	0.682	0.885	0.15	0.26	0.1318	7.7	7.7
7_P_MP_(mm)	36	297	0.556	534.5	530.1	0.008	0.142	0.172	0.967	0.4	0.17	0.0851	9	9
8_P_MP_(mm)	36	672.5	1.946	345.6	803.3	-0.57	0.698	0.61	0.918	1.6	1.31	0.6552	0	0
9_P_MP_(mm)	36	294.9	1.77	166.6	117.3	0.42	2.054	0.841	0.918	1.5	1.23	0.6321	0	0

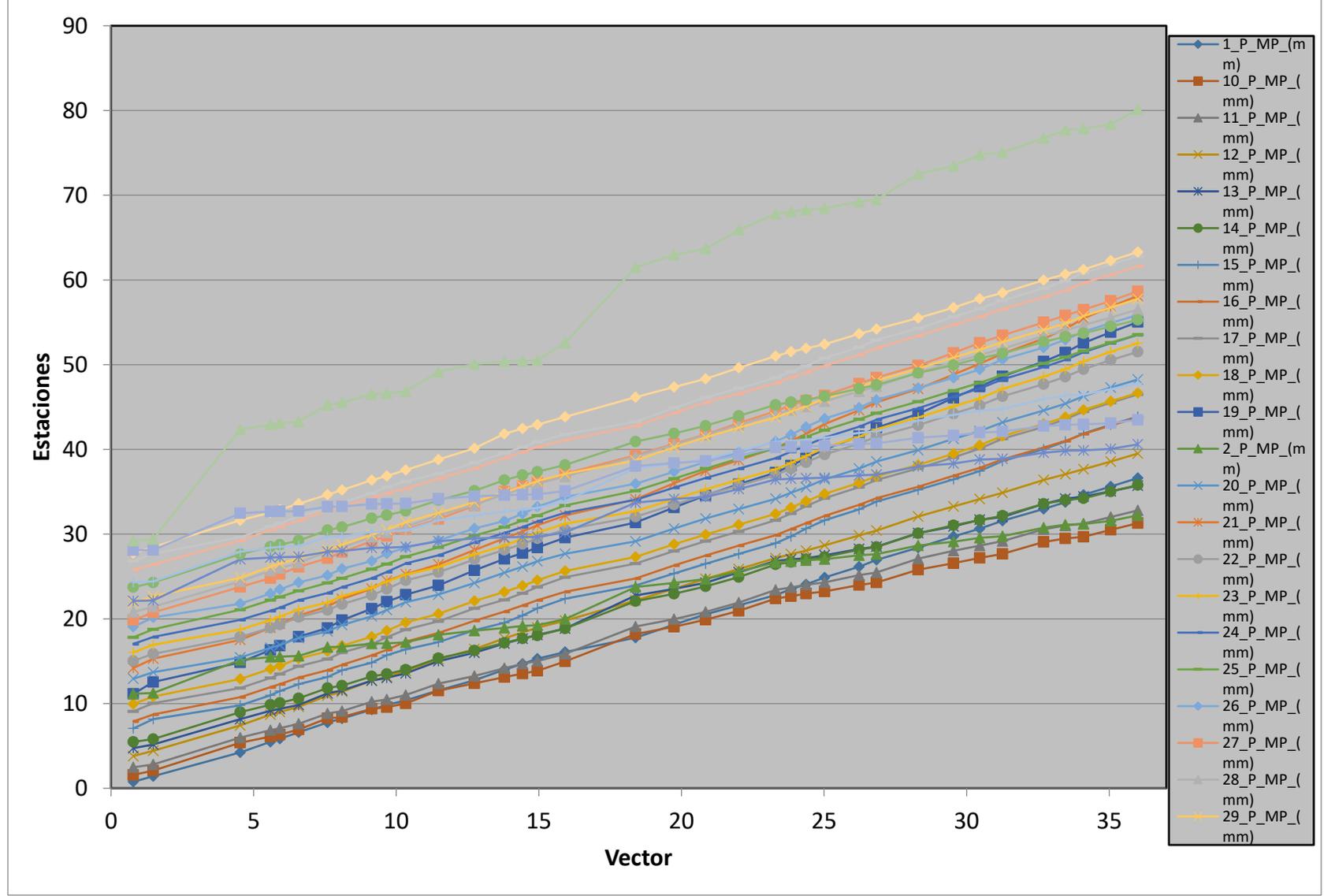
Análisis de vector

Año	Vector	No Estaciones	Suma Vector	Media Desvíos	D.E. Desvíos
1981	0.779	30	-0.221	-0.027	0.312
1982	0.698	30	-0.522	-0.028	0.342
1983	3.051	30	1.529	-0.017	2.005
1984	1.061	30	1.59	-0.059	0.336
1985	0.335	30	0.925	-0.018	0.142
1986	0.658	30	0.582	-0.019	0.278
1987	1.004	30	0.586	0.034	0.274
1988	0.509	30	0.095	-0.004	0.262
1989	1.049	30	0.145	-0.047	0.268
1990	0.527	30	-0.329	-0.013	0.283
1991	0.655	30	-0.674	-0.016	0.279
1992	1.156	30	-0.518	-0.031	0.306
1993	1.262	30	-0.256	-0.068	0.385
