REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Evaluación del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales mediante InVEST para la propuesta de corredor urbano ecológico (greenway) en el área metropolitana de Arequipa, 2023.

Tesis presentada por la Bachiller:

Castillo Acosta, Yajaira Del Pilar

ORCID: 0009-0007-3094-5127

para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Asesor (a):

Mg. Chanove Manrique, Andrea Marieta

ORCID: 0000-0001-9170-1328

Arequipa – Perú
2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA AMBIENTAL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Noviembre del 2024

Dictamen: 010771-C-EPIA-2024

Visto el borrador del expediente 010771, presentado por:

2018100242 - CASTILLO ACOSTA YAJAIRA DEL PILAR

Titulado:

EVALUACIÓN DEL SERVICIO ECOSISTÉMICO DE MITIGACIÓN DE INUNDACIONES PLUVIALES MEDIANTE INVEST PARA LA PROPUESTA DE CORREDOR URBANO ECOLÓGICO (GREENWAY) EN EL ÁREA METROPOLITANA DE AREQUIPA, 2023.

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO AMBIENTAL

29611452 - ARENAZAS RODRIGUEZ ARMANDO JACINTO
DICTAMINADOR

29519918 - BEJARANO MEZA MARIA ELIZABETH
DICTAMINADOR

43606549 - CARDENAS PILLCO BERLY EDINSSON
DICTAMINADOR

Evaluación del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales mediante InVEST para la propuesta de corredor urbano ecológico (greenway) en el área metropolitana de Arequipa, 2023.

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%	11%	7%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	doku.pub Fuente de Internet	<1%
5	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1%
6	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repository.javeriana.edu.co Fuente de Internet	<1%

documentop.com

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dedicatoria

A mi madre Doris, por su amor y sabiduría que me motiva a siempre dar lo mejor de mí, por el esfuerzo que hizo para que logre mis sueños, por acompañarme en cada etapa y ser un pilar en mi vida. Este logro es tan mío como tuyo.

A mi padre Flavio, por siempre creer en mí, por su inmenso cariño y, sobre todo, por enseñarme el valor de la curiosidad. Eres la razón por la que decidí estudiar ciencias. Este logro está dedicado a ti.

A mis hermanas, Yelitza y Flavia, por su apoyo incondicional y amor infinito, por ser mi refugio y mi fuerza en esta travesía. Sus abrazos han sostenido mi vida y me han impulsado a seguir adelante. Este logro también es para ustedes. Son lo más hermoso que tengo en la vida.

A mi mayor inspiración artística, por llenar mis días de esperanza con su música, por ser una fuente constante de motivación y ser mi amparo en los momentos difíciles desde el 2012. Por recordarme, una y otra vez, que los sueños se hacen realidad. We are one.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Agradecimiento

Mi más sincero agradecimiento a la Mg. Andrea Chanove Manrique por su orientación y constante apoyo a lo largo de esta investigación. Su experiencia y dedicación ha sido elemental para llevar a cabo este trabajo. Es usted una fuente de inspiración.

A mis docentes por cada lección y consejo. Gracias por ser guías en este maravilloso viaje.

A mis amigas, por su inmenso cariño y apoyo. Son parte fundamental de este camino.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

Las áreas urbanas presentan una elevada vulnerabilidad ante eventos de precipitación debido a la fragmentación del paisaje ocasionada por los cambios de uso de suelo, lo que debilita el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales. Este servicio es esencial dado que permite reducir el impacto de este evento climático en los ecosistemas a través de la filtración de agua. En ese contexto, resulta fundamental diagnosticar el servicio ecosistémico. El objetivo de esta investigación fue evaluar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales mediante el software InVEST para la propuesta de un corredor urbano ecológico (greenway) en el área metropolitana de Arequipa. La metodología inicia con la recopilación de inputs para el modelo de mitigación de inundaciones pluviales en InVEST cuyo procesamiento reveló un escaso control de escorrentía en entornos urbanos pero un buen porcentaje de retención en áreas agrícolas y de vegetación no agrícola. Adicionalmente, se evaluó la métrica de los parches con un valor nulo de escorrentía para la obtención de fuentes ecológicas, se generó un mapa de superficie de resistencia y se aplicó el modelo de ruta de menor costo obteniendo como resultado un corredor urbano ecológico de 57 km de longitud que recorre 12 de 19 distritos metropolitanos y que se encuentra conformado por 8 tramos en los cuales se propone implementar medidas como espacios verdes, sistemas de bioretención, cubiertas verdes y plataformas de recreación para hacer de Arequipa metropolitana una ciudad resiliente frente a las inundaciones pluviales.

Palabras clave: Inundaciones urbanas, servicios ecosistémicos, corredor urbano ecológico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

Urban areas are highly vulnerable to precipitation events due to the fragmentation of the landscape caused by changes in land use, which weakens the ecosystem service of rainfall flood mitigation. This service is essential because it reduces the impact of this climatic event on ecosystems through water filtration. In this context, it is essential to diagnose the ecosystem service. The objective of this research was to evaluate the ecosystem service of rainfall flood mitigation using InVEST software for the proposal of an urban ecological corridor (greenway) in the metropolitan area of Arequipa. The methodology begins with the collection of inputs for the flood mitigation model in InVEST whose processing revealed a poor runoff control in urban environments but a good retention rate in agricultural and non-agricultural vegetation areas. Additionally, the patch metric with null runoff value was assessed to idetify ecological sources, a resistance surface map was created and the least-cost path model was applied with the aforementioned data, thus obtaining a 57 km long urban ecological corridor that goes through 12 of 19 metropolitan districts and is made up of 8 sections in which it is proposed to implement strategies such as green spaces, bioretention systems, green roofs and recreation platforms to make Arequipa a resilient city against pluvial floods.

Keywords: Urban flooding, ecosystem services, urban ecological corridor.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN **1**

CAPÍTULO I **2**

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO **3**

1.1. Problemática de la investigación 3

1.2. Justificación de la investigación 4

1.2.1. Ambiental 4

1.2.2. Social 4

1.2.3. Económica 5

1.2.4. Política 5

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN **5**

2.1. Objetivo general 5

2.2. Objetivos específicos 6

3. HIPÓTESIS **6**

CAPÍTULO II **7**

1. FUNDAMENTO TEÓRICO **8**

1.1. Antecedentes de la investigación 8

1.2. Marco teórico 14

1.2.1. Paisajes ribereños 14

1.2.1.1. Concepto 14

1.2.1.2. Componentes 14

1.2.1.3. Paisajes urbano ribereño 15

1.2.2. Servicios ecosistémicos 15

1.2.2.1. Concepto y clasificación 15

1.2.2.2. Servicios ecosistémicos en paisajes ribereños 16

1.2.2.3. Servicios ecosistémicos en ecosistemas urbanos 17

1.2.2.4. Servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones 17

1.2.2.5. Análisis y uso de modelos 18

1.2.3. Modelo de Mitigación de Riesgo de Inundación Urbana del software InVEST 19

1.2.4. Conectividad ecológica 20

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2.4.1. Concepto 20
1.2.4.2. Fuentes ecológicas 21
1.2.4.3. Métrica 22
1.2.4.4. Importancia 22
1.2.5. Soluciones basadas en la naturaleza 22
1.2.5.1. Concepto 23
1.2.5.2. Infraestructura verde e infraestructura verde-azul 23
1.2.5.3. Gestión 23
1.2.6. Corredor urbano ecológico 24
1.2.6.1. Concepto 24
1.2.6.2. Principios 24
1.2.6.3. Clasificación 25
1.2.6.4. Métodos 25
1.2.7. Vías Verdes 26
1.2.7.1. Concepto 26
1.2.7.2. Historia 26
1.2.7.3. Clasificación 27
1.3. Marco legal 28
1.3.1. Ley N°28611. Ley General del Ambiente 28
1.3.2. Ley N° 30754. Ley Marco de Cambio Climático y su Reglamento 28
1.3.3. Decreto Supremo N°242-2022-EF. Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025 29
1.3.4. Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM. Política Nacional del Ambiente al 2030 29
1.3.5. Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM. Guía metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorio para el Ordenamiento Territorial 30
1.3.6. Ordenanza Municipal N° 961. Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016-2025 30
CAPÍTULO III 31
1. METODOLOGÍA 32
1.1. Tipo y nivel de investigación 32
1.2. Diseño de la investigación 32
1.3. Operacionalización de variables 32
1.4. Campo de investigación 33
1.4.1. Población 33

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.4.2. Muestra 33
1.5. Métodos de investigación 34
1.5.1. Diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones 34
1.5.1.1. Profundidad de lluvia 35
1.5.1.2. Uso de suelo 36
1.5.1.3. Grupo hidrológico del suelo 37
1.5.1.4. Tabla biofísica 38
1.5.1.5. Espacio de trabajo 38
1.5.1.6. Ejecución del modelo 39
1.5.2. Diseño del corredor urbano ecológico 39
1.5.2.1. Superficie de Resistencia 39
1.5.2.1.1. Inputs 39
1.5.2.1.1.1. Uso de suelo 39
1.5.2.1.1.2. Pendientes 40
1.5.2.1.1.3. Red vial 40
1.5.2.1.1.4. Red hidrográfica 41
1.5.2.1.2. Proceso de Jerarquía Analítica 41
1.5.2.2. Obtención de fuentes ecológicas 42
1.5.2.3. Modelo de ruta de menor costo 43
1.5.3. Elaboración de la propuesta de corredor urbano ecológico 43
CAPÍTULO IV 45
1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46
1.1. Diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones 46
1.1.1. Profundidad de lluvia 46
1.1.2. Uso de suelo 46
1.1.3. Grupo hidrológico de suelo 47
1.1.4. Tabla biofísica 48
1.1.5. Ejecución del modelo 49
1.2. Diseño del corredor urbano ecológico 51
1.2.1. Superficie de Resistencia 51
1.2.1.1. Inputs 51
1.2.1.1.1. Uso de suelo 51
1.2.1.1.2. Pendientes 54
1.2.1.1.3. Proximidad a red vial 54
1.2.1.1.4.Proximidad a red hidrográfica 55

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2.1.2. Proceso de jerarquía analítica 55
1.2.2. Obtención de fuentes ecológicas 60
1.2.3. Modelo de ruta de menor costo 63
1.3. Elaboración de la propuesta de corredor urbano ecológico 65
1.3.1. Identificación de actores 65
1.3.2. Criterios de localización 67
1.3.3. Diagnóstico territorial y social 69
1.3.4. Propuesta de intervención 75
1.3.4.1. Propuesta de diseño urbano-paisajístico 75
1.3.4.2. Propuesta ambiental 78
1.3.4.3. Propuesta de integración con la comunidad 78
1.3.5. Sostenibilidad 80
1.3.5.1. Ambiental 80
1.3.5.2. Social 80
1.3.5.3. Económico 81
CAPÍTULO V 82
1. CONCLUSIONES 83
2. RECOMENDACIONES 84
REFERENCIAS 85
ANEXO 119
Anexo A – Validación de capa de uso de suelo 120

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Planos que conforman un territorio 21
Figura 2 Mapa del área urbana de Arequipa. 34
Figura 3 Mapa de uso de suelo del área de estudio para el año 2023 47
Figura 4 Mapa de grupo hidrológico de suelo del área de estudio..... 48
Figura 5 Mapa de retención de escorrentía para el área metropolitana de Arequipa en el año 2023 51
Figura 6 Mapas de criterios y superficie de resistencia 59
Figura 7 Mapa de corredor urbano ecológico 64
Figura 8 Mapa de los tramos del corredor urbano ecológico. 74
Figura 9. Mapa de las medidas urbano-paisajísticas 77

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Variables de la investigación 32
Tabla 2 Grupos hidrológicos..... 37
Tabla 3 Codificación por número de curva 38
Tabla 4 Subcriterios para el archivo ráster de uso de suelo..... 40
Tabla 5 Subcriterios para el criterio de pendientes..... 40
Tabla 6 Subcriterios para el criterio de red vial..... 41
Tabla 7 Subcriterios para el criterio de red hidrográfica. 41
Tabla 8 Tabla biofísica..... 49
Tabla 9 Valor por subcriterio de uso de suelo..... 53
Tabla 10 Valor por subcriterio de pendientes 54
Tabla 11 Valor por subcriterio de proximidad a red vial 55
Tabla 12 Valor por subcriterio de proximidad a red hidrográfica..... 55
Tabla 13 Matriz de comparación por pares y su ponderación 57
Tabla 14 Matriz de comparación por pares normalizada..... 57
Tabla 15 Cálculo de consistencia..... 58
Tabla 16 Métrica de 49 parches..... 61
Tabla 17 Tramos y medidas propuestas para el corredor urbano ecológico por distrito 79
Tabla 18 Resultados de validación de mapa de uso de suelo del área de estudio para el año 2023 120

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

Las ciudades alrededor del mundo están enfrentando un aumento en la frecuencia e intensidad de las inundaciones, afectando directamente a casi una cuarta parte de la población mundial (Phouratsamay et al., 2024), lo cual representa una amenaza a la sostenibilidad urbana. Una de las causas es el avance de las regiones urbanas que promueven la impermeabilización de las superficies terrestres (Zhu et al., 2024), reduciendo así la capacidad de los servicios ecosistémicos, particularmente el servicio de control de inundaciones (Liu, X. et al., 2024).

La capacidad insuficiente del drenaje de agua ha motivado a los investigadores optar por medidas que se caracterizan por tener un enfoque del sistema humano-ambiente reconciliado, como son las infraestructuras verdes (Park et al., 2024). Estas desempeñan un papel crucial en la mejora de la habitabilidad urbana y la sostenibilidad (Khalili et al., 2024) debido a que ofrece servicios ecosistémicos como el control de inundaciones (Jato-Espino et al., 2023). Ejemplo de ello son las vías verdes ubicadas en zonas urbanas, estas son conectores físicos entre lugares con cobertura verde que brindará beneficios ambientales y sociales en los espacios donde se ubiquen (Sharma, A., 2015), por tal motivo, vienen siendo utilizadas para incorporar la naturaleza al entorno construido y crear ciudades resilientes y saludables (Remme et al., 2024).

La planificación de vías verdes debe considerar la evaluación de los servicios ecosistémicos ya que permite identificar con precisión las áreas con mayor vulnerabilidad debido al debilitamiento del servicio ecosistémico, asimismo, ejecutar dicha evaluación se convierte en un respaldo en la toma de decisiones (Kirby et al., 2024). Por tal motivo, diversas investigaciones aplican el mapeo, análisis y simulaciones de los servicios ecosistémicos para estudiar su relación con el entorno siendo el software InVEST uno de los más utilizados dada su practicidad (Liu, X. et al., 2024).

Dicha problemática se ve replicada en la provincia de Arequipa, donde anualmente su población se ve sumergida en problemas causados por las inundaciones pluviales. Por tal motivo, esta investigación tiene como objetivo la evaluación del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales para la propuesta de un corredor urbano ecológico; con la finalidad de proporcionar información y medidas para la toma de decisiones que conviertan a la ciudad en una metrópoli resiliente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Problemática de la investigación

El ritmo del cambio global en la naturaleza durante los últimos 50 años no tiene precedentes en la historia de la humanidad y es el cambio de uso de suelo el que más efectos negativos genera en los ecosistemas terrestres y de agua dulce (IPBES, 2019). Un ejemplo representativo es el patrón de desarrollo urbano, considerado el cambio más común y difícil de controlar debido a que fragmenta el hábitat natural perjudicando así la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos, sobre los cuales las poblaciones dependen (Renner, I., 2019). En América Latina y el Caribe existe un elevado índice de urbanización pues el 80% de sus habitantes vive en ciudades, las cuales se caracterizan por tener pocos espacios abiertos. Ello ha generado múltiples desafíos ambientales como el restringido acceso a agua potable, débil calidad de aire, olas de calor, erosión costera, elevada contaminación de fuentes de agua, constante amenaza de riesgos ambientales, entre otros (PNUMA, 2021). Uno de los retos por atender, son las inundaciones, los cuales son considerados los eventos climáticos más frecuentes y extensos a nivel mundial (UN Environment, 2019) debido al cambio climático y el cambio de uso de suelo. Es así como se espera que las inundaciones afecten considerablemente a las poblaciones urbanas y periurbanas de países en vías de desarrollo (Winter & Karvonen, 2022; Wang, Y. et al., 2022a) pues solo en el 2021, las inundaciones representaron el 51.6% de todos los fenómenos naturales dados en ese año a nivel mundial, con un aumento del 73% de ocurrencia en comparación de la data en el periodo 2001-2020 (CRED, 2022).

Esta situación no difiere en el ámbito nacional ya que 8 de cada 10 personas viven en zonas urbanas, situándolo en el sexto país con mayor tasa de urbanización en América Latina y el Caribe (Zucchetti & Freundt, 2019; CEPLAN, 2023). Este crecimiento se ha venido dando de forma desordenada por la falta de la planificación territorial (Zucchetti & Freundt, 2019), lo cual la hace vulnerable a los fenómenos naturales. Sobre ello, EMDAT, (2021) citado por Parodi et al. (2021) asegura que el Perú es el país más afectado pér cápita por fenómenos naturales en América del Sur donde las inundaciones son la principal causa de daños por desastres.

La vulnerabilidad a causa del crecimiento urbano caótico se evidencia cada año en el área metropolitana de Arequipa. Según Zeballos, C. (2020), el paisaje de Arequipa se ha

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

visto fragmentado debido a un acelerado crecimiento poblacional e industrial que vio alcanzar desde la década de los 70s. En consecuencia, se presencian servicios ecosistémicos debilitados o totalmente escasos que se reflejan en la pérdida de la biodiversidad (Montesinos-Tubée, D. et al., 2019), islas de calor (Porras, P., 2018) y riesgo por inundación (Sardón et al., 2022).

Libélula, C.A & D.S.A (2018) en su investigación menciona que la ciudad presenta una "larga historia de precipitaciones extremas" que se refleja en la activación de torrenteras e inundaciones. Asimismo, resalta la vulnerabilidad de la ciudad ya que las zonas de amortiguamiento de los ríos se encuentran asfaltadas, además carece de un sistema de drenaje pluvial. Es así como los distritos de Cayma, Alto Selva Alegre, Miraflores, Mariano Melgar y Paucarpata son considerados zonas altamente vulnerables.

Ante esta situación, el Estado peruano consideró atender las causas que generan la fragmentación a partir de un marco legal que se orienta a impulsar la conservación de los recursos naturales y la diversidad biológica, proponer medidas de adaptación al cambio climático en los procesos de ordenamiento territorial, entre otros (PCM, 2012). No obstante, ante la falta de acceso a instrumentos, débil gestión estatal y diferentes enfoques entre instituciones públicas (Torres Mallma, 2021), no existen medidas ni acciones para atender esta problemática.

1.2. Justificación de la investigación

1.2.1. Ambiental

Un corredor urbano ecológico busca recuperar la capacidad de drenar el agua y consigo, mitigar parcialmente el riesgo por inundación pluvial (Li et al., 2020; Song et al., 2019). Además, trae beneficios no buscados que permite aminorar problemas asociados a cambios en las condiciones ambientales como islas de calor, control de erosión y mala calidad de aire; es decir, mejora la calidad del entorno urbano (Ahn, H. et al., 2021, Li, F. et al., 2017, von Haaren, C. & Reich, M., 2006) en beneficio de la población. De igual forma, fomenta la conectividad del paisaje que da paso al flujo de materia y energía.

1.2.2. Social

Ejecutar un greenway a través de la evaluación del servicio ecosistémico de control de inundaciones pluviales permite reducir el riesgo por inundación lo cual se refleja en la mejora de la calidad de vida de la población (Song et al., 2019). Por otro

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

lado, brinda múltiples beneficios sociales como promover la actividad física (He, D. et al., 2021), socialización, mejora en la salud mental (Xie, B. et al., 2022) y refuerza la identidad y herencia cultural (Yahner, T. et al., 1995) que el paisaje ribereño otorga.

1.2.3. Económica

Una vía verde reduce el riesgo de inundaciones pluviales (Pallathadka et al., 2022), por lo tanto, las pérdidas económicas por daños a la infraestructura vial o de alcantarillado se verían reducidas. Asimismo, se sabe que los espacios verdes son centro de atracción en las ciudades debido a su estética, por lo tanto, un greenway impulsa la creación de espacios comerciales, turísticos y culturales, proporcionado así un flujo monetario de bienes y servicios que beneficiaría a los residentes locales (Liu, Z. et al., 2019).

1.2.4. Política

Pese a que la metrópoli cuenta con un Plan de Desarrollo Urbano vigente, un Plan de Acondicionamiento Territorial y un Plan de Ordenamiento Territorial (WWF, 2019), no se observa una gestión para la regulación urbana. Ante ello, la propuesta de un greenway en Arequipa metropolitana podría considerarse como el primer paso hacia la promoción de una planificación urbana más sólida, de la mano con una gobernanza regional responsable ambientalmente. Asimismo, los resultados aportarán al Plan de Desarrollo Metropolitano actual y al mismo tiempo, fomentará la gestión de un plan o agenda ambiental que tanto necesita una ciudad en constante desarrollo.