1994	1.046	30	-0.21	-0.043	0.389
1995	0.637	30	-0.573	-0.046	0.236
1996	0.521	30	-1.052	-0.017	0.235
1997	0.968	30	-1.085	-0.007	0.282
1998	2.47	30	0.385	0.012	1.44
1999	1.352	30	0.737	-0.105	0.419
2000	1.112	30	0.848	-0.107	0.325
2001	1.157	30	1.006	-0.003	0.239
2002	1.29	30	1.296	0.004	0.169
2003	0.542	30	0.838	0.002	0.256
2004	0.529	30	0.368	-0.015	0.277
2005	0.653	30	0.021	-0.005	0.332
2006	1.206	30	0.226	-0.118	0.369
2007	0.618	30	-0.155	-0.008	0.288
2008	1.451	30	0.296	-0.009	0.362
2009	1.243	30	0.539	-0.107	0.379
2010	0.923	30	0.461	-0.039	0.25
2011	0.798	30	0.259	-0.023	0.36
2012	1.444	30	0.703	-0.052	0.243
2013	0.76	30	0.463	-0.046	0.238
2014	0.635	30	0.097	-0.005	0.354
2015	0.953	30	0.05	-0.066	0.289
2016	0.95	30	0	-0.018	0.239

Indices anuales del Vector y de las Estaciones (Brunet Moret)