Asimismo, considerando que los conceptos de “soluciones basadas en la naturaleza” y de “infraestructura verde” es escasa en las normativas legales o planes como una medida de adaptación y resiliencia (Zucchetti et al., 2020; 8 Global Comission on Adaptation, 2021), esta propuesta promueve la gestión y el interés sobre las soluciones basadas en la naturaleza, que son reconocidas por generar grandes beneficios en las ciudades.

2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Objetivo general

Evaluar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales mediante InVEST para la propuesta de un corredor urbano ecológico (greenway) en el área metropolitana de Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales del área metropolitana de Arequipa a través del software InVEST 3.12.1.
- Diseñar el corredor urbano ecológico para el área metropolitana de Arequipa mediante el modelo de ruta de menor costo en el software QGIS 3.28.2.
- Elaborar propuesta de un corredor urbano ecológico para el área metropolitana de Arequipa.

3. HIPÓTESIS

Dado que el diagnóstico de servicios ecosistémicos y el análisis geoespacial utilizando softwares y sistemas de información geográfica son esenciales en la identificación de áreas con potencial de mejora para fortalecer los servicios ecosistémicos dentro de las propuestas de corredores urbano ecológicos, se postula evaluar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales mediante el software InVEST para la propuesta de un corredor urbano ecológico en el área metropolitana de Arequipa que favorezca la infiltración de agua en eventos de precipitación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

1. FUNDAMENTO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

La fragmentación del paisaje por el avance urbano afecta negativamente los servicios ecosistémicos en cuanto a provisión e interacción con otros servicios (Li et al., 2022). En ese sentido, a nivel mundial, existen múltiples trabajos de investigación que plantean medidas que mitiguen esta creciente problemática. Ejemplo de ello es la investigación de Rastandeh & Jarchow (2020), quien en su artículo denominado "Urbanización y pérdida de biodiversidad en la era post-COVID-19: desafíos complejos y posibles soluciones" ejerce un análisis sobre los posibles efectos post-COVID-19 siendo uno de ellos la expansión de áreas urbanas (asentamientos informales). Ante dicha situación, propone la creación de "vías verdes" para facilitar el movimiento de especies dentro de paisajes urbanizados y asegurar los servicios ecosistémicos como parte de un plan de reconciliación ecológica que permita la coexistencia respetuosa del ser humano con la naturaleza. En ese sentido, se comprende que la promoción de infraestructura verde en las ciudades es una urgencia en la era post-COVID-19.

De igual forma, Lin et al. (2021) en su investigación denominada "Integración de soluciones para adaptar las ciudades al cambio climático" proponen soluciones tecnológicas, basadas en la naturaleza y sociales como lo son las vías verdes, para atender la necesidad de enfrentar el espacio público limitado. Los autores resaltan que es una medida que debe priorizarse en países "sistemáticamente desfavorecidos", considerando sus oportunidades y debilidades para permitir una replicación que se adapte al contexto de estos países.

Bajo un contexto de cambio climático, Ronchi et al. (2020) en su estudio denominado "¿Qué parámetros de diseño urbano proporcionan ciudades resilientes al clima?" Utilizan el modelo Urban Cooling InVEST en la ciudad de Milán comparando "morfologías de planificación histórica" para analizar la expansión urbana y los cambios de la temperatura del aire donde logran identificar que los parámetros de diseño urbano influyen en la reducción del calor excesivo en los barrios. Para lo cual, cita que una cadena de infraestructura verde permite tener una ciudad resiliente al clima al recuperar el control climático como servicio ecosistémico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

De manera similar, He et al. (2016) en su investigación titulada "Evaluación de los impactos potenciales de la expansión urbana en el almacenamiento regional de carbono mediante la vinculación de los modelos LUSD-urban e InVEST", ejerce un estudio para evaluar los impactos de la expansión urbana sobre el almacenamiento de carbono utilizando los modelos LUSD-urban e InVEST, donde con el primero simuló la expansión urbana y con el segundo, evaluó los impactos en el almacenamiento de carbono. A partir de sus resultados, confirmó que la captura y almacenamiento de carbono decrece conforme la expansión urbana avanza, para lo cual, cita la necesidad de recurrir a los campos de la ecología urbana y la sostenibilidad como lo son las infraestructuras verdes. Asimismo, esta investigación muestra la importancia del diagnóstico del servicio ecosistémico para estudios sobre cambios del entorno.

Por otro lado, Aznarez et al. (2022) buscó la recuperación del servicio ecosistémico de biodiversidad, para lo cual hizo uso del módulo de calidad de hábitat en InVEST para analizar el estado de degradación e identificar las zonas de conservación. Asimismo, investigó sobre la ecología urbana para llegar a la conclusión que la infraestructura verde y azul da pie al "rewilding" al reducir la exposición a amenazas, aumentar la calidad del hábitat y apoyar a la biodiversidad urbana.

En ese sentido, la infraestructura verde se consolida como una medida que permite recuperar los servicios ecosistémicos. Sobre ello, Pauleit et al. (2019) en su investigación denominada "Infraestructura verde urbana: conecta a las personas y la naturaleza para ciudades sostenibles" llega a la conclusión que este tipo de infraestructura urbana permite la habitabilidad y otorga resiliencia, asimismo, resalta la urgencia de adoptar este enfoque en las ciudades del hemisferio sur debido a que el 90% del crecimiento urbano ocurren en esta zona del mundo, coincidiendo además en ser una región que necesita abordar el problema de la pérdida de biodiversidad.

Haciendo énfasis en la necesidad de esta infraestructura en el hemisferio sur, Valente de Macedo et al. (2021) coincide sobre ello en su investigación denominada "Infraestructura verde y azul urbana: un análisis crítico de la investigación sobre los países en desarrollo" donde revisa el estado de investigación sobre este tipo de infraestructura urbana en África, Asia, América Latina y el Caribe durante 2015 y 2019, evaluando así las tendencias, medidas innovadoras, prioridades, diferencias y similitud entre regiones mediante una revisión bibliográfica utilizando el motor de búsqueda de Web of Science.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los resultados evidenciaron el creciente interés por este tipo de infraestructura con el objetivo de aumentar espacios verdes en América Latina y el Caribe, sin embargo, esta no se implementa como una estrategia debido a que los beneficios e impactos son poco estudiados en estas regiones y por lo tanto, los mecanismos para la gobernanza de infraestructura verde-azul son escasos; dejando en claro la necesidad de promover intervenciones para el desarrollo de estas propuestas y a partir de ellas, obtener el suministro de elementos básicos que permitan el funcionamiento de una ciudad, como agua, alimentos, energía, entre otros.

Flores et al. (2022) en su artículo sobre el estado de la investigación de infraestructura verde urbana en América Latina, comenta que Argentina, Brasil y Chile sobresalen en términos de investigación, mientras que países como México y Colombia avanzan lentamente y otros como Bolivia, El Salvador y Perú es prácticamente inexistente, siendo este último, alarmante dado que alberga una de las ciudades más grandes en la región: Lima, y coincide en ser una de las ciudades con menor espacio verde por habitante que la recomendada por la Organización Mundial de la Salud.

Para atender dicha problemática, Liu et al. (2022) en su artículo denominado "Soluciones basadas en la naturaleza para la expansión urbana: Integración de los servicios ecosistémicos en la delineación de los límites de crecimiento", emplearon cuatro etapas para la propuesta de soluciones basadas en la naturaleza (SbN) siendo la primera el mapeo de servicios ecosistémicos claves, luego simula la dinámica del uso del suelo mediante diversos mapas temáticos, evalúa los resultados según los criterios de SbN y finalmente los integra a un sistema de planificación territorial. Como conclusión, los autores consideran que incluir los servicios ecosistémicos en un análisis de SbN demostró enriquecer la búsqueda del desarrollo urbano sostenible y cuenta con el potencial de cambiar el patrón de expansión urbana. Por su parte, Wang et al. (2018), en su artículo propone considerar la caracterización de tierras y redes hidrográficas para aplicar medidas que optimicen los servicios ecosistémicos en áreas de rápida urbanización.

Uniendo ambos aspectos, Yuan et al. (2022) en su artículo denominado "Aumento de la resiliencia ecológica urbana basada en el patrón de seguridad ecológica: un estudio de caso en una ciudad basada en recursos" evaluaron indicadores como pendiente, tipo del suelo, NDVI, conectividad, diversidad y dispersión mediante una herramienta de superposición ponderada en ArcGIS y la calidad de hábitat como servicio ecosistémico

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

usando el modelo InVEST, logrando obtener en su conjunto, un patrón de seguridad ecológica que da paso a la generación de estrategias como corredores ecológicos que cubran reservas naturales que pueden verse amenazadas por la extracción de recursos.

Lourdes et al. (2022) en su estudio denominado "Planificación de infraestructura verde utilizando múltiples modelos de servicios ecosistémicos urbanos y análisis multicriterio", modeló la distribución espacial de seis servicios ecosistémicos (mitigación de calor, retención de escorrentía, retención de sedimentos, calidad escénica, recreación y agricultura urbana) en la metrópoli de Kuala Lumpur, Malasia; utilizando el software InVEST. A partir de ello, identificaron áreas para iniciar la planificación de infraestructura verde como parques urbanos o paredes y techos verdes, así potenciar los servicios ecosistémicos evaluados. De forma similar, Claron et al. (2022) en su investigación sobre la metrópoli de París, logra mapear dos servicios ecosistémicos (mitigación de calor y mitigación del riesgo de inundaciones urbanas) mediante InVEST y un servicio ecosistémico (recreación basada en la naturaleza) bajo indicadores. A partir de los resultados positivos, evidencian la urgencia de continuar con la inversión e incentivos provenientes del fondo público para la protección a las infraestructuras verdes existentes y a las nuevas por aplicar.

Otro resultado exitoso nos lo traen Kadaverugu et al. (2021), quien cuantifica la mitigación del calor de los espacios verdes urbanos mediante el modelo InVEST para escenarios presentes y futuros en Nagpur, India, llegando a la conclusión que la temperatura se reduce en 0.5°C al promover la infraestructura verde en la ciudad mientras que en áreas construidas se reporta el aumento de 1.33 °C.

Análogamente, Sini (2020) en su escrito denominado "La infraestructura verde de Singapur y el urbanismo biofílico", evidenció que frente al desarrollo urbano que fragmenta el poco terreno restante de hábitats nativos, la ciudad de Singapur logró implementar "greenways" en las orillas de los canales y aprovechó los sistemas de parques existentes para generar una red que permitió resolver múltiples problemas en relación a funciones ecológicas y sociales como el aumento de los servicios ecosistémicos; es así que en la actualidad, la isla continúa incorporando la infraestructura verde en parques y otros bienes públicos a lo largo de la ciudad, convirtiéndola en un ejemplo líder y exitoso de sostenibilidad ecológica urbana.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Asimismo, Kowarik (2019) en su artículo llamado "El cinturón verde de Berlín: Establecer una vía verde donde una vez estuvo el muro de Berlín mediante la integración de enfoques ecológicos sociales y culturales", caracteriza la zona y ejerce un análisis de los enfoques y principios de planificación que conllevaron a la implementación de una vía verde en un terreno urbano con elevado valor histórico. Luego de una revisión de los programas y planes de espacios abiertos en Berlín, así como un análisis espacial, el autor asegura que el caso del Cinturón Verde de Berlín vincula principios ecológicos, sociales y culturales, y representa una oportunidad para el acoplamiento del ecosistema natural entre las residencias urbanas que acabaría con el acceso deficiente de espacios verdes sin alterar el valor cultural y de carácter conmemorativo de la caída del muro de Berlín.

Por su parte, Frischenbruder & Pellegrino (2006) en su investigación llamada "Uso de vías verdes para recuperar la naturaleza en las ciudades brasileñas" presenta ocho casos de vías verdes (propuestas o implementadas) en Brasil según su capacidad para contribuir en la sostenibilidad de un paisaje urbano. Para ello se evaluó la función ecológica, función social, conflictos de aplicación y/o gestión, contribución a instrumentos jurídicos, salud de los ecosistemas involucrados y calidad ambiental, llegando a la conclusión que el diseño de vías verdes es una herramienta de planificación capaz de lograr mejor calidad de vida mediante la preservación, restauración y creación de espacios verdes y es gracias a los resultados que se considera esta infraestructura verde-azul en las agendas de las comunidades locales.

Otro ejemplo exitoso lo comenta Liu et al. (2019) quien analiza el caso de la vía verde del delta del río de las Perlas, el cual logró disipar las brechas urbano-rurales en la dimensión ambiental, económica y social donde uno de los objetivos era recuperar los servicios ambientales debido a la escasez de espacios verdes. Cabe mencionar que se consolidó como el hito que dio pie para la construcción de 12,500 km de vías verdes en otras provincias en China.

Si bien se reportan resultados positivos para diversos servicios ecosistémicos, Chang et al. (2021) comenta que la infraestructura verde urbana mejora la gestión frente a periodos de inundación dado que aumenta la infiltración de las precipitaciones y así lo demuestra generando escenarios para el río Yanshuei en Taiwán, utilizando mapas y data de probabilidad de inundación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Luo et al. (2023) nos menciona específicamente sobre el control de inundaciones en su investigación titulada "Patrón paisajístico resiliente para reducir la susceptibilidad a las inundaciones costeras", donde a partir de un diagnóstico de susceptibilidad a las inundación de la ciudad de Xiamen en China y análisis de las Soluciones basadas en la Naturaleza, llega a la conclusión que estas, de la mano de una planificación urbana, impulsaría la reducción de riesgo ante inundaciones a lo largo de la orilla de los ríos y las costas, ya que reduce la escorrentía superficial y proporciona área de almacenamiento. De hecho, Zhang, F. et al. (2022) menciona que la creación de vías verdes en China inició a partir de una campaña nacional para crear bosques para la defensa contra inundaciones, erosión del suelo y la prevención de tormentas de arena.

De igual forma, Lourenço et al. (2020) resalta la participación de las vías verdes ("greenway") como una propuesta para el proyecto que busca conectar el entorno urbano y natural con el fin de mitigar las inundaciones urbanas en la región metropolitana de Río de Janeiro, a partir de antecedentes positivos sobre el control de inundaciones como la vía verde de Ribeirão das Pedras comentado por Frischenbruder & Pellegrino (2006).

Sharma, A. (2015) también comenta el caso de la ciudad de Raleigh en Estados Unidos en su investigación sobre vías verdes urbanas, donde la ciudad ejecutó un plan para el Sistema de Vías Verde del Área Capital con el objetivo de evitar inundaciones y proporcionar una vía que conecte a sus habitantes con la naturaleza, es así que Raleigh (2022) comenta que en la actualidad, este corredor urbano ecológico protege "áreas ambientalmente sensibles" a la inundación además de otorgar a la ciudadanía un espacio de recreación y educación, siendo este último una medida reciente a través de la instalación de "Alluvial Decoder", un espacio educativo sobre la llanura aluvial en Crabtree Creek, ubicado cerca al sendero de la vía verde en las avenidas Gleenwood y Crabtree Valley.

Es importante destacar lo mencionado por Yildirim et al. (2021), quien en su investigación sobre la conciencia educativa en parques urbanos para la reducción del riesgo de desastres aplicado en el parque Buffalo Bayou en Estados Unidos, llega a la conclusión que esta infraestructura verde satisface un fin educativo en función a los eventos climáticos, por lo tanto, no solo puede mitigar los efectos físicos de las inundaciones, sino también promover la resiliencia a través del conocimiento dentro de las comunidades.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Análogamente, Kousky & Walls (2014) reporta el exitoso caso de Meramec Greenway que abarca 108 millas de tierras a lo largo del río Meramec, el cual conserva grandes extensiones de terrenos como parte del esfuerzo de conservación de las llanuras aluviales para evitar daños por inundaciones. Se encontró que los beneficios anuales de esta vía verde para el condado de St. Louis se refleja en aproximadamente 24 millones de dólares, cuyo monto supera en más de tres veces los daños estimados por inundaciones evitadas ($7.70 millones por año).

Por otro lado, Asakawa et al. (2004) presenta el caso de Sapporo, Japón; quienes, a partir de la construcción de obras de drenaje con el objetivo de controlar las inundaciones, provocaron la desaparición de arroyos, por lo tanto, propusieron generar nuevas tecnologías orientadas a la naturaleza, siendo las vías verdes las consideradas óptimas para este contexto ya que pueden controlar la inundación como recuperar entornos perturbados. Los resultados de esta investigación mostraron que la población que rodeaba esta infraestructura aprobaba la mejora de esta, además deseaban participar.

De forma similar con el contexto del área de estudio de la presente investigación, Ribeiro & Barao (2006) redacta sobre el caso de la vía verde urbana del río Alenquer, ubicado en el área metropolitana de Lisboa, el cual fue construido para mejorar y rehabilitar las orillas del río, es así como esta estrategia se consolidó como un resultado exitoso de los objetivos de la Autoridad Nacional de Recursos Hídricos de Portugal, los políticos locales y las autoridades de planificación de la región.

1.2. Marco teórico

1.2.1. Paisajes ribereños

1.2.1.1. Concepto

Los paisajes ribereños o riparios, son áreas que albergan grandes flujos de energía y nutrientes debido a las interacciones entre el sistema acuático y terrestre, por lo tanto, actúan como ecotonos (Crow et al., 2000; Apan et al., 2002). Es por ello que son considerados como terrenos únicos y altamente dinámicos (Panareda, J., 2009).

1.2.1.2. Componentes

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los paisajes ribereños cuentan con múltiples elementos debido a la dinámica de los sistemas hídricos y terrestres, algunos elementos son el cauce, riberas, laderas, terrazas, zonas parafluviales y la llanura de inundación (Arizpe et al., 2008).

1.2.1.3. Paisajes urbano ribereño

Existen diversos tipos de paisajes ribereños como los paisajes naturales donde no existe intervención humana y el río se ve rodeado de recursos forestales, los del tipo agrícola, es decir, el río se encuentra rodeado de campos segmentados con propósito económico, los paisajes residenciales con la presencia de asentamientos humanos muy cerca del río y los paisajes ribereños cerca de vías de transporte urbano (Wang, L. et al., 2022), siendo estos tres últimos los considerados como "paisajes urbano-ribereños".

La integración de este tipo de paisajes se debe a que las comunidades obtienen alimentos, agua potable, transporte, entre otros servicios ecosistémicos de los cuerpos de agua, asimismo, estas actúan como corredores ecológicos debido a que conectan los parches presentes en las urbes, como tierras de cultivos o parques (Keten et al., 2020).

Actualmente, esta unión de paisajes se ve en conflicto por la constante presión antrópica sobre su funcionamiento, sin embargo, Panareda, J. (2009) reconoce que históricamente, la sociedad no ha podido reprimir estos paisajes ya que la dinámica de los sistemas hídricos puede desaparecer todo intento de invasión sobre su recorrido, lo cual genera inundaciones. En ese sentido, surge la necesidad de armonizar las ciudades con la naturaleza.

1.2.2. Servicios ecosistémicos

1.2.2.1. Concepto y clasificación

La Evaluación de Ecosistemas del Milenio de las Naciones Unidas, define a los servicios ecosistémicos como los beneficios que obtienen las personas de los ecosistemas a partir de las interacciones que se dan en estas (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Bajo ese marco, los servicios ecosistémicos se constituyen como un concepto que ayuda a la comprensión, valoración y gestión de las contribuciones de los ecosistemas (Gomez-Baggethun et al., 2010 citado por

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Havinga et al., 2020), es por ello que este concepto se ha convertido en un tema importante dentro de la política y la investigación (Danley & Widmark, 2016).

88 Millennium Ecosystem Assessment (2003) describe cuatro tipos de servicios ecosistémicos: de provisión, de regulación, culturales y de soporte.

- Servicios de provisión: Hacen referencia a los bienes que se obtienen de los ecosistemas como cultivos, ganado, pesca, fibras, combustible, agua, entre otros.
- Servicios de regulación: Son los beneficios que se obtienen del control de los ecosistemas a los procesos naturales, ello considera regulación de la calidad del aire, regulación climática, regulación de agua, control de erosión, purificación de agua y tratamiento de residuos, polinización y reducción de peligros naturales.
- Servicios culturales: Son beneficios no materiales que las personas obtienen de los ecosistemas como recreación, turismo, educación, patrimonio cultural, etc.
- Servicios de soporte: Son todos los procesos que se dan en los ecosistemas que dan cabida al desarrollo de los demás servicios ecosistémicos. Por lo tanto, el impacto sobre las personas se da de forma indirecta u ocurren en periodos largos de tiempos, incluye el ciclo de nutrientes, formación del suelo, fotosíntesis, producción primaria y ciclo del agua.

1.2.2.2. Servicios ecosistémicos en paisajes ribereños

Dada la dinámica y complejidad de los sistemas hídricos, estos son capaces de proveer múltiples servicios ecosistémicos, siendo algunos el aprovisionamiento de alimento, fibras y agua potable, control de inundaciones, regulador climático, valor culturales y estéticos, entre otros, los cuales pueden variar según el componente del paisaje (Verdonschot, P. & Verdonschot, R., 2022). Por ejemplo, las zonas de amortiguamiento en los paisajes ribereños se consideran áreas ecológicamente funcionales dada su capacidad de proporcionar hábitat, protección contra inundaciones, aumentar la conectividad ecológica, reducir problemas de erosión, crear áreas recreativas e influir en la calidad del agua (Maher & Laudon, 2019). De forma específica, tan solo la vegetación ribereña puede actuar como amortiguador de la contaminación difusa de los ríos y desempeñar un papel

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de refugio para la fauna, control de plagar, la polinización y la protección contra inundaciones (Castellano et al., 2022).

1.2.2.3. Servicios ecosistémicos en ecosistemas urbanos

Los ecosistemas urbanos comprenden áreas modificadas por el hombre y entornos naturales donde a partir de la interacción dinámica de sus componentes como personas, naturaleza, tecnología, infraestructura, economía y política, proveen de servicios ecosistémicos para el bienestar humano (McPhearson et al., 2022).

Para Tan et al. (2020), algunos servicios ecosistémicos son los servicios de aprovisionamiento como la producción de alimentos o los culturales como la provisión de servicios educativos y recreativos. No obstante, a pesar de su crucial importancia para la habitabilidad urbana, los servicios ecosistémicos disponibles en las ciudades son cada vez más escasos.

Esta situación ha convertido a los servicios ecosistémicos en un eje importante para el diseño de soluciones basadas en la naturaleza que ayuden a mitigar los problemas que enfrentan las ciudades (McPhearson et al., 2022; Manes et al., 2022) como los peligros naturales, la contaminación ambiental, las desigualdades en el acceso a los espacios verdes, entre otros (Balzan et al., 2021).

1.2.2.4. Servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones

El servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones se ha convertido en uno de los servicios más importantes para las personas dado que los escenarios de inundación han incrementado con el cambio climático y la variabilidad del uso de tierra (Shen et al., 2019; Strazzera et al., 2021; Li, P. et al., 2019).

El servicio de mitigación de inundaciones es la capacidad del ecosistema para reducir el peligro de inundación causado por fuertes precipitaciones o descargas de aguas arriba y depende de la capacidad del suelo para retener agua y reducir las escorrentías (Shen et al., 2021). Es así que autores como Martínez-García et al. (2022) mencionan que la provisión del servicio ecosistémicos de control de inundaciones se asocia a ecosistemas naturales como los bosques, dado que reducen las inundaciones fluviales al aumentar la infiltración del suelo, la evapotranspiración y reducir la escorrentía (Li, P. et al., 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Ejemplo de ello son los ecosistemas riparios, cuyas zonas de amortiguamiento suelen estar conformados por bosques que permiten asegurar la estabilidad de las orillas, acumula el agua y funciona como zona de recarga de aguas subterráneas, lo cual facilitaría el drenaje del recurso hídrico, controlando así el régimen hidrológico para evitar inundaciones (Magdaleno, F., s.f).

1.2.2.5. Análisis y uso de modelos

World Resources Institute (2008) comenta que la investigación sobre los servicios ecosistémicos fortalece la toma de decisiones y para ello, nombra una serie de pasos donde incluye evaluar el estado y tendencia del servicio ecosistémicos en la localidad de estudio; bajo ese marco, comenta que existen diversos métodos para lograrlo como el uso de sensores remotos, sistemas de información geográfica, modelos ecológicos y los enfoques participativos que incluyan la opinión de expertos. Es así que surgen múltiples métodos para estudiar los servicios ecosistémicos. Wang, L. et al. (2022) menciona el método de vía rápida, de separación espacial, de flujo de superposición y área beneficio, del efecto de flujo de servicio, de cadena de entrega de servicios ecosistémicos y de modelado los cuales son aplicados mediante algoritmos incluidos en paquetes de software.

Alguno de ellos es, ESTIMUM (Ecosystem Service Toolbox for Integrated Multi-scale modelling of Urban Metabolism), un software que permite proyectar cambios futuros de los servicios ecosistémicos en la dinámica urbana al cuantificar las compensaciones entre servicios, su heterogeneidad espacial y dinámica temporal (Elliot et al., 2022). Por otro lado, TESSA (Toolkit for Ecosystem Service Site-based Assessment) permite que no especialistas realicen evaluaciones rápidas de los servicios ecosistémicos bajo un software amigable al usuario (Kim et al., 2021). De forma similar, ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services) cuantifica el proceso de flujo de servicios ecosistémicos desde el área de origen hasta los usuarios (Wang, L. et al., 2022).

Un software reconocido por su practicidad para investigar los cambios en el suministro del servicio ecosistémico y el reducido requerimiento de data es InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoff) (Banerjee et al., 2020). Esta herramienta se ha convertido en un recurso para la toma de decisiones. La plataforma cuenta con un modelo enfocado para el apoyo del diseño

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

de ciudades resilientes ya que, mapea los impactos del diseño urbano existente en el servicio ecosistémico urbano a estudiar, siendo uno de ello el servicio ecosistémico de mitigación del riesgo de inundación urbana (Natural Capital Project, 2021).

1.2.3. Modelo de Mitigación de Riesgo de Inundación Urbana del software InVEST

El software InVEST es un programa de código abierto desarrollado por Natural Capital Project y la Universidad de Stanford para mapear y valorar servicios ecosistémicos en la toma de decisiones (Veerkamp et al., 2023). Algunos de los servicios ecosistémicos con los que cuenta son el modelo de vulnerabilidad costera, modelo de calidad del hábitat, modelo de polinización de cultivos, modelo de almacenamiento y secuestro de carbono, modelo de enfriamiento urbano, entre otros.

Uno de ellos es el modelo de Mitigación del Riesgo de Inundación Urbana, el cual permite identificar las zonas más susceptibles a inundaciones a partir de la cuantificación biofísica de la producción de escorrentía en entornos urbanos (Quagliolo et al., 2023).

En la guía de uso de Sharp et al. (2019), se menciona que el modelo requiere obligatoriamente de lo siguientes inputs:

- Espacio de trabajo: Se debe ingresar el directorio de la carpeta donde se alojarán todos los archivos de salida del modelo.
- Área de interés: Es un vector del área sobre el cual se reflejarán los resultados finales.
- Profundidad de lluvia: Es un dato en milímetros que permite el diseño de la tormenta, este valor puede ser la precipitación promedio por evento de lluvia o precipitación que se espera que ocurra a una determinada frecuencia.
- Uso de suelo: Es un archivo ráster que alberga las diferentes formas de uso que tiene el suelo y al cual se le ha asignado un número entero. Los valores de este ráster deben coincidir con las entradas en la tabla biofísica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Grupo hidrológico del suelo: Es un archivo ráster que contiene información respecto a los grupos hidrológicos por tipo de suelo (A, B, C y D) y a los cuales se les asigna valores del 1 al 4.
- Tabla biofísica: Es un archivo .csv con los números de curva para cada tipo de suelo considerado en el mapa de uso de suelo.

Como resultados, el software nos otorgará:

- "Runoff_retention.tif": Es un ráster con los valores de retención de escorrentía sin unidad y con relación al volumen de precipitación extraído del diseño de la tormenta.
- "Runoff_retention_m3.tif": Es un ráster con valores de retención de escorrentía en m3.
- "Q_mm.tif": Es un ráster con valores de escorrentía en milímetros.

1.2.4. Conectividad ecológica

1.2.4.1. Concepto

El concepto de conectividad nace como una contraparte de la fragmentación, la cual está asociada a efectos negativos y de origen antrópico capaz de alterar los sistemas naturales sobre los cuales la sociedad se sostiene, en ese sentido, la conectividad ecológica se transforma en un concepto de gestión para mitigar las consecuencias y garantizar el funcionamiento de los ecosistemas (Castro et al., 2002).

Bajo ese marco, la conectividad es un indicador de la relación entre dos objetos (Gurrutxaga, M., 2004), que permite en mayor o menor medida, la circulación de flujos ecológicos lo cual facilita la persistencia y capacidad de recuperación del paisaje frente a perturbaciones y mitiga la fragmentación (Blanco-Dominguez et al., 2020).

De manera holística, Díaz Pineda & Schmitz (2011) considera que la conectividad ecológica implica la interconectividad de los procesos físicos, biológicos, sociales y económicos ya que el paisaje es una consecuencia de las actividades humanas como se observa en la figura 1.

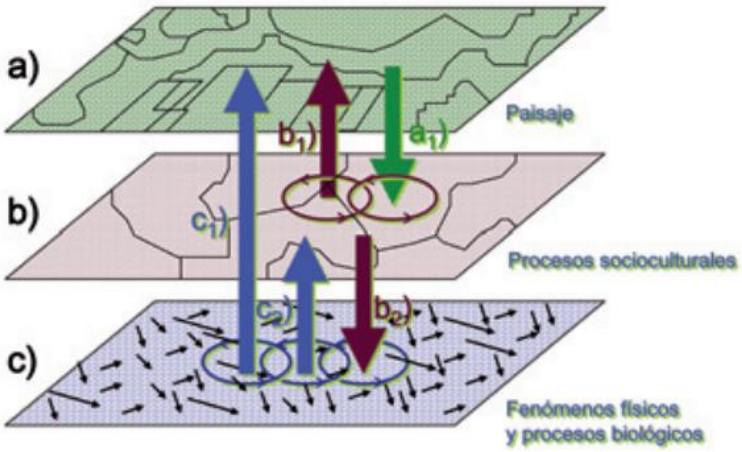
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 1

Planos que conforman un territorio



Nota. Tomado de Díaz Pineda & Schmitz (2011).

De igual forma, Herrera & Díaz (2013) agrega el componente socioeconómico en el concepto de conectividad ecológica ya que la conectividad es también una característica de los sistemas sociales donde existen redes de flujos de materia, energía e información que generan servicios ambientales además de ejercer cambios en su entorno. Asimismo, en la actualidad, muchos territorios cuentan con una red natural superpuesta por una artificial, por lo cual tomarlo como un conjunto es ideal en la búsqueda de adoptar una integración sostenible.

1.2.4.2. Fuentes ecológicas

Las fuentes ecológicas son parches con una importante participación en los ecosistemas y la sostenibilidad (Kang et al., 2023) debido a que proveen servicios ecosistémicos, garantizan la continuidad e integridad del paisaje y previenen la degradación de los ecosistemas (Xie, L. et al., 2022).

Dada su importancia ecológica, estos parches son identificados en investigaciones relacionados al paisaje y la ecología a través del análisis morfológico de patrones espaciales o la evaluación de los servicios ecosistémicos; el objetivo de su identificación radica en la necesidad de promover la conectividad entre parches pues permite la protección y el mantenimiento de los ecosistemas (Yang et al., 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2.4.3. Métrica

Dado que las características del paisaje afectan la conectividad ecológica (Pelage et al., 2021), la métrica del paisaje surge como una herramienta evaluativa de la estructura del paisaje (Dupras et al., 2016) que permite cuantificar los cambios espaciales y a partir de ello, comprender las relaciones entre los patrones del paisaje (Toosi et al., 2022), por lo tanto, es ampliamente utilizado para ejercer análisis sobre los procesos ecológicos y el monitoreo o medición de la resiliencia de un paisaje (Liu, M. et al., 2021).

Estos se calculan a partir de un conjunto de algoritmos que arroja un valor numérico que servirá de evaluación al usuario (Ortner & Wallentin, 2020), ejemplo de ello el número de parches, el tamaño medio del parche, la distancia media del vecino más cercano, densidad de bordes, rango medio de giro, índice de conectividad, índice de división del paisaje, entre otros (Wei et al., 2020).

Para la evaluación de conectividad entre parches existe la métrica de probabilidad de conectividad que calcula dicho valor entre dos parches y es a partir de este, que es posible obtener la probabilidad de conectividad (dPC), el cual estima la importancia del elemento paisajístico en el mantenimiento o mejora de la conectividad de un paisaje (Pan, J. et al., 2024). La evaluación de este parámetro permitirá al usuario priorizar parches que son capaces de promover la conectividad. Uno de los softwares que realiza dichos cálculos es Conefor, el cual se especializa en métricas de conectividad y por tal motivo, constituye como una herramienta de apoyo en la toma de decisiones sobre planificación del paisaje (Saura, S. & Torné, J., 2009).

1.2.4.4. Importancia

La conectividad interviene en la provisión de los servicios ecosistémicos ya que participa en los procesos ecológicos (Jahanishakib et al., 2021), asimismo, permite la estabilidad del paisaje (Jiang et al., 2022). En tal sentido, se ha convertido en un concepto importante cuando se desea establecer estrategias de conservación, sin embargo, dado que se trabaja con sistemas que varían tanto en el espacio y el tiempo, este puede convertirse en un desafío (Beger et al., 2022).

1.2.5. Soluciones basadas en la naturaleza

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2.5.1. Concepto

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) son procesos que involucra a organismos vivos para abordar desafíos sociales y ambientales (Moosavi, S., 2022) a través de la protección, restauración y gestión sostenible de los ecosistemas naturales y no naturales para mejorar el bienestar humano y generar beneficios para la biodiversidad (UICN, 2020). Ejemplo de ello, son los bosques urbanos, parques urbanos, jardines comunitarios, sistemas de paredes verdes, entre otros; lo cual demuestra que es una estrategia generalmente aplicada en entornos urbanos (Kato-Huerta & Geneletti, 2022) ya que surge como respuesta a los desafíos del cambio climático y el rápido proceso de urbanización (Sarabi et al., 2022).

Las SbN se caracterizan por brindar especial atención al contexto situacional de los servicios ecosistémicos (Mabon et al., 2022), por lo tanto, un bosque urbano no cumple con la misma función que un bosque urbano planificado como solución basada en la naturaleza ya que este último considera características espaciales, morfológicas, estructurales, funcionales e institucionales, asimismo con el objetivo de generar beneficios ambientales, sociales y económicos (Scheuer et al., 2022).

1.2.5.2. Infraestructura verde e infraestructura verde-azul

El enfoque de infraestructura verde es un componente importante en las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) dado que otorga múltiples beneficios para la población urbana como la producción de alimentos, reducción de la contaminación atmosférica y acústica, reducción de islas de calor, mitigación de inundación y servicios culturales (Jones et al., 2022). De igual forma, la infraestructura verde y azul se consolida como una SbN capaz de otorgar muchos beneficios, sin embargo, su campo de acción es en cuerpos de agua como ríos, arroyos, humedales, lagunas, entre otros (Macháč et al., 2022).

1.2.5.3. Gestión

El interés por las soluciones basada en la naturaleza (SbN) incrementa debido a su capacidad de responder a múltiples problemas relacionados al clima y dar paso a la sostenibilidad a través de procesos de diseño y planificación que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

considere la consulta de expertos, evidencia y data (Mabon et al., 2022); y sobre todo, que tenga un enfoque participativo para conducir la propuesta a soluciones más innovadores y socialmente aceptadas (Koutsovili et al., 2023). Por lo tanto, las SbN son de carácter holístico e integrados (Sarabi et al., 2022).

La UICN en el 2020 comparte criterios e indicadores para obtener una SbN que se adapte al contexto donde se desea aplicar, algunos de los criterios son: las SbN responden eficazmente a los desafíos sociales, el diseño de las SbN se adapta a la dimensión, se basan en procesos de gobernanza inclusivos, transparentes y empoderadores, se gestionan de forma adaptativa, entre otros.

Estas soluciones nos muestran un mecanismo capaz de satisfacer los objetivos de desarrollo sostenible, así como de generar un sinfín de beneficios a sus usuarios, sin embargo, su implementación es lenta y compleja (Moosavi, S., 2022) debido a que la data que se debe recopilar y representar es excesiva, asimismo, se requiere estudiar las excepciones (Sarabi et al., 2022).

1.2.6. Corredor urbano ecológico

1.2.6.1. Concepto

Es un tipo de corredor que permite conectar fuentes ecológicas y mantener la integridad del paisaje (Fan et al., 2022) dentro del ecosistema urbano, y por lo general, tiene una distribución espacial en línea (Hong et al., 2017). Cabe mencionar que este elemento es considerado un tipo de infraestructura verde dado los múltiples beneficios que ofrece en los ambientes urbanos (Li, F. et al., 2017), y este a su vez, es una estrategia dentro del enfoque denominado “soluciones basadas en la naturaleza”, el cual buscará proteger, gestionar y restaurar ecosistemas naturales para abordar desafíos y promover beneficios para el bienestar humano y del entorno natural (Langemeyer & Baró, 2021; Cohen-Schaham et al., 2016).

Su principal propósito es mitigar la fragmentación del paisaje urbano y en zonas en proceso de urbanización a partir de la conexión entre el espacio urbano con el ecológico (Zhang, M. et al., 2022). Y es gracias a este vínculo que se suministra una amplia gama de servicios ecosistémicos que se reflejan en beneficios directos e indirectos a la comunidad (Pinto et al., 2022).

1.2.6.2. Principios

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Según GIZ (2022), los corredores urbano ecológicos cumplen con características como linealidad, es decir, considera calles, aceras o vías para ciclistas; conectividad, abarca plazas, parques o atractivos naturales; multifuncionalidad, el área puede albergar actividades de ocio, cultural o económicos; desenvolvimiento sustentable porque permite la recuperación de los servicios ecosistémicos y deben ser sistemas lineales integrados, los cuales generan movilidad.

1.2.6.3. Clasificación

Debido a que los corredores ecológicos brindan múltiples beneficios, surgen diversas nomenclaturas según el tipo de función que cumplen, una de ellas es el cinturón verde, el cual es un espacio abierto por lo general ubicado en las periferias urbanas con el objetivo de delimitar el avance urbano y promover la función recreativa, por otro lado, está la infraestructura ecológica el cual consiste en un punto, línea o superficie con el fin de proporcionar servicios ecosistémicos (Peng et al., 2017). La red ecológica es otra clasificación y consta de una red compuesta por zonas núcleo, corredores ecológicos y zonas buffer las cuales son gestionados para conservar la biodiversidad (Nor et al., 2017) por lo tanto, conecta hábitats funcionales proporcionado así un diseño armonioso, y es a través de la conectividad del paisaje que puede garantizar la seguridad ecológica de áreas urbanas (Huang et al., 2021). Finalmente, los greenways o vías verdes, son espacios verdes lineales en áreas urbanas de alta densidad que permiten optimizar los patrones espaciales y proporcionar servicios ecológicos, sociales y culturales ya que tiene un fin ecológico, recreativo, cultural y estético (Peng et al., 2017; Tang et al., 2022).

1.2.6.4. Métodos

En cuanto a métodos cuantitativos, existe la teoría de circuitos la cual utiliza un enfoque matemático para reconocer el camino de menor resistencia en un circuito con múltiples caminos (Svoboda & Dorf, 2003 citado por Babí Almenar et al., 2019). En cambio, la ruta de menor costo calcula una ruta única y óptima entre dos parches cualesquiera (Henry et al., 2017) a partir de una superficie de resistencia basada en la idoneidad del hábitat (Hou et al., 2022). De forma similar,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el modelo matricial proporciona un medio para analizar la conectividad a partir de modelos de dispersión biofísica (Kool et al., 2012).

Por otro lado, están los métodos cualitativos complementarios, entre ellos está el método de "procesos de jerarquía analítica" que a partir de criterios elegidos es posible determinar la ruta óptima entre las alternativas de vías verdes (Balta & Yenil, 2019), de forma similar, el método de "juicio empírico" es utilizado para identificar el corredor que se ajusta a las necesidades buscadas a partir de un análisis que depende en gran medida de las experiencias y conocimientos de los investigadores (Peng et al., 2017).

1.2.7. Vías Verdes

1.2.7.1. Concepto

Los "greenway" (en su traducción en español: "vías verdes") es un neologismo estadounidense que combina dos palabras: "green" haciendo referencia a la vegetación y "way", que se traduce a camino (Jang & Kang, 2015). En ese sentido, son caminos o redes de espacios abiertos interconectados que proporcionan beneficios multidimensionales en la ciudad donde es establecida, ya que conecta el entorno urbano con los parches de vegetación y áreas verdes (Zhang, Y. et al., 2022), estos pueden ser diseñados alrededor de canales, ríos, rutas con valor cultural, valles o en infraestructura vial en uso o abandono (Ozyavuz, M., 2019).

Estas infraestructuras son consideradas un sistema vivo ya que existe una interacción de los componentes físicos con los bióticos (Ozge & Ulgen, 2019). el cual le otorga su multifuncionalidad y ser multipropósito. Las vías verdes con planificados, diseñados y gestionados en varias regiones del mundo, con resultados positivos (Liu, Z. et al., 2020).

1.2.7.2. Historia

Las vías verdes se han desarrollado a lo largo de la historia, ejemplo de ello son los caminos ceremoniales de las civilizaciones antiguas. Con el tiempo, el concepto ha evolucionado y estas han obtenido diversos nombres como "boulevards", sistemas de parques, caminos verdes, entre otros (Ozyavuz, 2019). Para Salici (2013), la primera generación de vías verdes empieza en 1700 hasta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1960, periodo donde se le asignó el nombre "greenway" a todo corredor atractivo visualmente dentro de las ciudades, lo cual incluye a lo listado anteriormente. Es a partir de 1960 que inicia la segunda generación, donde los arquitectos del paisaje forman parte del movimiento y empieza a agregarse elementos de diseño urbano para potenciar el aspecto social con el ambiental, finalmente, la tercera generación, iniciada a partir de 1985, busca satisfacer el ámbito estético y recreacional y refuerza el concepto ecológico al integrar áreas verdes con zonas de elevado valor cultural o visual. Asimismo, es esta generación la que rige hasta la actualidad y del cual se hace uso de los Sistemas de Información Geográfica para evaluar la idoneidad de las vías verdes a partir de la evaluación del paisaje en función a su diversidad y conectividad, y el diagnóstico del territorio considerando componentes sociales y ecológicos que antes, resultaba complicado ejecutar ya que requería mucha mano de obra (Qian et al., 2018).