Suma de los índices anuales del Vector y de las Estaciones



ANEXO 3: INFORMACIÓN PROCESADA EN HOJA DE CALCULO DE PRECIPITACIÓN Y DIAS DE TORMENTA

Valor de precipitación

AÑO	X1	X2	X5	X6	X7	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X1©	X2©
1981	44	35.3	44	40	25.5	58.9	65.2	46.6	73.6	65.2	51.4	40.6	62.3	42.1	30.9	42.4		46	44.7	46	45.9	51.4		46.6	43.2	49.4		
1982												29.4		38.7		40.6		26.7	37.8	26.7								
1983	39.5	56	40	40	39.8	45.2	53.2	44.3	52.4	53.2	44.3	39.8	36.7	43.2	28.5	40.3	33.6	43.2	41.3	43.2	52.3	44.3	36.9	44.3	44	40.8	38	29.2
1984	35.2	42.2	35	32	26.4	48.8	47.3	40.1	32.3	47.3	45.9	39.9	53.3	39	44.2	40.6		44.7	58.2	44.7	40.2	45.9	35	40.1	35.1	34.2		
1985	25.7		26			42.8	31.4	29.6		31.4	30.5	33		29		28.1			30		25.4	30.5	27.6	29.6	28			
1986	32.5		33	38		64.3	35.8	39.4		35.8		42.8	52.2	44.6		43.8		34.3	36.8	34.3	59.7			39.4	31.6			
1987	41.2	68.9	41	41	30.7	44.7	63.2	47.6	48.1	63.2	64	39.2	35.7	46.1		44.8		39.5	67.2	39.5	38.7	64	31.6	47.6	38.3	33.1		
1988				32		28.9	34.6	33.5		34.6	28.2	31.6	52.5	42.1		40.8		33.2	28.5	33.2		28.2	29.4	33.5	26.3			
1989	40.5	37.7	41	33		56.4	61.2	43.2	50.5	61.2	35	36.8	33.5	38.1	41.3	40		29.5	38.4	29.5	41.1	35	40	43.2	30	40.4		
1990	30.6		31	29			33.5			33.5	28.1	49.2	35.7	31.8		30.5		50.8	43.6	50.8	32.5	28.1			34.4			
1991	31.7	29.3	32	32	26.5	59.7	38.9	29.1	29.5	38.9	37.6	40.9	29	37.2		39.3		37.7	31.5	37.7	45.3	37.6		29.1	40.4	45		
1992	31.6	41.3	32	39	41.2	68	56.6	43.2	37.6	56.6	27.4	38		35		47.1		30.6	35.7	30.6	34.7	27.4	34	43.2	33.4	39.4		
1993	30.7	50.7	31	35		38.4	38.3	40.8	36.8	38.3	37.1	40.5	30.8	34.6	49.4	35.7	29.7	32.3	35.6	32.3	38.8	37.1	30.8	40.8	33.5	31.1		
1994	41.6	36.9	42	40	29.9	60.4	41.6	49.9	46	41.6	38.6	50.6	39.9	32.8	37.4	49.4		49.7	45	49.7	36.4	38.6	35.6	49.9	41.3	42.2		
1995	41.6	60.1	42	32		88.6	57.5	35.4	26.7	57.5	29.7	47.1		43.6		31.2		32.2	57.8	32.2	34.5	29.7	36.8	35.4	29.5	30.4		
1996	34		34	43		50.3	43.4	33.9	88.5	43.4	25.7	31.3	49.5	36.4		40.6		36.9	44.6	36.9	60.2	25.7		33.9	35.5	27.2		
1997	29.5	97.8	30	37		57.3	43.7	37.9	59.3	43.7	33.1	32.1	26.9	39.1	32.9	35.4	30.7	35.4	29.8	35.4	45.3	33.1	32.3	37.9	33.7	54		
1998	34.3	71.7	34	37	33.5	63.6	66.6	42	54.1	66.6	35.3	40.2	43.8	40.6		38.8	30.6	44.7	38.1	44.7	46.5	35.3	30	42	37.6	39.9		
1999	39	51.7	39	46		55.6	50	39.9	39.1	50	56.3	39	57.7	32.8		45.9	33.3	39.6	34.9	39.6	45.8	56.3	29.6	39.9	37.7	28.7		