1.2.7.3. Clasificación

Salici (2013) identifica seis tipos de vías verdes según el objetivo a satisfacer:

- Vías verdes urbanas de ribera: Son diseñados cerca de las riberas o cualquier fuente de agua en zonas urbanas con el objetivo de proteger y gestionar mejor los recursos.
- Vías verdes recreativas: Son de gran extensión y se forman a lo largo de caminos o rutas vinculados al elevado valor visual paisajístico.
- Vías verdes de importancia ecológica: Se pueden ubicar a lo largo de ríos o en los valles con el objetivo de proteger la vida silvestre y mantener la diversidad biológica.
- Vías verdes con valor visual e histórico: Estas son ubicados a lo largo de carreteras o autopistas o en zonas de elevado valor histórico con el objetivo de atraer turistas y generar beneficios educativos y visuales.
- Vías verdes con el objetivo de controlar el desarrollo urbano: Suelen ser ubicados en la periferia, permitiendo separar las zonas urbanas y rurales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Sistemas y redes de vías verde: Vinculan diferentes áreas abiertas mediante vías verdes y pueden ser aplicados a escala urbana y regional.

1.3. Marco legal

1.3.1. Ley N°28611. Ley General del Ambiente

La Ley General del Ambiente es el marco normativo legal para la protección del ambiente y la correcta gestión de los recursos naturales. En ella se establecen los lineamientos para el ejercicio del derecho a un ambiente saludable, como la protección del ambiente y la efectiva gestión ambiental. Asimismo, promueve la creación de políticas, normativas y programas para la mejora de la calidad de vida como parte del derecho irrenunciable de todo peruano a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el desarrollo de la vida.

Para la propuesta de un corredor urbano ecológico, esta ley representa un respaldo a la propuesta y otorga una orientación sobre el enfoque que debe tener, pues en el capítulo 3 sobre "gestión ambiental" se encuentran los artículos N° 19 sobre planificación y ordenamiento territorial ambiental y N° 23 sobre ordenamiento urbano y rural, en los cuales se precisa que la planificación territorial debe orientarse a la conservación y el aprovechamiento sostenible del territorio según las características de los ecosistemas y los requerimientos de la ciudadanía a través de información técnica para la toma de decisiones y de la mano de los gobiernos locales, pues son las autoridades responsables en asegurar y ampliar las áreas verdes urbanas y periurbanas.

1.3.2. Ley N° 30754. Ley Marco de Cambio Climático y su Reglamento

La Ley Marco sobre Cambio Climático menciona los principios, enfoques y disposiciones para la generación de políticas públicas con el objeto de reducir la vulnerabilidad del país al cambio climático y cumplir con los compromisos internacionales ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático.

Esta ley es adoptada en esta investigación dado que en el artículo 3, se hace mención del término "adaptación basada en ecosistemas" como un enfoque para la gestión integral del cambio climático con el objetivo de implementar acciones de protección y restauración de ecosistemas frágiles para asegurar la prestación de los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

servicios ecosistémicos. De igual manera, se menciona la "adaptación basada en la planificación territorial" como un principio para la incorporación de medidas de mitigación y adaptación en la planificación territorial mediante el diseño, adaptación y procesos constructivos sostenibles de infraestructura según su nivel de exposición y vulnerabilidad con el fin de tener ciudades sostenibles y resilientes. Dichos conceptos son esenciales para la comprensión de esta investigación la cual, además, se ve respaldada por la ley en mención.

1.3.3. Decreto Supremo N°242-2022-EF. Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025

El Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025 es un instrumento de planificación para la mejora de la infraestructura en el Perú con el objetivo de brindar competitividad y promover el desarrollo sostenible que incluya los ámbitos de crecimiento económico, reducción de la pobreza y la mejora de la calidad de vida.

El documento considera como línea estratégica la implementación del enfoque de infraestructura sostenible, en la cual se recomienda que dichas infraestructuras cumplan con la dimensión económica, social, institucional y ambiental siendo esta última la que busca integrarse al ambiente natural. Asimismo, aborda la necesidad de una gestión integral del territorio considerando las características del entorno para reducir impactos ambientales y generar beneficios sociales y económicos.

La relevancia de este plan para la presente investigación reside en la hoja de ruta donde se precisa recomendaciones como asociar los objetivos con los objetivos nacionales y habilitar espacios de comunicación para concretar una implementación que cumpla con todos los ejes de la sostenibilidad.

1.3.4. Decreto Supremo N° 023-2021-MINAM. Política Nacional del Ambiente al 2030

La Política Nacional del Ambiente al 2030 es el marco estratégico de la gestión ambiental en el Perú que busca transformar el desarrollo del país hacia uno ambientalmente sostenible. Este documento considera como problema nacional la disminución de los bienes y servicios que proveen los ecosistemas para lo cual estudia las posibles causas y propone medidas para cada una. Entre los lineamientos, considera la gestión del territorio bajo un enfoque ambiental, asimismo, menciona la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

infraestructura verde como medida para reducir el riesgo en un contexto de cambio climático.

Este decreto supremo es considerado en la presente investigación debido a que en ella se precisan los objetivos prioritarios de la Política Nacional del Ambiente, las cuales son de gran aporte para la planificación de un corredor urbano ecológico.

1.3.5. Resolución Ministerial N° 135-2013-MINAM. Guía metodológica para la elaboración de los Instrumentos Técnicos Sustentatorio para el Ordenamiento Territorial

Esta guía proporciona un marco técnico y normativo para la planificación del uso de suelo y la gestión del territorio con el fin de orientar a los gobiernos regionales y locales en la elaboración de documentos como el Plan de Ordenamiento Territorial o el Diagnóstico Integrado del Territorio, los cuales permiten la toma de decisiones informadas a partir de estudios físicos, bióticos, socioeconómicos y culturales del territorio.

En ella se comparten lineamientos para estudios especializados como el estudio de servicios ecosistémicos, análisis de los cambios de la cobertura y uso de suelo o el análisis de capacidad institucional, los cuales son de gran relevancia para el desarrollo de la propuesta de un corredor urbano ecológico.

1.3.6. Ordenanza Municipal N° 961. Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016-2025

El Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa es un instrumento que permite guiar el crecimiento urbano de la ciudad de una forma ordenada y sostenible. En ella se puede encontrar una descripción del estado de la metrópoli, así como diversos planos que son de gran importancia para el reconocimiento del territorio. Asimismo, se precisan estrategias para la planificación territorial, la infraestructura urbana, gestión de recursos naturales, entre otros. La importancia de este plan se debe a que es un documento que contiene la visión de ciudad, por lo tanto, se convierte en un documento esencial para estudiar el enfoque de metrópoli, así como ser una herramienta de apoyo para optimizar la propuesta, asegurando que cumpla con los objetivos de desarrollo urbano ya considerados por especialistas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

1. METODOLOGÍA

1.1. Tipo y nivel de investigación

El tipo y nivel de investigación del presente estudio es descriptivo dado que se observa, se identifica y se detalla el estado del servicio ecosistémico de control de inundaciones pluviales y las características del paisaje del área de estudio para la propuesta de un corredor urbano ecológico.

1.2. Diseño de la investigación

En esta investigación se evalúa y describe la situación actual del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales y los atributos paisajísticos del área de estudio utilizando datos numéricos y cartográficos existentes y de acceso libre, en tal sentido, el diseño de investigación corresponde a uno del tipo cuantitativo no experimental.

1.3. Operacionalización de variables

En la Tabla 1 se observan las variables y sus respectivos indiciadores, instrumentos y unidades de medida que facilitan la identificación de los criterios involucrados en la investigación para su recolección y evaluación.

Tabla 1
Variables de la investigación

Contextualización	*Dimensión*	*Indicador*	*Instrumento de medida*	*Unidad de medida*
Variable independiente	Diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales para el área metropolitana de Arequipa a través del software InVEST	Área de estudio	• Software InVEST • QGIS • Data de libre acceso	- (ráster)
		Profundidad de la precipitación		mm
		Uso de suelo		Tipos de uso de suelo (ráster)
		Grupo hidrológico de suelos		Categorías: A, B, C o D (ráster)
		Tabla biofísica		Valores numéricos adimensionales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

		Retención de escorrentía		%, m^3
	Diseño del corredor urbano ecológico	Fuentes ecológicas a partir del valor de escorrentía	• QGIS • Software Conefor • Data de libre acceso	# de parches
		Uso de suelo		Tipos de uso de suelo (ráster)
		Proximidad a red vial		m (ráster)
		Proximidad a redes hidrográficas		m (ráster)
		Pendiente		% (ráster)
Variable dependiente	Propuesta del corredor urbano ecológico	Revisión del marco legal	• Guía para el Diseño de Corredores Verdes Urbanos (GIZ, 2022) • Documentos legales	-
		Identificación de actores		# de skateholders
		Criterios de localización y trazado		-
		Diagnóstico territorial y social		-
		Estrategias de intervención		-

Nota. La tabla recopila información sobre cada variable independiente y dependiente según su dimensión, indicador, instrumento de medida y unidad de medida.

1.4. Campo de investigación

1.4.1. Población

La población para el presente estudio es la provincia de Arequipa, que enfrenta problemas de inundaciones por lluvias y deterioro de los ecosistemas y sus servicios. Esta población permite un análisis integral de sus desafíos debido a la diversidad de información y data de acceso libre.

1.4.2. Muestra

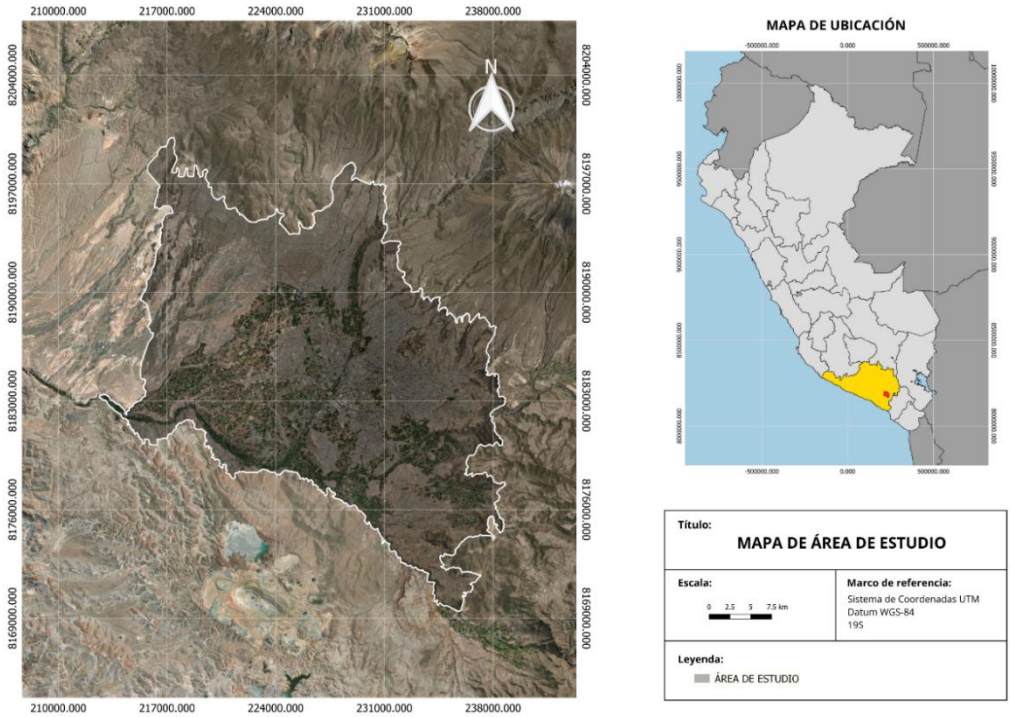
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La muestra está constituida por 19 de los 29 distritos que forman parte de la denominación "área metropolitana" en la provincia de Arequipa, según el Plan Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016-2015. Estos distritos son: Alto Selva Alegre, Arequipa, Cayma, Cerro Colorado, Characato, Jacobo Hunter, José Luis Bustamante y Rivero, Mariano Melgar, Miraflores, Mollebaya, Paucarpata, Sabandía, Sachaca, Socabaya, Tiabaya, Uchumayo, Yanahuara, Yura y Quequeña, que comprenden un área de aproximadamente 39,339 hectáreas. La elección del área metropolitana como muestra, se basa en su alta concentración urbana y vulnerabilidad ante eventos de precipitación. Asimismo, es representativo del contexto urbano en el cual se desea proponer el corredor urbano ecológico.

Figura 2
Mapa del área urbana de Arequipa.



Nota. Elaboración propia basada en datos del *Instituto Municipal de Planeamiento (2016).*

1.5. Métodos de investigación

1.5.1. Diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones

Para el diagnóstico sobre control de inundaciones pluviales en el área metropolitana de Arequipa se utilizó la guía dada por Sharp et al. (2018) para mapear

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

el servicio ecosistémico utilizando el modelo "Urban Flood Risk Mitigation" del software InVEST, el cual requiere de un archivo del espacio de trabajo, data de profundidad de lluvia, data de uso de suelo, data de grupo hidrológico de suelo y una tabla biofísica.

1.5.1.1. Profundidad de lluvia

El software requiere la data numérica de "rainfall depth" o en su traducción al español, profundidad de lluvia o acumulación de lluvia. El cual es un valor en mm (milimetros) que utilizará el software para simular una tormenta.

Jiang, P. & Tung, Y. (2013) en su investigación recomiendan el uso de información sobre las precipitaciones en una duración y frecuencia especificada ya que dicha relación permite conocer y estimar situaciones de lluvia que servirán para el desarrollo de infraestructuras enfocadas al manejo de agua. En tal sentido, se consultó las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la obtención del valor de profundidad de lluvia.

El SENAHMI cuenta con una página de libre acceso que recopila las curvas IDF e intensidades de precipitación para diferentes duraciones y periodos de retornos (o también llamado frecuencia) según la ubicación espacial en el territorio peruano (https://idesep.senamhi.gob.pe/dhi-idf/). El enfoque IDF se basa en los datos de profundidad de lluvia en diferentes escalas de tiempo, sobre el cual se identifican las diferentes intensidades y frecuencias con la que el evento de precipitación se desarrolle a través de modelos matemáticos (Chitrakar, P. et al., 2023; Jiang, P. & Tung, Y., 2013, Mínguez, R. & Herrera, S., 2023). Estas relaciones son representadas gráficamente en una curva donde el área bajo la curva representa la acumulación de lluvia. En tal sentido, es posible calcular la profundidad de lluvia al integrar la intensidad con respecto al tiempo de la duración de la tormenta como se muestra a continuación:

$$Profundidad\ de\ lluvia = \int_0^t I\ dt$$

Dónde:

t es tiempo de duración de la lluvia (horas)

I es intensidad de la precipitación en mm/hora.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En la página manejada por el SENAHMI, se seleccionó la región A11, que abarca el área metropolitana de Arequipa. Posteriormente se eligió el escenario climático denominado "escenario histórico" del cual se desglosó la información de intensidad para diferentes duraciones y frecuencias.

Para esta investigación, se eligió un escenario de precipitación con un periodo de retorno de 2 años (el mínimo que nos ofrece la plataforma) y una duración de acumulación de 24 horas (el máximo de duración) debido a que se busca simular un escenario que se repita constantemente y sea de un periodo significativo para que el software modele una escorrentía que permita conocer cuales áreas tienen menor o mayor retención en escenarios de gran impacto.

1.5.1.2. Uso de suelo

El programa también requiere del archivo ráster de uso de suelo. Para ello, se recopilaron las bandas 4, 5 y 6 de una imagen satelital con formato GeoTIFF que abarquen el área metropolitana de Arequipa. Estas fueron extraídas del conjunto de datos Landsat 8-9 OLI/TIRS C2 L2 de "Earth Explorer" de la USGS (https://earthexplorer.usgs.gov/) para el mes de setiembre del año 2023 dado que es el mes con el que se cuentan imágenes con nula nubosidad, el cual es requisito para la obtención de datos claros.

Estas bandas pasaron por una corrección atmosférica y de brillo, utilizando el menú "Preprocesamiento" del complemento "Semi-Automatic Classification Plugin" (SCP) del software QGis versión 3.28.2. Posteriormente, se procedió con la combinación de bandas 6, 5, 4 y 5, 6, 4 ya que según la investigación de Shaharum et al. (2018), permite una mejor distinción de la vegetación, agua, área construida y suelo desnudo.

Tras la generación de la capa combinada, se activó la opción "SCP Dock" para tomar un rango de muestras representativas de las diversas clases de uso de suelo: vegetación no agrícola, área urbana, área agrícola, y suelo desnudo. Una vez seleccionada nuestras muestras, se eligió el algoritmo de "Clasificación de Máxima Probabilidad", debido a que se registra como el método más preciso en métodos de clasificación (Ragini, H. et al., 2023; Rahimi-Ajdadi, F., 2022; Rujoiu-Mare, M. & Mihai, B., 2016).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cabe mencionar que también se consideraron los cuerpos de agua en la generación del mapa de uso de suelo. Para ello, se descargó el archivo shapefile "río lineal" del geovisor del Instituto Geográfico Nacional (https://www.idep.gob.pe/geovisor/VisorDeMapas/), al cual se le aplicó un buffer de 70 metros en total (Carpio, J. et al., 2022) pues este valor representa un ancho estimado de la red hidrográfica presente en el área de estudio. Finalmente, se combinó el resultado con el archivo shapefile que alberga los demás usos de suelo para luego proceder con su rasterización.

Es importante resaltar que este tipo de generación de mapa es considerado un método de clasificación supervisada fiable (Belenok, V. et al., 2021). Para comprobar ello, el ráster fue validado utilizando el método de análisis de precisión por polígonos, donde se generó de forma manual un shapefile de polígonos que abarcan los diferentes tipos de uso de suelo en una imagen satelital. Tras ello, se usó la opción "posprocesamiento" del SCP el cual otorgó el valor de precisión (Anexo A).

1.5.1.3. Grupo hidrológico del suelo

El Centro de Archivo del Laboratorio Oak Ridge de la NASA (ORNL DAAC) brinda un archivo ráster de los grupos hidrológicos de suelo a escala mundial de acuerdo con la clasificación del USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos) (Ross, C. et al., 2018). Esta fue descargada de su página web (https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1566) y procesada según el área de estudio.

Tabla 2
Grupos hidrológicos

Grupo Hidrológico	*Características*	*Capacidad de infiltración*	*Textura*	*Valor numérico*
A	Suelos de mayor permeabilidad incluso si se encuentran saturados. Genera menor escorrentía.	>76 mm/h	Menos del 10% de arcilla y más 90% de arena o grava.	1
B	Suelos de moderada permeabilidad incluso si se	76-38 mm/h	Entre 10-20% de arcilla, 50-90% de arena, arena arcillosa	2

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

	encuentra saturados.		o franco arenosas.	
C	Suelos de poca permeabilidad cuando se encuentran saturados.	36-13 mm/h	Entre 20-40% de arcilla y menos del 50% de arena.	3
D	Suelos con muy baja permeabilidad. Genera mayor escorrentía.	<13 mm/h	Más del 40% de arcilla y menos del 50% de arena.	4

Nota. La tabla muestra el valor otorgado por cada subcriterio del criterio de red hidrográfica. De *Bradbury, K. (2000)* & *NRCS, USDA (2007).*

1.5.1.4. Tabla biofísica

Para la generación de la tabla biofísica de la zona de estudio, se generó un archivo Excel donde se colocaron los grupos hidrológicos en las columnas y los tipos de uso de suelo como fila. Posteriormente, se ingresó los números de curva de escorrentía para cada tipo de suelo en función al grupo hidrológico de suelo, del cual existen valores predeterminados entre el 0 al 100.

Para este estudio, se utilizó las tablas de número de curva utilizado por la Autoridad Nacional del Agua en el 2015 y la tabla modificada de Y. Hong (2008) utilizado por SENAHMI en el 2015.

La guía de uso del software InVEST, Sharp et al. (2018) brinda los códigos que deben ser colocados en cada fila y columna para el correcto ingreso de la información al programa, los cuales se muestran en la tabla de a continuación:

Tabla 3
Codificación por número de curva

lucode	*description*	*Número de Curva*			
		cn_a	cn_b	cn_c	cn_d
1	Área agrícola	-	-	-	-
2	Vegetación no agrícola	-	-	-	-
3	Suelo desnudo	-	-	-	-
4	Área urbana	-	-	-	-
5	Cuerpo de agua	-	-	-	-

Nota. La tabla muestra la codificación de cada data para ser reconocido por el software InVEST. El archivo debe ser en formato .csv.

1.5.1.5. Espacio de trabajo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para el espacio de trabajo, se ingresó al software InVEST el archivo shapefile de uso de suelo delimitado con el área de estudio debido a que se desea obtener el archivo shapefile de las zonas con mayor retención de escorrentía según las clases de uso de suelo.

1.5.1.6. Ejecución del modelo

Los datos obtenidos fueron ingresados al software InVEST y este generó un archivo ráster y shapefile con información respecto a la distribución espacial de retención de escorrentía (%,) y escorrentía (mm). El resultado revela el estado actual del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales, el cual es objeto de análisis. A su vez, permite reconocer las áreas con mejor retención de escorrentía que serán de gran interés para el desarrollo de la propuesta de un corredor urbano ecológico para el control de inundaciones en la ciudad de Arequipa.

1.5.2. Diseño del corredor urbano ecológico

1.5.2.1. Superficie de Resistencia

Para el diseño del corredor, autores como Yang et al. (2022), Wang et al. (2022b) y Cao et al. (2024) utilizan data georreferenciada sobre uso de suelo, pendientes, red vial y redes hidrográficas, a los cuales les asigna un valor del 1 al 5 mediante revisión bibliográfica según su capacidad de permitir el recorrido de un corredor ecológico, donde 1 corresponderá a una baja resistencia y 5 a una alta resistencia.

1.5.2.1.1. Inputs

1.5.2.1.1.1. Uso de suelo

Para la data de uso de suelo, se utilizó el mapa generado en el diagnóstico del servicio ecosistémico. Los tipos de uso de suelo fueron reclasificados del 1 al 5 según su grado de resistencia, utilizando la herramienta de “reclasificar por tabla” en el software QGIS.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 4
Subcriterios para el archivo ráster de uso de suelo

Criterio	*Subcriterio*
Uso de suelo	Cuerpos de agua
	Vegetación no agrícola
	Área agrícola
	Área urbana
	Suelo desnudo

Nota. La tabla muestra los subcriterios considerados para el criterio de uso de suelo.

1.5.2.1.1.2. Pendientes

Para el criterio de pendientes, se descargó una imagen DEM del geoservidor del Ministerio del Ambiente (https://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx), la cual fue recortada con el archivo shapefile de nuestra área de estudio. Luego, se ejecutó la herramienta "Pendientes" de la Caja de Herramientas del software QGIS a la imagen DEM descargada. Dicho archivo fue reclasificado en 5 clases: Plana a ligeramente inclinada (<4%), moderada a fuertemente inclinada (4 a 15%), moderadamente empinada (15 a 25%), empinada (25 a 50%) y muy empinada a extremadamente empinada (>50%) (Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1999).

Tabla 5
Subcriterios para el criterio de pendientes

Criterio	*Subcriterio (%)*
Pendientes	<4
	4 a 15
	15 a 25
	25 a 50
	>50

Nota. La tabla muestra los subcriterios considerados para el criterio de pendientes.

1.5.2.1.1.3. Red vial

Para la obtención de la red vial, se descargó la data de acceso libre de GeoFabrik, una base de datos de OpenStreetMap que permite la descarga de información por países (https://download.geofabrik.de/south-america/peru.html) para el 2023. Una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

vez descargado, se ingresó la misma al software QGis para ser recortado con el shapefile del área de estudio. Tras ello, se generó buffers con una distancia de 50 metros entre cada uno, el cual será reclasificado según la proximidad a la red vial (Yang, et al., 2022).

Tabla 6
Subcriterios para el criterio de red vial

Criterio	*Subcriterio*
Red Vial	0-50
	50-100
	100-150
	150-200
	>200

Nota. La tabla muestra los subcriterios considerados para el criterio de red vial.

1.5.2.1.1.4. Red hidrográfica

Las redes hidrográficas se obtuvieron en su formato shapefile de la plataforma del Instituto Geográfico Nacional. A dicho archivo, se le generó buffers y se reclasificó según su proximidad a la red hidrográfica (Yang, et al., 2022).

Tabla 7
Subcriterios para el criterio de red hidrográfica.

Criterio	*Subcriterio*
Red Hidrográfica	0
	0-30
	30-100
	100-300
	>300

Nota. La tabla muestra los subcriterios considerados para el criterio de red hidrográfica.

1.5.2.1.2. Proceso de Jerarquía Analítica

Es necesario dar un peso a cada criterio en función a la idoneidad de desarrollar un corredor urbano ecológico, para ello, se aplicó el procedimiento de Kumar, M. & Shaikh, V. (2012), quien en su investigación ejecutó la matriz de comparación por pares, el cual es un método del proceso de jerarquía analítica cuyo objetivo es apoyar en la toma de decisiones multicriterio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Para su elaboración, se colocaron los criterios tanto en la columna como en la fila de entrada para después proceder con la comparación de un criterio de la columna con un criterio de la fila. En esta comparación se busca decidir cual tiene más peso y a partir de ello, se le brindó una puntuación utilizando la escala de nueve puntos de Saaty. Seguidamente, se sumó los valores por columna para después dividir cada elemento de la matriz con el valor total de su columna, generando así la "matriz de comparación por pares normalizada", cuyo promedio por fila es el peso por asignar a cada criterio. El peso por criterio fue multiplicado por cada capa ráster utilizando la calculadora ráster el software QGis para obtener el mapa de resistencia de superficie.

Posteriormente, se calculó la relación de consistencia con la fórmula de a continuación:

$$\boldsymbol{CR = CI \,/\, RI}$$

Donde:

$$\boldsymbol{CI = (\lambda - n)/(n - 1)}$$

$$\boldsymbol{RI = 0.9}$$

$\boldsymbol{\lambda}$ equivale al promedio del vector de consistencia y **n** es el número de criterios, por otro lado, **RI** representa el índice aleatorio el cual es un valor predeterminado según el número de criterios estudiados. Para el caso de 4 criterios, el valor del RI es de 0.9 según bibliografía.

Tras la resolución de la fórmula, se analiza si el valor de CR es menor a 0.10 pues ello significa que existe un nivel razonable de consistencia, por el contrario, si el valor es mayor a 0.10, hace referencia a que los pesos obtenidos son resultado de un juicio inconsistente. Cabe mencionar que el análisis de comparación por pares se fundamentará de una revisión bibliográfica (Wu, X. et al., 2020; Zhang, X. et al., 2022; Yang, Y. et al., 2022).

1.5.2.2. Obtención de fuentes ecológicas

Para la obtención de las fuentes ecológicas, se vectorizó el ráster de escorrentía otorgado por el software InVEST con el fin de extraer únicamente los polígonos que registran valores de 0 mm de escorrentía. Autores como Cao et al.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

(2024) y Yang et al. (2022) identifican y extraen estos parches a partir del análisis espacial de los servicios ecosistémicos.

Para esta investigación se priorizó los parches más grandes y aquellos que se encuentran cerca entre sí según lo mencionado por Wilson & Willis (1975) citado por Damschen, E. & Brodie, J. (2024).

En tal sentido, se descartaron los parches con un área menor de 10 hectáreas (Huang, X. et al., 2021). Posteriormente, se evaluó el parámetro de posibilidad de conectividad (PC) mediante el software Conefor 2.6 considerando un umbral de distancia de conexión entre parches de 500 metros y una probabilidad de conexión de 0.5 (Huang, X. et al., 2021; Yang, Y. et al., 2022). Obteniendo como resultado los índices de importancia de parches (dPC) lo cual refleja la contribución del parche a la conectividad (Liu, C. et al., 2020).

Los parches que obtuvieron un valor dPC mayor a 1 fueron seleccionados como fuentes ecológicas (Liu, C. et al., 2020), las cuales son de interés conectar a través de un corredor urbano ecológico.

1.5.2.3. Modelo de ruta de menor costo

Para la generación del corredor urbano ecológico, se ingresó el mapa de superficie de resistencia y los centroides de las fuentes ecológicas al complemento de QGis “Least-Cost Path” que aplica el modelo de ruta de menor costo según la metodología otorgada por Wanghe et al. (2020). Tras procesar la data, el complemento otorgó múltiples corredores de los cuales se seleccionó aquel que teniendo en cuenta su longitud, presentaba una conectividad continua y accesibilidad del sitio (Mckendry, T., 2019). El archivo de salida es un archivo shapefile con el tipo de geografía “cadena de líneas”.

1.5.3. Elaboración de la propuesta de corredor urbano ecológico

La metodología para la propuesta del corredor urbano ecológico fue elaborada en base a lo detallado por la Guía para el Diseño de Corredores Verdes Urbanos: Experiencia de Loja de GIZ (2022). Este documento proporciona un procedimiento adaptable que impulsa ser replicada en otras ciudades de la región con el objetivo de promover la integración del entorno construido con la naturaleza y un desarrollo urbano sostenible, para la mejora de la calidad de vida de sus habitantes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El proceso considerado para esta investigación incluye cuatro etapas: identificación de actores, criterios de localización, diagnóstico territorial y social y propuesta de intervención.

La primera etapa consta de la identificación de los actores y la descripción de su participación en la propuesta. Este proceso es elemental ya que integrar a las partes involucradas permitirá conocer sus intereses e influencia a miras de una colaboración efectiva e inclusiva. Para su ejecución, se rectificó el corredor urbano ecológico como estrategia ante el estado del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales, tras ello se llevó a cabo la identificación de actores clave junto con una justificación de su elección para esta iniciativa.

A continuación, como parte de la etapa "criterios de localización", se procedió con detallar los factores considerados para determinar la ubicación del corredor considerando el objetivo de promover la conectividad ecológica y recuperar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales. Seguidamente, el tercer criterio "diagnóstico territorial y social", es un análisis integral del área urbana que rodea e integra el corredor urbano ecológico propuesto para lo cual se consideró aspectos biofísicos y urbano-paisajísticos principalmente. Esta etapa permite la descripción del recorrido brindando así una mejor comprensión de la magnitud de la propuesta, así como especificar su área de influencia, es decir, las áreas que recibirán los beneficios.

Finalmente, la cuarta etapa es la propuesta de intervención, una fase crucial dado que alberga las estrategias formuladas a partir de la información recopilada en las etapas anteriormente descritas. En esta fase, las medidas propuestas se categorizaron en tres ejes: urbano-paisajístico, ambiental y de integración con la sociedad. Es importante destacar que todo el proceso incluye la revisión del marco legal nacional y provincial existente para ejecutar un contraste de las medidas propuestas con las planteadas en estos documentos legales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.1. Diagnóstico del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones

1.1.1. Profundidad de lluvia

Para el cálculo de la profundidad de lluvia, se ejecutó la fórmula reemplazando el valor de tiempo de duración de la lluvia con el valor de 24 horas y el de intensidad de la precipitación con el valor de 1.0 mm/hora, según la data de las curvas IDF de la plataforma de libre acceso del SENAHMI. Como resultado, se obtuvo un valor de 24 mm de profundidad de lluvia. Dicho valor fue utilizado para el diseño del evento de precipitación en el software InVEST.

1.1.2. Uso de suelo

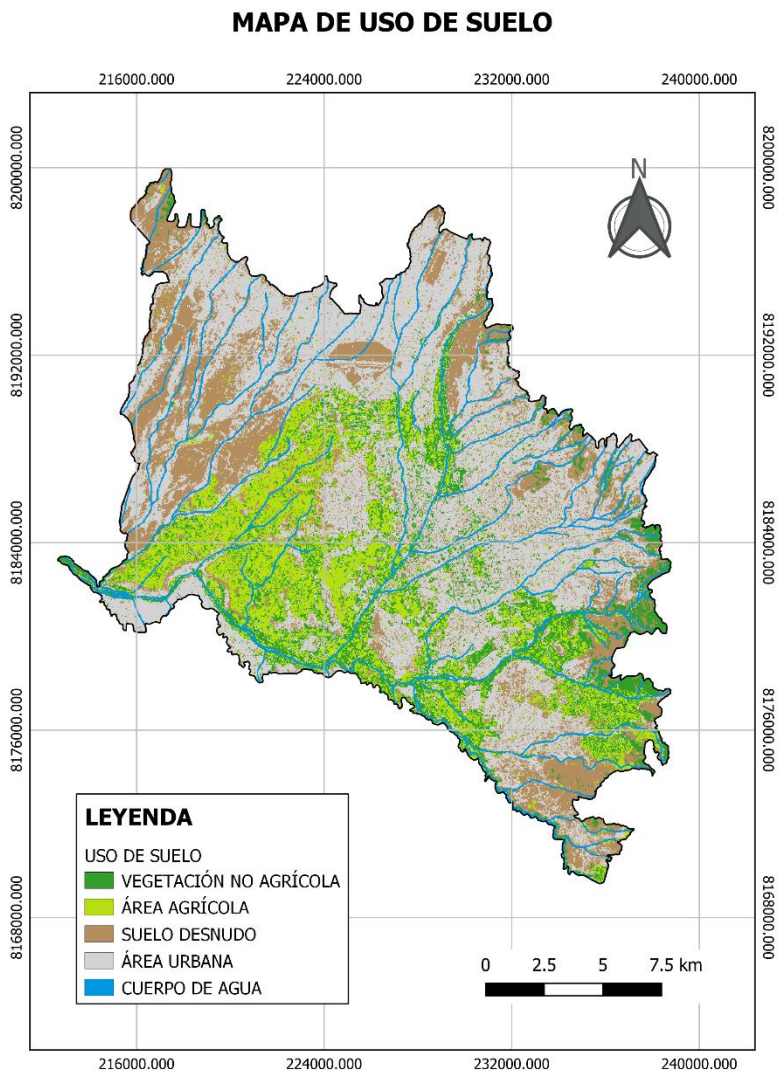
A través del método de clasificación supervisada, se logró generar un archivo shapefile del uso de suelo para el año 2023, el cual se muestra en la Figura 3. En ella se observan las 5 clasificaciones siendo el "área urbana" el uso de suelo con mayor porcentaje de extensión (41.3%), seguido por suelo desnudo (23.5%). En cuanto a áreas verdes, el área agrícola abarca un 15.2% del área de estudio mientras que la vegetación no agrícola, un 13.3%. De manera similar, el Instituto Municipal de Planeamiento (2016) comparte un plano de zonificación para el área metropolitana de Arequipa en la cual también se observa una extensa concentración de área urbana en el cual el autor identifica un fragmento como "zona especial de riesgo" evidenciando así su vulnerabilidad, por otro lado, la zona agrícola abarca las mismas áreas que el mapa de uso de suelo generado para este estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3
Mapa de uso de suelo del área de estudio para el año 2023



Nota. Elaboración propia basado en datos satelitales del área metropolitana de Arequipa para el 2023.

1.1.3. Grupo hidrológico de suelo

Para el área de estudio, el Centro de Archivo del Laboratorio Oak Ridge de la NASA, señala tres clases de grupos hidrológicos de suelo (B, C y D) como se puede observar en la Figura 4. Los tipos de grupos hidrológicos varía según la localidad y es constante, es decir, no varía con el tiempo. Según Bradbury, K. (2000), son suelos de moderada a muy baja permeabilidad. Ello coincide con lo mencionado por Fernández-Dávila, J. & Benites, A. (1999) quienes, en su investigación sobre inundaciones en torrenteras del área urbana de Arequipa, detectaron un coeficiente de escurrimiento de

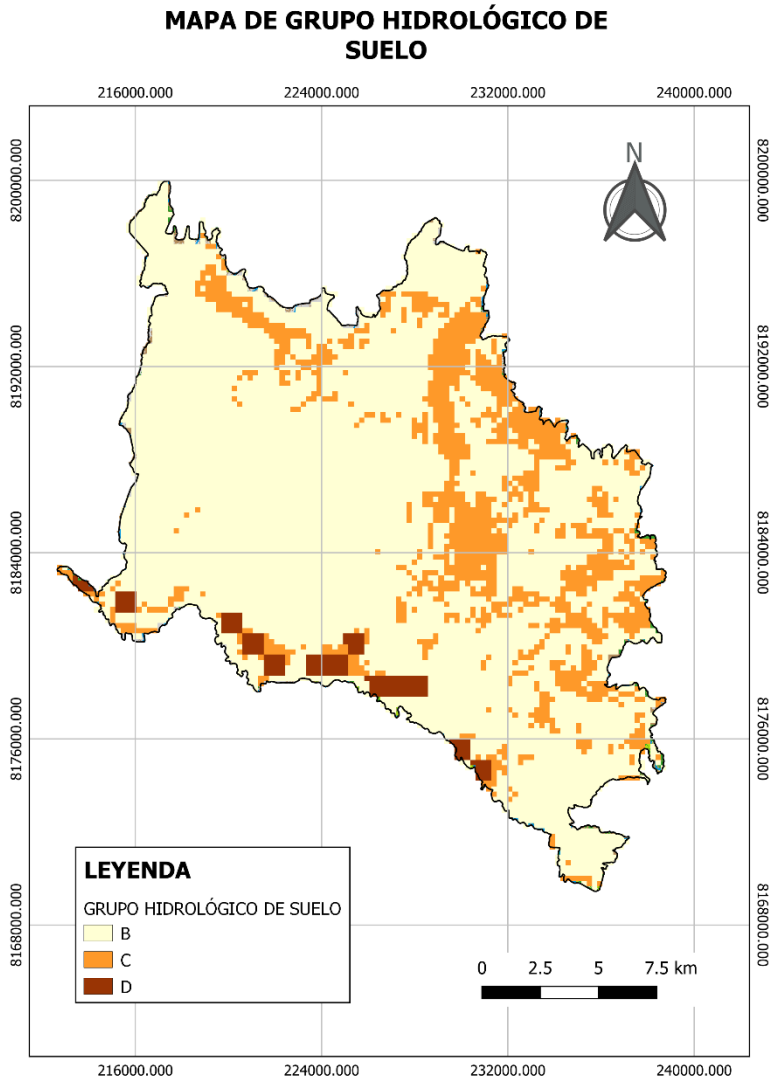
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

0.65 que corresponde a suelo semipermeable, de igual forma, Rivera, M. et al. (2018) llega a la conclusión que existe poca capacidad de retención natural del agua en la zona.

Figura 4
Mapa de grupo hidrológico de suelo del área de estudio



Nota. Elaboración propia a partir del *Centro de Archivo del Laboratorio Oak Ridge de la NADA (Ross, C. et al., 2018).*

1.1.4. Tabla biofísica

La tabla biofísica comprende el número de curva para cada grupo hidrológico según las categorías de uso de suelo. Los valores fueron tomados de los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua en el 2015 y por SENAHMI en el 2015.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Finalmente, estos fueron ordenados en el formato proporcionado por la guía de Sharp et al. (2018) (Tabla 8).

Cabe mencionar que los cuerpos de agua fueron excluidos del análisis de número de curva tal como lo realiza Costadone, L. et al. (2024) dado que el análisis solo se aplica a tierra o vegetación. No obstante, el software exige colocar un valor dado que el número de entradas de la tabla biofísica debe coincidir con el número de clases de uso de suelo considerado para el estudio, en ese sentido, se adoptó el valor de 100 como es mencionado en la revisión bibliográfica.

Tabla 8
Tabla biofísica

lucode	*Uso de suelo*	*Número de Curva*			
		cn_a	cn_b	cn_c	cn_d
1	Vegetación no agrícola	49	69	79	84
2	Suelo agrícola	62	71	78	81
3	Suelo desnudo	72	82	83	87
4	Suelo urbanizado	80	85	90	95
5	Cuerpo de agua	100	100	100	100

Nota. La tabla muestra la codificación de cada columna para que sea reconocido por el software InVEST. El archivo fue guardado en formato .csv. Elaboración propia a partir de *Autoridad Nacional del Agua (2015)* y *SENAHMI (2015).*

1.1.5. Ejecución del modelo

El modelo ejecutado en InVEST generó archivos ráster de retención de escorrentía (%) y escorrentía (mm) en el área de estudio para un evento de precipitación de 24 mm de profundidad de lluvia. En la Figura 5, se muestra la distribución espacial de porcentaje de retención de escorrentía, siendo las áreas con menor porcentaje de retención aquellas que pertenecen a los distritos de Miraflores, Mariano Melgar, Alto Selva Alegre, Paucarpata y Arequipa mayoritariamente; tal y como lo reporta Rivera, M. et al. (2018) en su investigación, donde afirma que la generación de avenidas de agua y flujos detritos en los distritos mencionados se debe a la presencia de torrenteras. Por su parte, Libélula, C.A & D.S.A (2018), incide en lo mismo, pero reporta que las causas también se deben al problema de asfaltado en zonas de amortiguamiento y la carencia de un sistema de drenaje pluvial, a lo cual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

autores como Zeballos, C. (2020) concuerdan al identificar dichos distritos como "completamente urbanos".

Por otro lado, se identifica que el "área agrícola" y la "vegetación no agrícola" son los entornos con mejor retención de escorrentía, llegando a alcanzar un 99% de retención en zonas donde se practica la agricultura. Ello se explica en que las tierras agrícolas pasan por procesos de labranza lo cual fomenta la intercepción de grandes volúmenes de agua y aumenta la capacidad de infiltración, asimismo, la cubierta vegetal amortigua el impacto de las gotas de lluvia a través de la intercepción por lo cual mantiene a los suelos en buen estado ante eventos de precipitación frecuentes y de gran intensidad según lo explicado por Taye, G. et al. (2024) y Cortinovis, C. et al. (2022). Por su parte, Nardella, L. et al. (2024), también identificó las áreas boscosas y tierras agrícolas como usos de suelo con mejor porcentaje de retención de escorrentía. Aquello confirmaría la participación del entorno vegetal en la mitigación de inundaciones pluviales.