2000	31.3	34.3	31	34		62	68.4	55.1	41	68.4	49.1	39.4	34.3	41		36.4		35.4	42.2	35.4	67.6	49.1	32.7	55.1	35.4	36.2		
2001	38.1	47.2	38	42	42	60.3	49.1	54.6	50	49.1	84.2	68.7	67.9	61.9	42.8	45.5		55.6	52.6	55.6	57.7	84.2	37.1	54.6	36.5	46.2		
2002	32.2	44.1	32	43	53	56.1	57.6	48.7	55.7	57.6	41.8	54.3	38.2	72.4	38.6	41.2	27.9	34.7	43	34.7	71.9	41.8	46.3	48.7	44.1	39.3	48.4	28.6
2003	35.2	55.9	35	45		32.2	29	37.7	32.7	29	30.7	59.1	39.4	49.9		55.5		35.7	62.1	35.7	49.4	30.7	30.3	37.7	47.6	35		
2004	27.8		28	38			34.1			34.1		31.5	31.6	30.7		39.4		35.5	41.7	35.5	28.1		27.1		26.4			
2005	34.1	65.6	34	41		132	138	58.4	37.5	138.4	58.9	50.8	53.1	46.9	28.7	40.7		43.5	49.7	43.5	63.8	58.9	33.1	58.4	34.1	59.5		
2006	35.5	39.2	36	40	37.1	53.4	67.6	46.8	59	67.6	65.1	42.3	54.3	62.6		37.7	35.1	48.5	57.5	48.5	48.3	65.1	35.6	46.8	33.5	41.9		
2007	38	35.8	38	39	27.5	44.9	72.8	41.5	66.4	72.8	56.2	59.7	38.8	51.6	33.8	49	29.6	53.2	56.9	53.2	60.2	56.2	36.9	41.5	33.5	77.4	43.8	65.5
2008	36.9	68.4	37	39	57.7	64.8	55.8	46.5	47.1	55.8	45.2	43.7	69.4	56.5	38.3	41.6	30	51.5	42.2	51.5	45.8	45.2	62.1	46.5	35.5	38	46.9	63.7
2009	41.4	41.2	41	40	35.2	50.5	59.9	42.4	38.3	59.9	58.5	49.7	39	41.6	31	45	27.4	43.1	46.3	43.1	46.9	58.5	41.7	42.4	36	38.8	43.3	32
2010	43.1	51.1	43	43	34.5	40.9	45.3	56.1	79.2	45.3	44.9	77.2	46.5	51.7	30.2	57.4	29	52.2	37.5	52.2	83.5	44.9	49	56.1	48.5	54.6	35.1	
2011	39.1		39	43		59.8	53.8	36	31	53.8	29.3	42.2	31.4	44.1		45	26.6	40.1	35.1	40.1	37.8	29.3		36	48.5			
2012	34.4	50.8	34	39	40.7	50	54.9	39	53.1	54.9	34.2	46	43.1	40.4	41.4	39	29.2	39.6	36.9	39.6	49.5	34.2	46.5	39	34.1	47.7	38.8	32.6
2013	38.2	122	38	45		50	52.3	53.1	81.5	52.3	39.6	42	26.5	53.9	25.3	37.3		66.1	67.8	66.1	40	39.6	39.7	53.1	29.5	48.2		
2014	31.2		31	40		26.4	28.8	28.8	29.5	28.8	42.9	42	46	39.4	26.4	43.2		36.4	31.6	36.4	36.1	42.9	30.9	28.8	37.2	35.4		
2015	30.6	64.4	31	34	40.2	70.8	57.4	41.2	53	57.4	52.3	60	43.2	39.3	25.5	47.6	30.7	63.1	75.3	63.1	53.1	52.3	31.7	41.2	35.7	32.4	40.9	
2016	38.1	77.2	38	39	34.7	50.4	48.4	49.3	46.3	48.4	52.5	37.9	75.3	31.5	30.9	37.3		45.9	48.8	45.9	40.1	52.5	33.8	49.3	42.7	42.7		
PROM	35.541	54.7	36	39	36.45	55.7	52.4	42.8	49.2	52.45	43.4	44.1	44.3	42.8	34.61	41.5	30.2	41.92	44.6	41.92	47.15	43.44	36	42.8	36.4	41.7		
PROM-H	37.0	51.5	37.0	39.6	41.1	52.9	57.1	45.0	55.7	57.1	47.2	53.8	44.4	49.6	33.4	45.1	29.7	47.6	47.4	47.6	57.9	47.2	43.9	45.0	38.9	46.1	41.9	31.5