Por el contrario, el área urbana es el entorno con menor porcentaje de retención tal y como lo obtuvo Costadone, L. et al. (2024) en su investigación sobre la oferta del servicio de retención de escorrentía, donde precisa que dicho uso de suelo presenta menor potencial de suministro de retención debido a su superficie impermeable. Al respecto, Dai, K. et al. (2023) en su estudio determinó que los ambientes construidos como aceras y carreteras impiden la infiltración al suelo lo cual resulta en mayor volumen y velocidad de escorrentía superficial.

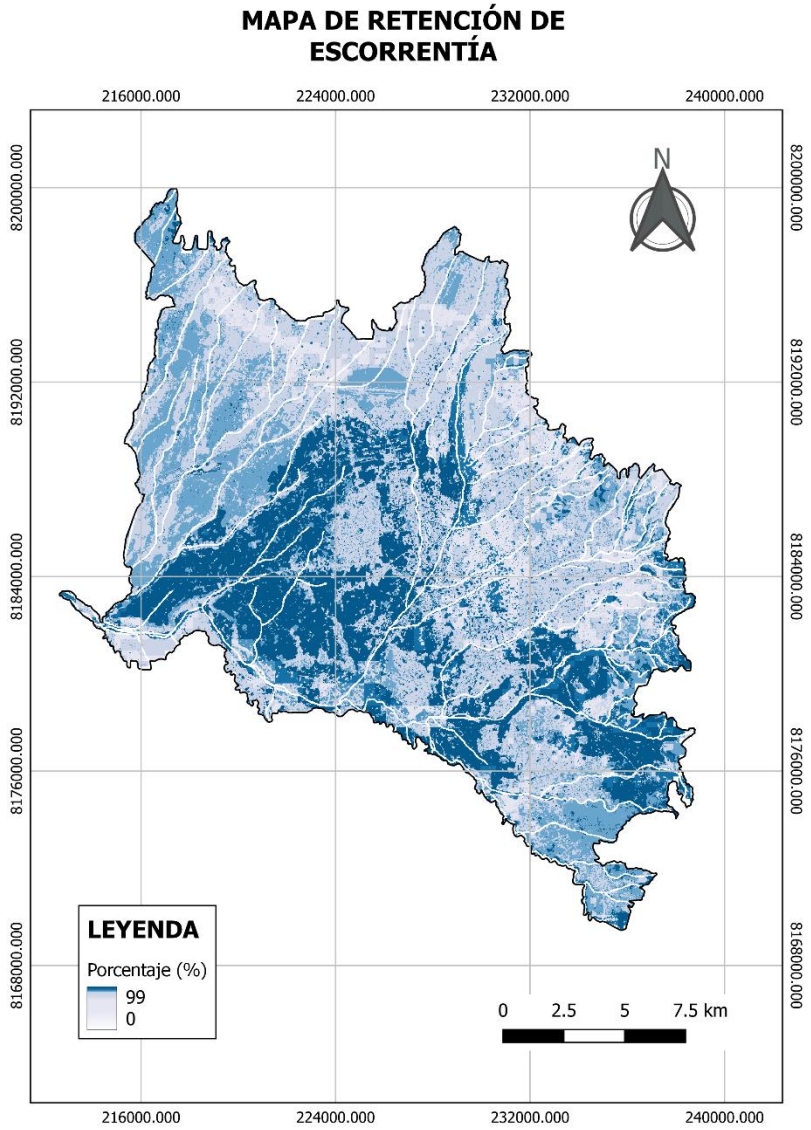
Cabe mencionar que la mayoría de los afluentes de la red hidrográfica se encuentra rodeada de suelo urbanizado o suelo desnudo, lo cual representa un riesgo debido a que existe mayor probabilidad de inundación. En tanto, se confirmaría que la capacidad del ecosistema ribereño para regular y mitigar las inundaciones pluviales se ve comprometida debido a la reducción de las áreas capaces de retener la escorrentía como los ambientes verdes o el margen del río, trayendo en la actualidad, consecuencias significativas para las comunidades; conclusión a la que también llegó Far, F. et al. (2024) en su estudio sobre la planificación del paisaje para la reducción de daños causados por las inundaciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5
Mapa de retención de escorrentía para el área metropolitana de Arequipa en el año 2023



Nota. Elaboración propia a partir de data georreferenciada procesada en InVEST.

1.2. Diseño del corredor urbano ecológico

1.2.1. Superficie de Resistencia

1.2.1.1. Inputs

1.2.1.1.1. Uso de suelo

Se utilizó el archivo ráster de uso de suelo en la reclasificación según su grado de idoneidad para acoger el corredor urbano ecológico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dado que el valor de 1 significa una baja resistencia, este fue otorgado a la vegetación no agrícola ya que, según lo investigado por Shen, J. et al. (2023), contribuyen en los procesos ecológicos, ejerciendo una influencia positiva en la dinámica del ecosistema. Un ejemplo de ello son los parques urbanos, los cuales ayudan a mantener la salud de los ecosistemas urbanos al proporcionar servicios ecosistémicos (Chin, E. & Kupfer, J., 2020). Los objetivos de la propuesta del corredor urbano se relacionan con los beneficios que otorgan las áreas con vegetación, asimismo, estos tienen la ventaja de ser administrados por un actor en común: las instituciones públicas, por tal motivo, se le asignó a estas áreas el grado más alto de idoneidad. De la misma manera, Balta & Yenil (2019) en su investigación sobre vías verdes urbanas, también otorga la mayor puntuación de idoneidad a la vegetación y áreas naturales disponibles en la localidad en su diseño de vías verdes.

Seguidamente, se clasificó con el valor de 2 a los cuerpos de agua ya que, como menciona Lopes et al. (2023), permiten la conectividad de fragmentos de relevancia ecológica de forma natural. Por otro lado, para Qian et al. (2018), su incorporación a la planificación de vías verdes urbanas otorga diversos beneficios ecosistémicos como el disfrute del paisaje natural, conservación ecológica ribereña y el control de inundaciones con el fomento de vegetación ribereña, siendo este último un objetivo de la propuesta.

Con respecto a las áreas agrícolas, se le asignó el valor de 3 dado que estas desempeñan un papel importante en la mejora de la calidad del agua y aire, y en la adaptación a las fluctuaciones climáticas (Blanco-Canqui, 2024), asimismo, debido a su ubicación en zonas urbanas y periurbanas, son considerados infraestructuras verdes (Li, P. et al., 2024). En contraste con lo expuesto, Wang, N. & Yan, Z. (2024) menciona que estas son áreas que constantemente se encuentran presionadas por la perturbación antrópica lo cual puede inducir al deterioro del suelo y la acumulación de agroquímicos que perturben sus funciones ecológicas, por tal motivo, en su investigación también consideraron un valor intermedio en su escala de idoneidad para este tipo de uso de suelo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En cuanto a suelo desnudo, se reclasificó con un valor de 4. Según Zúñiga-Terán et al. (2022), las vías verdes dependen de buenas condiciones de suelo. En el caso de los suelos desnudos, estos se encuentran expuestos a la erosión y podrían estar experimentando procesos de desertificación, lo que implica la pérdida de nutrientes y de permeabilidad, por tal motivo es probable que el estado de los suelos desnudos en el área de estudio presente esta situación. Por consiguiente, se requiere que estos sean estabilizados mediante planes de restauración para convertirlo en un espacio que permita el desarrollo de una infraestructura verde, sin embargo, esta tarea implica un mayor costo de recursos (Stanturf, 2021), generando una mayor resistencia para la ubicación de un corredor urbano ecológico.

Finalmente, el valor que indica la mayor resistencia fue otorgado al suelo urbanizado puesto que fragmentan las áreas naturales. Asimismo, es un desafío integrar corredores ecológicos en espacios con densa infraestructura como la red de carreteras y edificación, esto se debe a la necesidad de una logística considerable y la posibilidad de desencadenar conflictos en torno a las prioridades de uso de suelo (Wang et al., 2022; Padeiro, 2016). Por tal motivo, diversas investigaciones puntúan con el mayor puntaje de resistencia a estas áreas, teniendo como ejemplo a los autores Wang, N. & Yan, Z. (2024) y Wang, S. et al. (2021), quienes, en sus estudios sobre conectividad paisajística, consideran los terrenos urbanos como una barrera para este tipo de infraestructuras verdes, otorgándoles el valor más alto de resistencia.

Tabla 9
Valor por subcriterio de uso de suelo

Criterio	*Subcriterio*	*Valor*
Uso de suelo	Vegetación no agrícola	1
	Cuerpos de agua	2
	Área agrícola	3
	Suelo desnudo	4
	Área urbana	5

Nota. La tabla muestra el valor otorgado por cada subcriterio del criterio de uso de suelo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.2.1.1.2. Pendientes

Según Hashemi et al. (2020) citado por Rodrigues, B. et al. (2023), las pendientes pronunciadas no son recomendables para medidas de infiltración y retención, por lo tanto, consideran apropiado limitar la implementación de infraestructuras verde en áreas con una pendiente de hasta un 20%. Por su parte, Kaur, R. & Gupta, K. (2023), sostienen que pendientes de 5% son ideales, aunque también pueden considerarse aquellas de un rango menor a 15%. Por tal motivo, se reclasificó el criterio de pendientes de la siguiente manera:

Tabla 10
Valor por subcriterio de pendientes

Criterio	*Subcriterio (%)*	*Valor*
Pendientes	<4	2
	4 a 15	1
	15 a 25	3
	25 a 50	4
	>50	5

Nota. La tabla muestra el valor otorgado por cada subcriterio del criterio de pendientes.

1.2.1.1.3. Proximidad a red vial

Se procedió a reclasificar el criterio de la red vial según la distancia de cada anillo buffer tal como Yang et al. (2022) ejerce en su investigación sobre el diseño de una red ecológica, de tal manera que, a mayor distancia, existe una menor resistencia. Esto se debe a que la red vial representa un obstáculo para la implementación de un corredor ecológico que, dada su relevancia económica y social, resulta difícil alterar. Además, se reporta que el entorno natural que circunda las vías sufre daños y una disminución en su capacidad para resistir riesgos ambientales según informa Mo et al. (2017). Esta situación se atribuye a la continua presión y avance de la red vial, reconocida como una estructura que genera fragmentación en entornos naturales y seminaturales (Angelstam et al., 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 11
Valor por subcriterio de proximidad a red vial

Criterio	*Subcriterio (m)*	*Valor*
Proximidad a red vial	0-50	5
	50-100	4
	100-150	3
	150-200	2
	>200	1

Nota. La tabla muestra el valor otorgado por cada subcriterio del criterio de proximidad a red vial.

1.2.1.1.4. Proximidad a red hidrográfica

Se generaron 5 niveles de buffer donde a menor distancia de la red hidrográfica, se asigna un valor de resistencia menor. Autores como Yang, Y. et al. (2022) realizan este procedimiento para facilitar la valoración, donde otorgan la puntuación más elevada en idoneidad al buffer más cercano a los cuerpos de agua debido a que las áreas cercanas a los recursos hídricos ofrecen múltiples servicios ecosistémicos los cuales se busca potenciar, como es el de retención del agua. Asimismo, se tomó en cuenta el hecho que los cuerpos de agua son corredores que promueve la conexión.

Tabla 12
Valor por subcriterio de proximidad a red hidrográfica

Criterio	*Subcriterio (m)*	*Valor*
Proximidad a red hidrográfica	0	1
	0-30	2
	30-100	3
	100-300	4
	>300	5

Nota. La tabla muestra el valor otorgado por cada subcriterio del criterio de proximidad a red hidrográfica.

1.2.1.2. Proceso de jerarquía analítica

El método de jerarquía analítica es utilizado en la toma de decisiones multicriterio. Kumar, M. & Shaikh, V (2012) en su estudio sobre análisis de idoneidad del sitio para el desarrollo urbano, ejecutan este proceso obteniendo resultados objetivos y consistentes lo cual reduce la posibilidad de errores en sus

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

resultados. En tal sentido, se procedió con el análisis de los criterios para su correcta puntuación siguiendo la escala de nueve puntos de Saaty propuesto por el mismo autor.

Respecto a los criterios, el análisis del uso de suelo permite comprender la función de los ecosistemas y la composición del paisaje, lo cual es relevante para la toma de decisiones informadas en ecosistemas vulnerables tal como afirma Singh & Singh (2024). Asimismo, de acuerdo con Li, C. et al. (2023), es considerado la data con más información sobre cómo los humanos interfieren en el flujo de materiales y energía en los ecosistemas, por tal motivo, suele ser considerado como un criterio indispensable en la generación de una superficie de resistencia.

En el caso del criterio de cercanía a la red hidrográfica, Vian et al. (2021) menciona que el acceso público a las orillas del río es un indicador de éxito en proyectos desarrollados en la ribera ya que genera espacios multifuncionales. En ese sentido, la planificación en zonas de amortiguamiento puede reducir el riesgo de inundaciones en las zonas urbanas cercanas como sostiene Luo, Z. et al. (2023). En ese contexto, Kumari & Sarika (2022) nos recuerda que es importante considerar que los ríos y sus afluentes son considerados biocorredores dado que da lugar a conexiones hidrológicas y biológicas, asimismo, Mihov & Hristov (2011) menciona que suelen ser el único vínculo natural entre bosques aislados.

Por otro lado, Lin G. et al. (2023) menciona que las pendientes están relacionadas a la estabilidad del suelo y crecimiento de la vegetación siendo las menos pronunciadas aquellas que presentan menor riesgo de deslizamientos de tierra y escorrentía superficial, lo que facilita la implementación de infraestructura verde en estas áreas. Sin embargo, no resulta más importante que los criterios de proximidad a la red hidrológica y uso de suelo debido a que se desea priorizar áreas con miras a la conectividad entre parches y la gestión de mitigación de inundaciones pluviales para la conectividad y mejora de los servicios ecosistémicos. Por su parte, Shadmaan & Hassan (2024) en su investigación puntuó de la misma manera la relación pendiente-uso de suelo y ríos debido a que son criterios donde resulta más sencillo identificar en ellas la susceptibilidad de un área a las inundaciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por último, según Huang, X. et al. (2021) la proximidad de la red vial es un criterio que evalúa la perturbación humana, ya que son entornos muy relevantes en los ecosistemas urbanos. Ante ello, Orhan, O. (2021) menciona que una propuesta de corredor podría retener la ampliación de las redes viales, así como los efectos ambientales que estos generan, es por ello que su consideración en análisis para el diseño de corredores ecológicos es relevante, no obstante, es importante mencionar que este criterio recopila únicamente un elemento, a comparación de otros como lo es el criterio de uso de suelo.

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, se realizó la puntuación de idoneidad a partir de la comparación entre criterios.

Tabla 13
Matriz de comparación por pares y su ponderación

Criterio	***Uso de suelo***	***Proximidad a red hidrográfica***	***Pendiente***	***Proximidad a red vial***
Uso de suelo	1	2	3	4
Proximidad a red hidrográfica	0.50	1	2	4
Pendiente	0.33	0.50	1	3
Proximidad a red vial	0.25	0.25	0.33	1
Total	2.08	3.75	6.33	12

Nota. La tabla muestra el valor otorgado para cada criterio.

Tabla 14
Matriz de comparación por pares normalizada

Criterio	***Uso de suelo***	***Proximidad a red hidrográfica***	***Pendiente***	***Proximidad a red vial***	***Peso***
Uso de suelo	0.48	0.53	0.47	0.33	0.45
Proximidad a red hidrográfica	0.24	0.27	0.32	0.33	0.29
Pendiente	0.16	0.13	0.16	0.25	0.18
Proximidad a red vial	0.12	0.07	0.05	0.08	0.08
Total	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Nota. La tabla muestra el valor por la comparación por pares normalizada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 15
Cálculo de consistencia

Criterio	***Cálculo***	***Valor de Consistencia***
Uso de suelo	[(1)(0.45)+(2)(0.29)+(3)(0.18)+(4)(0.08)] =1.89	1.89 / 0.45 = 4.20
Proximidad a red hidrográfica	[(0.50)(0.45)+(1)(0.29)+(2)(0.18)+(4)(0.08)] = 1.20	1.20 / 0.29 = 4.14
Pendiente	[(0.33)(0.45)+(0.50)(0.29)+(1)(0.18)+(3)(0.08)] = 0.71	0.71 / 0.18 = 3.94
Proximidad a red vial	[(0.25)(0.45)+(0.25)(0.29)+(0.33)(0.18)+(1)(0.08)] = 0.32	0.32 / 0.08 =4.00

Nota. La tabla muestra el cálculo y el valor de consistencia.

Para el cálculo de la relación de consistencia, se aplicó la fórmula establecida por Kumar, M. & Shaikh, V. (2012). El cual nos otorgó un valor de 0.026 que según la bibliografía, es un nivel razonable de consistencia ya que es un valor menor a 0.10.

$$\lambda = \frac{4.20 + 4.14 + 3.94 + 4.00}{4} = 4.07$$

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{n - 1}$$

$$CI = \frac{4.07 - 4}{4 - 1} = 0.023$$

$$CR = CI \ / \ RI$$

$$CR = \frac{0.023}{0.9} = 0.026$$

Finalmente, para la generación del mapa de superficie de resistencia, se aplicó la siguiente fórmula, considerando los pesos obtenidos a través del proceso de jerarquía analítica. El resultado se muestra en la figura 6.

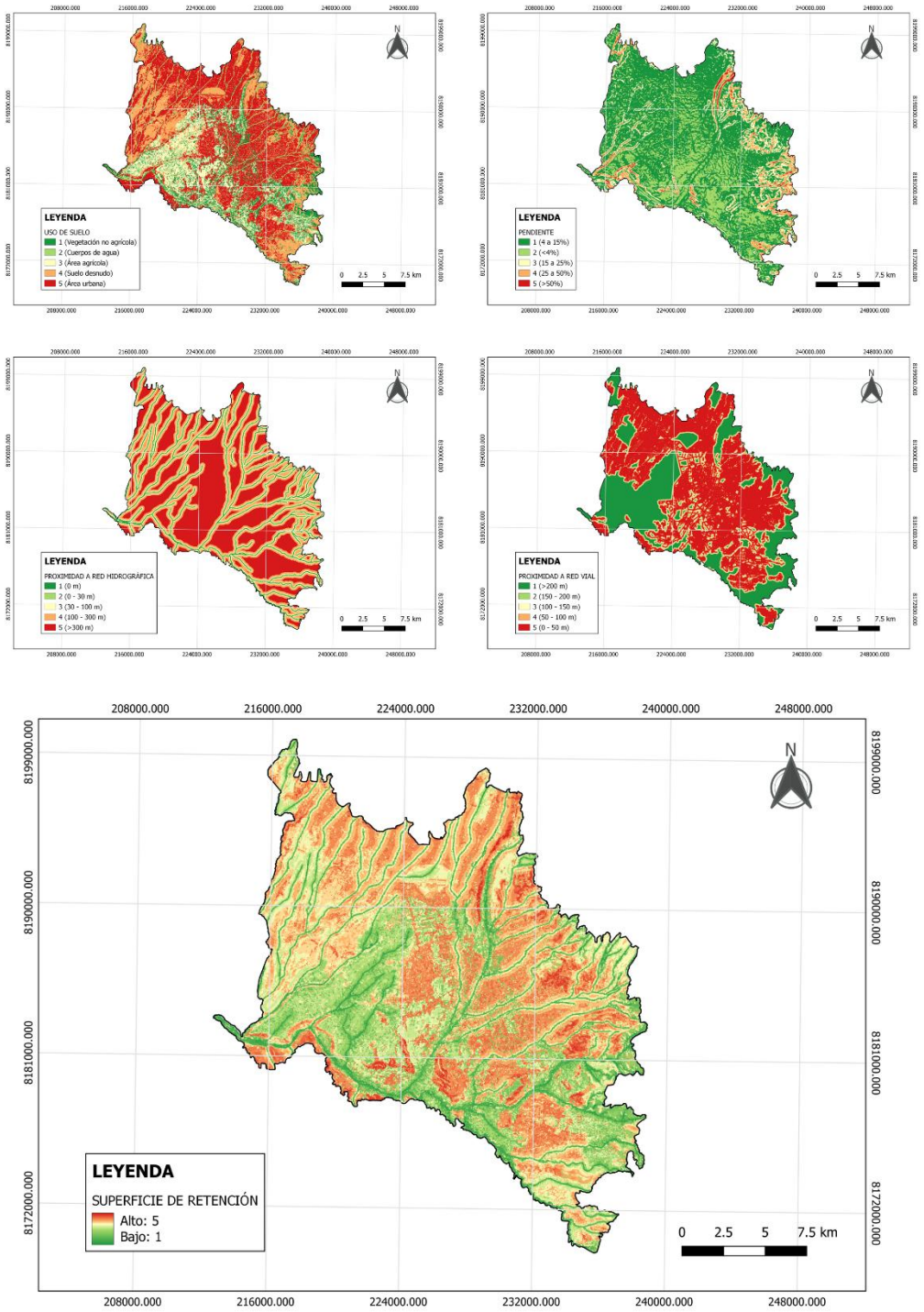
$$\begin{aligned} Mapa\ de\ Superficie\ de\ Resistencia \\ &= ([Uso\ de\ suelo] * 0.45) \\ &+ ([Proximidad\ a\ red\ hidrográfica] * 0.29) \\ &+ ([Pendiente] * 0.18) + ([Proximidad\ a\ red\ vial] * 0.08) \end{aligned}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 6
Mapas de criterios y superficie de resistencia



Nota. Elaboración propia basada en data georreferencial del área metropolitana de Arequipa.