Valor de días de tormenta

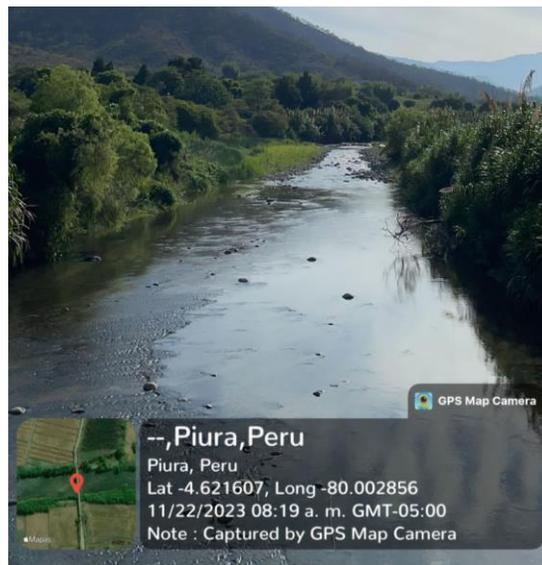
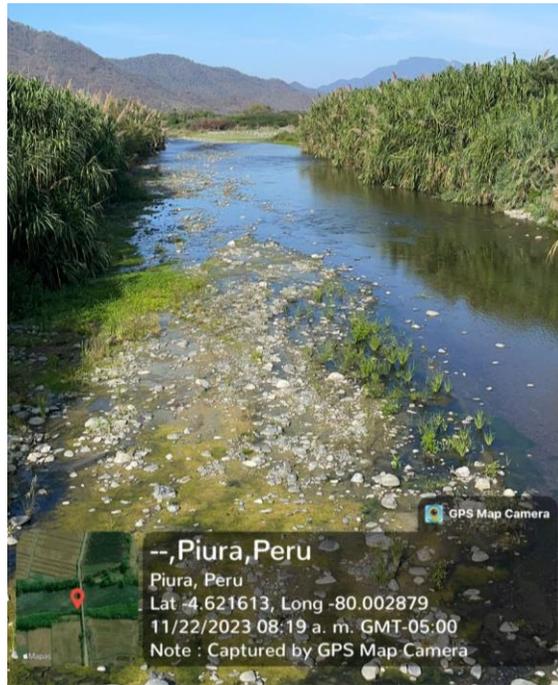
AÑO	X1	X2	X5	X6	X7	X10	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28	X29	X30	X1@	X2@
1983	22	21	22	21	12	27	27	20	13	27	5	18	8	14	2	19	1	16	10	16	9	5	14	20	19	21	19	2
2002	10	7	10	9	2	10	11	6	9	11	4	6	4	3	2	10	1	8	3	8	4	4	2	6	7	9	6	2
2007	4	2	4	9	1	3	2	2	1	2	3	4	3	4	1	7	1	3	4	3	3	3	1	2	5	1	3	1
2008	9	8	9	13	1	15	19	12	13	19	7	12	4	6	2	15	1	6	7	6	9	7	2	12	12	9	8	2
2009	6	6	6	12	5	8	9	8	6	9	7	10	7	11	4	13	1	12	10	12	8	7	7	8	9	7	10	4
2010	5	4	5	9	3	8	5	5	3	5	2	4	3	3	3	6	1	3	4	3	3	2	3	5	6	3	8	
2012	10	14	10	17	5	15	13	11	13	13	8	11	4	9	2	19	2	11	11	11	7	8	5	11	1	2	1	2
2015	9	3	9	16	3	8	9	7	3	9	5	5	5	6	1	10	1	5	5	5	5	5	7	7	8	6	6	
PROM-H	9.4	8.1	9.4	13.3	4.0	11.8	11.9	8.9	7.6	11.9	5.1	8.8	4.8	7.0	2.1	12.4	1.1	8.0	6.8	8.0	6.0	5.1	5.1	8.9	8.4	7.3	7.6	2.2

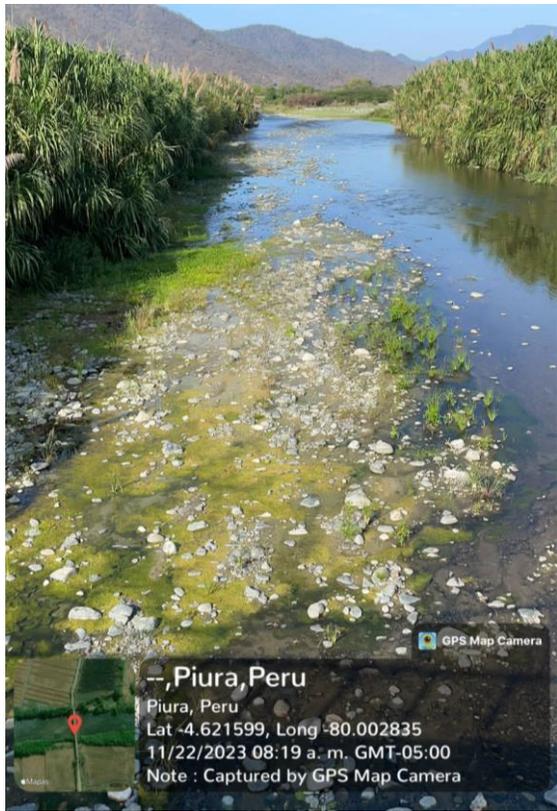
*Las filas resaltadas corresponden a los años en con presencia de tormentas en las estaciones de la cuenca del Chira