En la Fig. 6, se puede observar que el área de elevada resistencia se distribuye en las zonas con alta urbanización, principalmente en los distritos de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Miraflores, Mariano Melgar, Alto Selva Alegre, Paucarpata y Arequipa. De los cuales, Miraflores y Mariano Melgar, se confirman como sectores completamente urbanos según Zeballos, C. (2020). Ello es proporcional a la gran concentración de red vial; por otro lado, la zona presenta áreas con pendientes moderadamente empinadas a empinadas, dificultando así el establecimiento del corredor urbano ecológico.

Caso contrario ocurre en la zona oeste del área de estudio donde se detecta las zonas de baja resistencia, el cual corresponde a la ubicación de campiñas. Cabe destacar que el río y sus afluentes representan entornos de baja resistencia y estos se extienden por toda el área de estudio lo cual resultaría beneficioso en la conexión de parches y la contribución de estabilidad y sostenibilidad a los ecosistemas urbanos, tal como menciona Lin, S. et al. (2024) en su investigación sobre corredores fluvial urbano.

1.2.2. Obtención de fuentes ecológicas

De acuerdo con el estudio realizado por Cao et al. (2024), las fuentes ecológicas proveen servicios ecosistémicos, mantienen la continuidad de los procesos naturales y previenen la degradación ecológica. Por tal motivo, es importante su identificación en las propuestas de corredores ecológicos ya que unirlas, permitiría magnificar los beneficios. En ese aspecto, se consideró los resultados obtenidos del software InVEST para la identificación de dichos parches según su valor de escorrentía.

Para tal caso, se extrajo un total de 4,085 parches con un valor de escorrentía de 0 mm lo cual evidencia un control de las inundaciones pluviales en la simulación realizada, por tal motivo, son considerados como posibles fuentes ecológicas. Estos parches se encuentran distribuidos en toda el área de estudio, no obstante, teniendo en cuenta los límites del área, existe una considerable concentración en los distritos de Uchumayo, Sachaca, Tiabaya, Socabaya, Characato y Sabandía.

Para Sohn, W. et al. (2021), los parches grandes y con una proximidad cercana resulta ser positivo para el servicio de regulación de inundaciones ofrecido por una infraestructura verde. Ante lo expresado por dicho autor, los parches con un área menor a 10 hectáreas y que se encontraban aislados fueron descartados, obteniendo así un total de 49 parches.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Los 49 parches pasaron por un proceso de evaluación de probabilidad de conectividad obteniéndose valores de importancia de parches (dPC) que oscilan de 0.037 a 53.17. Para esta investigación, se extrajo los parches que presentan un valor de dPC mayor a 1, el cual es el valor referencial ampliamente utilizado en investigaciones con enfoques en áreas urbanizadas como las realizadas por Liu, C. et al. (2020) y Li, C. et al. (2024). Complementando, Wang, N. & Yan, Z. (2024) sostienen que cuanto más elevado sea el valor, mayor será la importancia del parche en la conectividad del paisaje. En función a ello, se realizó el descarte, obteniendo así un total de 26 fuentes ecológicas.

Tabla 16
Métrica de 49 parches

id	*Área (hectáreas)*	*Ranking de importancia*	*dPC*
1	11	38	0.370
2	58	21	1.700
3	82	20	2.272
4	451	3	21.412
5	447	5	17.401
6	1762	2	52.675
7	54	22	1.618
8	22	30	0.647
9	37	23	1.518
10	78	17	3.618
11	1338	1	53.171
12	30	28	0.914
13	36	33	0.440
14	20	42	0.276
15	11	43	0.227
16	27	12	6.567
17	140	16	3.994
18	48	24	1.455
19	33	26	1.044
20	14	34	0.438
21	15	36	0.414
22	56	10	8.359
23	14	32	0.443
24	28	27	0.935
25	11	41	0.301
26	124	11	6.774
27	37	9	8.873
28	125	4	18.783
29	12	45	0.193
30	146	15	4.481
31	57	14	4.641

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

32	32	29	0.845
33	15	35	0.420
34	470	6	13.54
35	62	25	1.340
36	11	49	0.037
37	266	13	4.893
38	12	44	0.208
39	12	47	0.113
40	14	19	2.694
41	256	8	10.625
42	168	18	2.821
43	435	7	10.697
44	22	38	0.362
45	12	40	0.304
46	14	46	0.173
47	20	37	0.396
48	30	31	0.517
49	29	48	0.105

Nota. La tabla muestra el id asignado a cada parche, su área en hectáreas, ranking de importancia y su valor dPC.

Según los resultados, las 26 fuentes ecológicas identificadas se encuentran distribuidas en 12 de los 19 distritos que abarcan el área de estudio. Se registra una mayor concentración en el lado oeste, las cuales representan el 17.21% del área de estudio (6770.50 hectáreas). La mayoría se encuentran ubicados en áreas agrícolas mientras que una pequeña proporción, está ubicado a las riberas del río.

Algunos parches se encuentran rodeados parcialmente de suelo desnudo y área urbanizada mientras que otros son islas dentro de un entorno totalmente asfaltado. Por lo tanto, estos parches estarían atravesando presiones antrópicas. Al respecto, Montesinos-Tubée, D. et al. (2019) menciona que se debe al avance de la infraestructura para vivienda, actividades productivas y/o de transporte, el desvío de los cauces naturales y las actividades agrícolas intensivas. Es importante destacar que se trata de áreas que reportan valores nulos de escorrentía, por lo tanto, son fuentes ecológicas que prestan un importante aporte para la estabilidad de las funciones ecológicas y el desarrollo sostenible del lugar; en tal sentido, es importante su protección y limitar el desarrollo urbano como lo expresa Wang, T. et al. (2024) en su estudio sobre la construcción de una red ecológica.

Por otro lado, según su métrica, no se observa un patrón en la relación área y dPC. Se registran parches con una mayor extensión de área y un dPC elevado, así

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

como también, parches que, a pesar de tener un área reducida, presenta un valor de dPC más elevado que aquellos que registran mayores áreas. Por ejemplo, el cuarto parche más importante para mejorar la conectividad presenta 8 puntos más de importancia que el octavo parche que le duplica en extensión. Según Han, L. et al. (2022), esto puede deberse a que los parches aportan de diferente forma a la conectividad del paisaje según sus atributos como topología, bordes y tamaño. Por lo tanto, el índice de conectividad es independiente del factor de área y este resultado es una invitación a considerar parches grandes como pequeños en la conectividad del paisaje si, según su métrica, demuestran ser competentes.

1.2.3. Modelo de ruta de menor costo

Tras la culminación del mapa de superficie de resistencia y la identificación de fuentes ecológicas, se utilizó ambos resultados para la ejecución del modelo "Least-Cost Path" el cual generó 26 posibles corredores con una longitud total de 363 km.

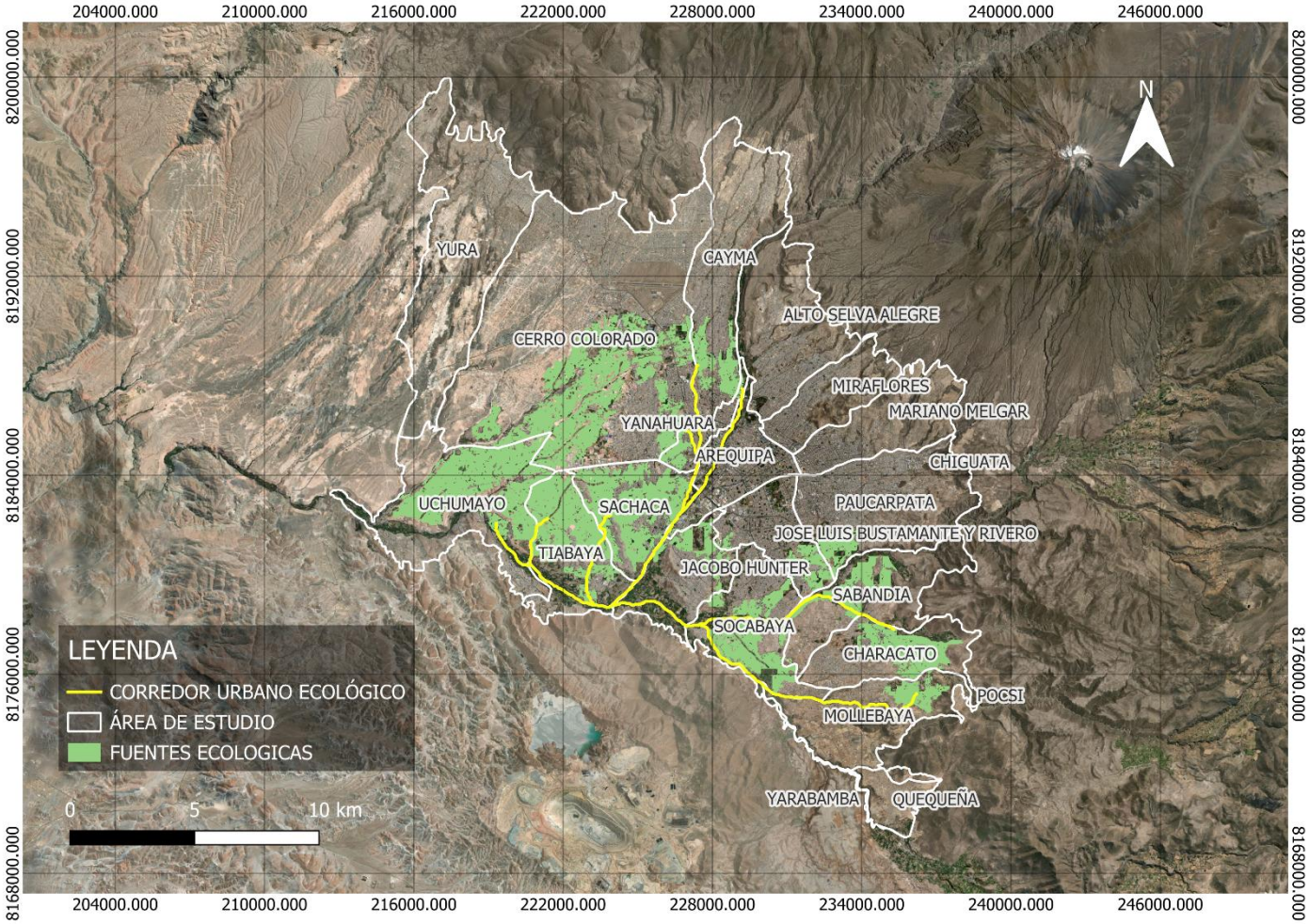
Los corredores fueron evaluados según su longitud, conectividad de parches y accesibilidad del sitio teniendo en cuenta el valor de costo ya que como indica Yuan, Y. et al. (2022), los corredores con elevado valor de resistencia son considerados de mala calidad. Como resultado, el corredor número 26 es aquel que cumple con todo lo mencionado. Este tiene una longitud de 57.003 km y conecta la mayoría de las fuentes ecológicas al menor costo en términos de resistencia de superficie.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 7

Mapa de corredor urbano ecológico



Nota. Elaboración propia a partir de data georreferenciada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3. Elaboración de la propuesta de corredor urbano ecológico

1.3.1. Identificación de actores

La actual área metropolitana de Arequipa es el resultado de una urbanización rápida y no regulada debido al crecimiento poblacional y las malas políticas de gestión territorial, en consecuencia, estas áreas enfrentan desafíos como las inundaciones pluviales debido a la concentración de desarrollo urbano, lo cual las convierte en zonas vulnerables según lo mencionado por Le Vaslot, H. (2023). Ante esta situación, la propuesta de un corredor urbano ecológico busca integrar las áreas naturales y consigo recuperar el servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales.

Según la Guía para el Diseño de Corredores Verdes Urbanos: Experiencia de Loja de GIZ (2022), la identificación de los actores que puedan formar parte de la iniciativa es imprescindible para la mejora del proyecto y su implementación.

Para el caso de esta propuesta, considerando que las vías verdes agregan valor al patrimonio natural y humano (Zhao, M. et al., 2021), los organismos públicos como ministerios y municipalidades se constituyen como un actor importante. Al respecto, Vano, S. et al. (2021) menciona que este grupo es el responsable de la toma de decisiones, por lo tanto, tiene la capacidad de impulsar proyectos que sean multiescala e inclusivos. A su vez, Azadi, H. et al. (2011), indica que tienen las herramientas para contribuir a la conservación y aprovechamiento sostenible de las áreas verdes mediante la promulgación de un marco legal; además por su carácter público e imparcial, puede mediar entre los intereses de otras partes interesadas. No obstante, en la Política Nacional del Ambiente al 2030 se menciona la necesidad de fortalecer las capacidades de las entidades de los tres niveles de gobierno, así como las entidades participantes para la optimización en la elaboración y ejecución de instrumento de ordenamiento territorial, lo cual confirma no solo la participación de estos organismos, sino también lo que se requiere para consolidar estas propuestas.

Por otro lado, el sector privado es un actor importante en proyectos ambientales. De acuerdo con Zingraff-Hamed, A. et al. (2020), son un agente social y económico considerado como vulnerable ya que es uno de los grupos más afectados por riesgos hidrometeorológicos, ante ello, este grupo se caracteriza por ser los inversores directos para medidas y actividades relacionadas a las soluciones basadas en la naturaleza ya que se convertirán en beneficiarios de esta clase de proyectos como

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

menciona Brill, G. et al. (2022) en su guía de participación de stakeholders para soluciones basadas en la naturaleza. Un participante importante dentro de este sector, son los proveedores de servicios públicos dado que el servicio que proveen está directamente relacionado con la calidad y disponibilidad de los servicios ecosistémicos o los recursos naturales, en tal sentido, la propuesta de una solución basada en la naturaleza resulta en beneficios económicos, operativos y sociales para estas empresas y la población que adquiere sus servicios. Por lo tanto, autores como Ligtermoet, E. et al. (2022) consideran que concretar una cooperación con estos actores resultaría potenciar la divulgación, disponer con sus servicios en etapas de implementación y mantenimiento o incluso contar con su soporte para superar el obstáculo financiero.

De forma similar, la sociedad civil es un actor relevante ya que estará ampliamente relacionada con los beneficios de la propuesta, en tal sentido, es relevante involucrar a la comunidad local durante la planificación y la implementación pues garantizará que el proyecto satisfaga las necesidades de los habitantes, según lo mencionado por Lopes, I., et al. (2023). Como resultado generará una sensación de representación y validación entre los residentes. Un importante colaborador son los agricultores debido a que son propietarios de las grandes extensiones de área agrícola que se constituyen como fuentes ecológicas en esta investigación. En tal circunstancia, Ryan, R. & Walker, J. (2004) sostiene que es importante una asociación público-privada para la conservación de los recursos naturales y la protección de las tierras agrícolas frente al avance urbano.

Para integrar una solución basada en la naturaleza, es necesario contar con la aceptación de la comunidad, para ello, se requiere de la difusión de conceptos y beneficios. Para tal caso, la academia es el stakeholder encargado de apoyar dicha labor. En palabras de Zingraff-Hamed, A. et al. (2020), la academia es facilitador y proveedor de conocimiento lo cual ayudaría en generar una percepción positiva sobre estas propuestas, además de ser ampliamente aceptados por las demás partes interesadas como menciona Lupp, G. et al. (2021).

De igual forma, las organizaciones no gubernamentales y colectivos ambientales son implementadores y asesores técnicos como lo expresa Brill, G. et al. (2022) y Ligtermoet, E. et al. (2022). Además, como lo indican los hallazgos de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Megyesi, B. et al. (2024), también son capaces de fomentar la participación de la ciudadanía y promover la adopción de estas medidas debido a su alcance.

Por último, está el caso de las organizaciones internacionales que, en la búsqueda del desarrollo sostenible, pueden proporcionan financiamiento, apoyo técnico y coordinación como también lo destaca Megyesi, B. et al. (2024). En el país se reporta casos donde estos organismos brindaron soporte a diversos proyectos, un ejemplo de ello es el proyecto "EbA Lomas" en Lima cuya entidad implementadora fue el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y contó con el financiamiento parcial del Fondo Mundial para el Medio Ambiente (Leiva, J., 2022).

1.3.2. Criterios de localización

La ubicación de las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) influye en los beneficios que aportan, como también indican los hallazgos de Keeler, B. et al. (2019). Por tal motivo, su ubicación es estratégica en el diseño de estas propuestas.

Para su planificación y como paso inicial en el proceso de selección de la ubicación de la infraestructura verde, se utilizan modelos que cuantifican y mapean servicios ecosistémicos como lo describe Lourdes, K. et al. (2022) en su estudio sobre planificación de infraestructura verde. Cabe destacar, que este criterio está en concordancia con uno de los lineamientos del Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad, ya que se promueve infraestructura verde que aprovecha los procesos naturales de los ecosistemas para brindar mejoras en el entorno.

Para su ejecución, se utilizó el software InVEST el cual es un software ampliamente utilizado para evaluar servicios ecosistémicos en un escenario de implementación de las SbN según lo mencionado por Cortinovis, C. et al. (2022). De forma similar, Costadone, L. et al. (2024) afirma que es considerado una herramienta importante en el proceso de incorporación de infraestructura natural en la planificación sostenible.
Este programa cuenta con múltiples modelos siendo el de "Mitigación del Riesgo de Inundación Urbana" de InVEST el que permite conocer la capacidad de las ciudades para controlar la generación de escorrentía durante un evento de lluvia a través de la cuantificación biofísica de la producción de escorrentía (Quagliolo, C. et al., 2023) y de una forma accesible y fácil de entender como señala Isely, E. et al. (2010). Como

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

resultado, se obtuvo archivos shapefile y ráster sobre la retención de agua y valor de escorrentía en un área de estudio, cuyas áreas con un valor nulo de escorrentía fueron elegidas como “fuentes ecológicas”.

No obstante, si bien la modelización de los servicios ecosistémicos establece los criterios para direccionar la transformación urbana, mejorando consigo la eficiencia en los planes o proyectos como lo demuestra Ronchi, S. et al. (2020), autores como Kirby, M. et al. (2024) destacan que los resultados obtenidos de este proceso de evaluación son informativos y complementarios. Por lo expuesto, Cortinovis, C. et al. (2022) sugiere una investigación adicional como es el estudio de la superficie. Este consta del estudio de la superficie del área de interés y la superposición cartográfica de la data recopilada, el cual ayuda a tener representaciones significativas de la condición actual del paisaje como afirma Salata, S. & Grillenzoni, C. (2021). En tal sentido, se llega a conclusión que la ubicación del corredor ecológico es el resultado de selección de las fuentes ecológicas y la elaboración de una superficie de resistencia como lo manifiesta Huang, X. et al. (2021). Dicha superficie de resistencia muestra la dificultad de llevarse a cabo los procesos ecológicos en paisajes heterogéneos, la cual está influenciada por factores naturales y humanas como señala Zhang, Y. et al. (2024) y Wang, Y. et al. (2022b). Por tal motivo, se consideró data sobre perturbación humana, datos topográficos y datos de uso de suelo en la evaluación y ponderación para la elaboración de estos mapas, tal y como lo propone Teng, M. et al. (2011) en su estudio sobre planificación de vías verdes. Cabe destacar, que su creación es a través de sistemas de información geográfica ya que es capaz de integrar datos de una forma rápida y eficaz para una evaluación del suelo confiable como lo demuestra Qian, J. et al. (2018) en su investigación.

Tras la ejecución de los modelos, los resultados revelaron que la menor oferta del servicio ecosistémico se encuentra en suelo urbanizado, de igual manera, este uso de suelo es el que presenta mayor resistencia. En contraste, los espacios verdes fue el entorno con mejor respuesta a un evento de inundación pluvial y de menor resistencia, los cuales se caracterizan por ser espacios fragmentados. Ante ello, se buscó conectar los parches para mejorar la situación actual del servicio ecosistémico. De manera similar, investigaciones como la de Li, Y. et al. (2023) plantea que la conectividad de estos parches permite mejorar el suministro del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones y ayudar a contrarrestar la vulnerabilidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Por ende, es a partir de modelos como el "least-cost path" o ruta de menor costo, del cual se obtuvieron las rutas entre parches a partir de un coste acumulativo teórico mínimo, mismo que es considerado un método efectivo según Teng, M. et al. (2011) y muy accesible entre los planificadores de paisajes como sostiene Balbi, M. et al. (2019). Es importante destacar, que la selección de las mejores rutas es otro proceso clave en la planificación de la ubicación de las vías verdes, donde autores como Qian, J. et al. (2018) demuestra que depende de la superficie de costo y la relevancia de los procesos ecológicos.

Bajo dichos criterios, fue posible identificar las fuentes ecológicas que se buscan conectar y conocer los espacios que permiten la integración de un corredor urbano ecológico que busca la mejora del servicio ecosistémico de mitigación de inundaciones pluviales.