ANEXO 4: INFORMACIÓN PROCESADA PARA LA VARIABLE R

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	U.H	R
Paraje Grande	-4.616667	-79.9	555	Cuenca Chira	2533.82851
Ardilla (Solana Baja)	-4.516667	-80.433333	150	Cuenca Chira	2922.95392
Toma De Zamba	-4.666667	-79.9	585	Cuenca Chira	2533.82851
Ayabaca	-4.633333	-79.716667	2700	Cuenca Chira	3138.74265
Lagartera	-4.733333	-79.966667	307	Cuenca Chira	1530.33044
El Ciruelo	-4.3	-80.15	202	Cuenca Chira	5380.36439
La Tina	-4.4	-79.95	427	Cuenca Chira	4831.38506
Pico De Loro	-4.533333	-79.866667	1325	Cuenca Chira	4935.23289
Suyo	-4.533333	-80	250	Cuenca Chira	3095.61606
Puente Internacional	-4.39985	-79.968353	408	Cuenca Chira	4831.38506
Ania Cabuyal	-4.85	-79.483333	2450	Cuenca Chira	1221.49588
Aul (C. Membrillo)	-4.55	-79.7	640	Cuenca Chira	2591.94556
Espindola	-4.633333	-79.5	2300	Cuenca Chira	989.862026
Huara De Veras	-4.583611	-79.566944	1243	Cuenca Chira	1690.99869
Arrendamientos	-4.833333	-79.9	3010	Cuenca Chira	484.126903
Olleros	-4.7	-79.65	1360	Cuenca Chira	3155.63177
Sausal De Culucan	-4.747778	-79.761667	980	Cuenca Chira	492.097241
Tacalpo	-4.65	-79.6	2012	Cuenca Chira	1929.09058
Tapal	-4.766667	-79.55	1890	Cuenca Chira	1772.23133
Tipulco	-4.7	-79.566667	2600	Cuenca Chira	1929.09058
Vado Grande	-4.473856	-79.611	900	Cuenca Chira	1859.53813
Laguna Seca	-4.883333	-79.483333	2450	Cuenca Chira	1221.49588
Aranza	-4.85	-79.983333	1300	Cuenca Chira	1266.16294
Jilili	-4.583611	-79.800278	1236	Cuenca Chira	2936.73289
Sicchez	-4.566667	-79.766667	1435	Cuenca Chira	3134.73577
Paimas	-4.616667	-79.95	545	Cuenca Chira	2265.87504
Chalaco	-5.036944	-79.791667	2276	Cuenca Piura	2590.27752
Salala	-5.1	-79.45	2865	Cuenca Chamaya	611.698279

ANEXO 5: PANEL FOTOGRÁFICO





ANEXO 6: MAPAS GENERADOS

Los mapas generados se muestran en formato A3, presentados según la siguiente relación:

Cuadro 1: Índice de mapas

N°	NOMBRE
1	Mapa N° 01: Unidades hidrográficas
2	Mapa N° 02: Estaciones pluviométricas
3	Mapa N° 03: Precipitación de tormentas
4	Mapa N° 04: Tormentas anuales
5	Mapa N° 05: Pendientes del área de estudio
6	Mapa N° 06: Cobertura vegetal del área de estudio
7	Mapa N° 07: Textura del área de estudio
8	Mapa N° 08: Valores de curva número
9	Mapa N° 09: Valores de retención inicial
10	Mapa N° 10: Valores de escurrimiento superficial
11	Mapa N° 11: Valores de retención de excesos de precipitación
12	Mapa N° 12: Valores de variable R
13	Mapa N° 13: Valores de variable LS
14	Mapa N° 14: Grupos de suelos
15	Mapa N° 15: Valores de la variable K
16	Mapa N° 16: Valores de la variable CP
17	Mapa N° 17: Valores de control de la erosión hídrica
18	Mapa N° 18: Normalización del control de la erosión hídrica
19	Mapa N° 19: Normalización de la retención de excesos de precipitación
20	Mapa N° 20: Normalización de los servicios ecosistémicos
21	Mapa N° 21: Valor bioecológico
22	Mapa N° 22: Valor de normalizado bioecológico
23	Mapa N° 23: Valoración de infraestructura verde
24	Mapa N° 24: Clasificación de infraestructura verde