1.3.3. Diagnóstico territorial y social

Tramo 1: El Huayco, Uchumayo – Bifurcación del río Chili y río Socabaya

La propuesta de corredor urbano ecológico está conformada por varios tramos. El primer tramo inicia en las riberas del río Chili en el distrito de Uchumayo, cerca al pueblo tradicional "El Huayco". Este se extiende por aproximadamente 6.486 km hasta llegar a la división del río Chili y el río Socabaya. El tramo recorre los distritos de Uchumayo y Tiabaya.

Su recorrido se extiende en suelo con una capacidad de infiltración que oscila entre los 36 y 13 mm/hora y con un terreno de moderada a fuerte inclinación según la clasificación de Bradbury, K. (2000) e Instituto Nacional de Recursos Naturales (1999) respectivamente. Este recorrido se encuentra rodeado mayoritariamente de campos agrícolas con poca presencia de parches de vegetación no agrícola al inicio y centro del tramo. Según Montesinos-Tubée, D. et al. (2019), en esta zona habitan especies nativas como *Myrica pavonis*, *Schinus molle* y *Escallonia angustifolia* y especies endémicas como *Tecoma fulva subsp. arequipensis*, *Helogyne straminea*, entre otras. Por otro lado, los campos agrícolas en este sector corresponden al cultivo de cebolla china, ajo, alfalfa, papa y especies aromáticas. Cabe destacar que, el recorrido no atraviesa entornos urbanos, pero no muy lejos del centro del tramo, se ubica el centro poblado del distrito de Uchumayo y lo mismo ocurre al final del corredor con el centro poblado del distrito de Tiabaya.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tramo 2: Río Chili – Av. Victor Andrés Belaunde, Tiabaya

El segundo tramo se extiende en la división política de los distritos de Uchumayo y Tiabaya por 2.293 km hasta la avenida Víctor Andrés Belaunde. Este atraviesa los campos agrícolas de la Irrigación Bajo Cural en el cual se registran cultivos de cebolla, papa, alfalfa, maíz forrajero, palto, zanahoria, alverja y ajo en zonas con presencia de quebradas como sostiene Quiroz, J. (2019) en su investigación.

En alrededores del tramo solo se desarrollan actividades agrícolas y no existen centros urbanos, por lo tanto, las vías entre los campos agrícolas no se encuentran asfaltados.

Tramo 3: Río Chili – Calle Daniel Alcides Carrión, Sachaca

Este tramo inicia en un parche de vegetación natural en la ribera fluvial del río Chili para luego avanzar entre campos agrícolas y área urbana. El corredor avanza y rodea el centro del distrito de Tiabaya, pasa por el vivero municipal de Tiabaya, luego cruza por la calle Miguel Grau, la avenida Víctor Andrés Belaunde entre el asentamiento humano "Alto San José" y el pueblo joven "8 de diciembre". Tras ello avanza hasta rodear el pueblo joven "Santa María de Guadalupe" y salir por la calle Alfonso Ugarte luego avanza por la avenida Hipólito Sanchez Trujillo y la calle Daniel Alcides Carrión, llegando a los campos agrícolas del distrito de Sachaca.

Este tramo tiene una extensión de 4.575 km. Según Arenas, M. (2021), la topografía del terreno es llano y el desarrollo agrícola en la zona es del tipo "minifundista" con cultivo de ajo y cebolla principalmente.

Tramo 4: Bifurcación del río Chili y río Socabaya – Plaza de Mollebaya, Mollebaya

Pasando el tercer tramo, el corredor avanza por el camino del río Chili hasta alcanzar la división política de los distritos de Tiabaya y Jacobo Hunter, donde se divide en dos tramos: uno continúa la ruta del río Chili y otro, el camino del río Socabaya.

Para el tramo del río Socabaya, este va con dirección al distrito de Jacobo Hunter, atravesando campos agrícolas hasta llegar al distrito de Socabaya donde se generan otros dos tramos. El cuarto tramo continúa el camino del río Socabaya hasta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

rodear el asentamiento humano "La Mansión de Socabaya" y adoptar la ruta del río Yarabamba. Desde ahí se dirige a los campos agrícolas que rodean la plaza de Mollebaya en el distrito de Mollebaya a través de un afluente, pasando por la asociación "La Villa del Sur", "Villa de Socabaya", el asentamiento humano "Horacio Zeballos Gámez", centro poblado "Ampliación Santa Ana" y el complejo arqueológico "Churajón". Su recorrido comprende una distancia de 15.608 km.

El inicio de este tramo se desarrolla en el distrito de Jacobo Hunter entre cultivos de maíz, zanahoria, cebolla, ajo, cebada y trigo, que forman parte del patrimonio natural del distrito. Precisamente, el corredor atraviesa las campiñas de Tingo Grande y Huasacache (Municipalidad de Jacobo Hunter, 2021).

En el avance hacia al distrito de Socabaya, se suman nuevos cultivos a los ya mencionados, como alfalfa y alverja según la Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa (2021). Caso contrario ocurre en la parte final del tramo, en el distrito de Mollebaya, donde la vegetación se ve reducida y el corredor empieza a rodearse de área urbana y suelo desnudo, con algunos parches de campos agrícolas cerca de la avenida Characato. Finalmente, este corredor se conecta a una fuente ecológica conformada por cultivos de alfalfa, papa, quinua, maíz, habas, zanahorias, etc. como menciona Segura, C. (2014). En esta área predomina una planicie con una baja pendiente constituida por una terraza de depósito aluvial (Salinas, J., 2018).

Tramo 5: Bifurcación del río Socabaya y río Yarabamba – Plaza de Characato, Characato

El quinto tramo continua el camino del río Socabaya, rodeando el centro urbano de dicho distrito para luego adoptar el camino del río Cancahuani el cual atraviesa la zona urbana del distrito de Sabandía hasta situarse cerca de la Plaza Characato en el distrito de Characato con un total de 9.054 km. Este tramo avanza entre varios restaurantes tradicionales que son un punto de turismo en la localidad, asimismo, se encuentra el Molino de Sabandía que inicialmente aprovechaba la fuerza motriz del agua del río para la molienda de harina de trigo, maíz, etc., actualmente, en sus afueras se ha desarrollado el negocio de recorrido con caballos por la campiña del lugar (Carpio, A. & Montes, L., 2014).

La presencia de campiñas en el recorrido del tramo 5 es mayor a la de otros tramos dado que son los distritos de Characato, Sabandía y Socabaya aquellos donde

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

aún existe una tradición agropecuaria dentro del área metropolitana de Arequipa, asimismo, es denominado "reserva paisajística" según lo publicado por la Municipalidad Distrital de Socabaya (2009). Este tramo avanza en un terreno plano con un suelo que contiene el grupo hidrológico "B", es decir, de una capacidad de infiltración moderada incluso si se encuentra saturado, por lo tanto, genera menor escorrentía. Cabe mencionar que se ve rodeado de suelos empinados los cuales coinciden con tener poca permeabilidad según su grupo hidrológico, de acuerdo lo mencionado por Bradbury, K. (2000) e Instituto Nacional de Recursos Naturales (1999).

Tramo 6: Bifurcación del río Chili y río Socabaya – Campiña puente Chilina, Yanahuara

Para el tramo del río Chili, el corredor avanza por la ribera rodeado de campos agrícolas hasta ingresar a la ciudad en paralela a la avenida Arancota para luego cruzar la misma y encontrar la avenida La Ribereña. Posteriormente atraviesa la vía expresa de la variante de Uchumayo, el puente de fierro y puente San Martín hasta convertirse en la paralela de la Av. La Marina. Finalmente, cruza la Av. José Abelardo Quiñones, puente Grau y el puente Chilina hasta conectarse a la campiña. Este recorrido tiene una longitud de 11.021 km y presenta un tipo de suelo permeable principalmente y del tipo plano (Bradbury, K., 2000; Instituto Nacional de Recursos Naturales, 1999).

De acuerdo con Montesinos-Tubée, D. et al. (2019), en el camino a su llegada a la fuente ecológica, se evidencia una escasa agricultura además de una elevada concentración urbana de red vial, infraestructura comercial como restaurantes y parques de recreación urbana.

Es importante resaltar que este tramo es el único que pasa por zonas con peligro de inundación muy alto, como se expresa en la investigación de Zeballos, C. (2020), el cual se debe a la constante presión sobre las defensas ribereñas.

Tramo 7: Av. La Ribereña, Sachaca – Urb. Marisol de Cayma, Cayma

A 9.636 km del inicio de la división del corredor entre los ríos Chili y Socabaya, en el cruce de la avenida La Ribereña con la vía ferroviaria, inicia el séptimo tramo. Este atraviesa la vía expresa de la variante de Uchumayo y la calle Fernandini hasta alcanzar la Av. Metropolitana y dividirse en otros dos tramos. El

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

tramo 7 toma el recorrido de la torrentera "Chullo" y atraviesa la calle Grande, la prolongación de la Av. Ejército y cruza por la Urb. Mirasol de Cayma hasta alcanzar la extensión de área verde. Con una longitud de 6.587 km, este tramo atraviesa urbanizaciones con edificaciones que se encuentran construidas al borde del cauce y/o muro de contención, como lo menciona Aguilar, R. & Valdivia, D. (2020). Cabe mencionar que, en la mitad del recorrido, el corredor se une a la torrentera "Chullo", la cual, según la Municipalidad Distrital de Yanahuara (2019), se encuentra en depósitos de lahares, por lo que su activación durante periodos de lluvia es usual.

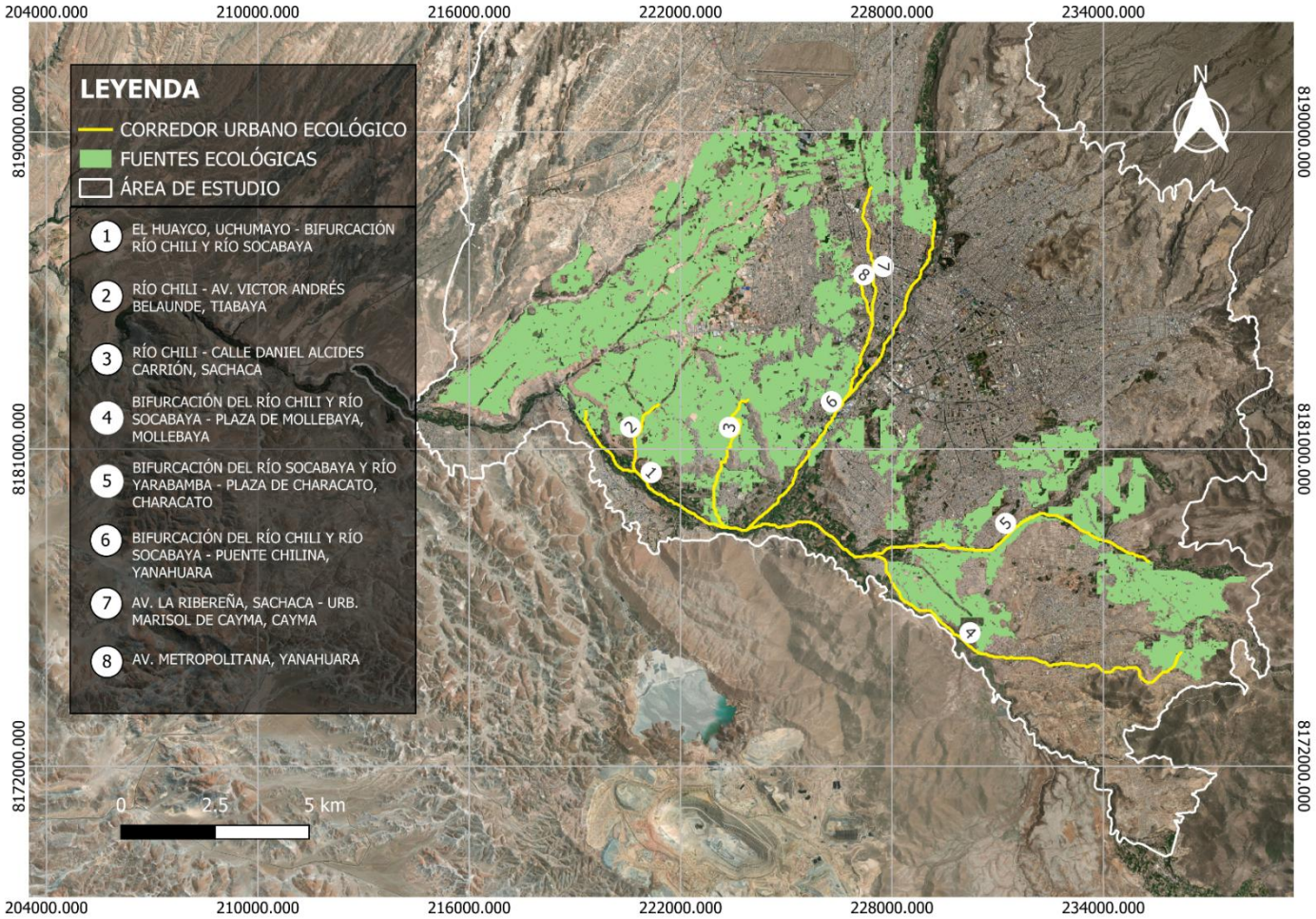
Tramo 8: Av. Metropolitana, Yanahuara

El octavo tramo se extiende en la Av. Metropolitana hasta alcanzar los campos agrícolas ubicados en el distrito de Yanahuara. Su extensión es de 1.379 km. Su trayecto es una avenida rodeada mayoritariamente de edificaciones hasta el final de su recorrido, donde llega a parcelas privadas en las cuales se practican actividades agrícolas y pecuarias según indica la Municipalidad Distrital de Yanahuara (2019)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 8
Mapa de los tramos del corredor urbano ecológico.



Nota. Elaboración propia a partir de data georreferenciada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.4. Propuesta de intervención

1.3.4.1. Propuesta de diseño urbano-paisajístico

Las infraestructuras verdes como los "greenway" buscan armonizar los sistemas construidos con los naturales (Hoover, F. et al., 2023), por lo tanto, son entornos con múltiples funcionalidades sociales y ambientales.

En el diseño urbano-paisajístico, se plantea aprovechar los tramos que atraviesan por las campiñas para la implementación de miradores, senderos no motorizados y plataformas de recreación o de descanso para el disfrute del paisaje a través de superficies impermeables para promover la filtración de escorrentía en eventos de lluvia. Cabe destacar que estas medidas no deben representar ninguna perturbación o generar algún cambio en el estado actual del entorno, por el contrario, su objetivo es proteger y/o potenciar los servicios ecosistémicos ya existentes y fomentar el cuidado de la reserva paisajística. En el caso de las áreas agrícolas, esta investigación no recomienda su transición a parques ya que los conflictos por uso de suelo se verían intensificados y su modificación podría resultar perjudicial, por el contrario, se debe apostar por prácticas sostenibles en dichas zonas tal como menciona Cornelis, W. et al. (2019), quien en su investigación sobre la gestión de suelo y agua frente a inundaciones y sequías, menciona que las prácticas agrícolas como el uso de mantillo y cultivos de cobertura, aumentan la resiliencia frente a inundaciones. Por otro lado, es importante recordar que el proyecto debe mantenerse en armonía con los instrumentos de gestión territorial existentes según lo mencionado en el Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad.

En cuanto a los tramos que atraviesan el entorno urbano, se deben crear espacios verdes compatibles con la vida silvestre como huertos y jardines ya que, de acuerdo con lo investigado por Van Long & Cheng (2018), fomentan la retención y almacenamiento del agua de lluvia lo cual ayuda a mitigar los efectos de las inundaciones; de igual manera, destaca que la construcción de parques en las riberas resulta ideal ya que ayudaría a recuperar la llanura aluvial natural. Los entornos apropiados para esta medida son las riberas del río Chili y la Av. La Ribereña. De igual forma, se recomienda implementar infraestructura de drenaje pluvial como sistemas de bioretención que involucra material filtrante y vegetación en surcos que ralentizan el flujo de agua y permite la filtración. Esta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

medida es ideal para avenidas o calles que cuenten con pobre o nula vegetación, así como en áreas donde alterar la infraestructura urbana para infraestructuras verdes más grandes es prácticamente imposible en aspectos económicos y sociales, como es la Av. Metropolitana y la Av. José Abelardo Quiñones en Yanahuara.

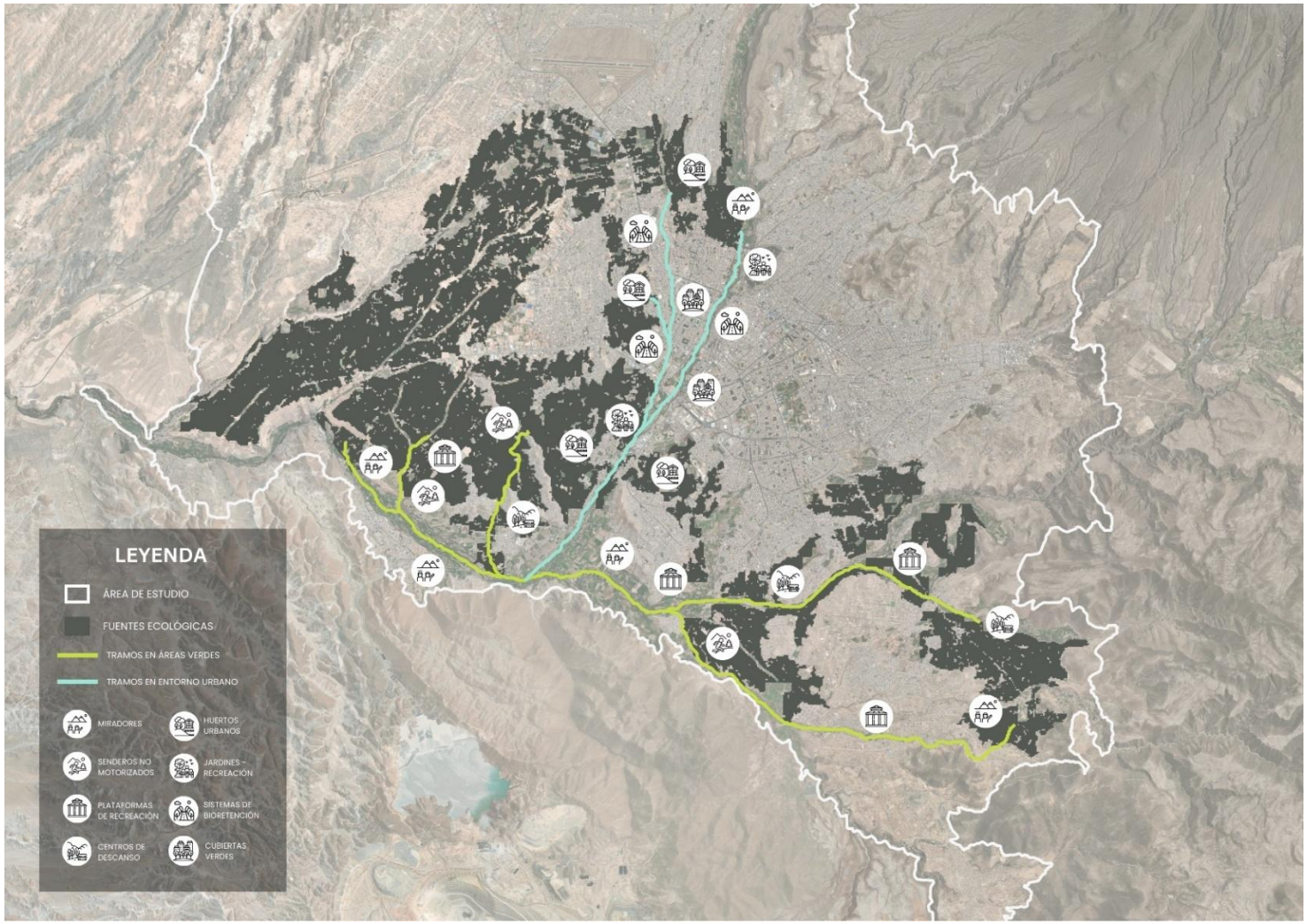
Asimismo, debe existir una transformación hacia los pavimentos permeables y la implementación de cubiertas verdes en infraestructuras construidas a la ribera del río con el propósito de renaturalizar. Al respecto, Ferreira & Da Rocha (2023) pudieron demostrar que estas medidas de infraestructura verde generaron una respuesta hidrológica positiva en la reducción del volumen de escorrentía durante eventos de precipitación, lo cual respalda su implementación en términos ambientales y sociales.

De igual forma, se debe continuar exigiendo la forestación de las torrenteras en zonas que aún no han sido urbanizadas, de tal forma que se detiene dicho avance y se obtiene espacio para el control de inundaciones en épocas de lluvia. Ello debe ir encaminado con el estricto respeto a las ordenanzas municipales y los instrumentos técnico-normativos existentes que abogan por la protección de las cuencas y campiñas en el área metropolitana de Arequipa para contener el avance de la urbanización como es el Plan de Desarrollo Metropolitano, cuyo documento alberga políticas de gestión que resultan concordar con los propuestos en esta investigación, siendo dichas medidas: la conservación de las zonas agrícolas en el área metropolitana, el mejoramiento de la calidad de vida de la población a través del incremento de áreas verdes recreativas y la recuperación, conservación y puesta en valor del patrimonio cultural para consolidar la identidad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 9.
Mapa de las medidas urbano-paisajísticas



Nota. Elaboración propia a partir de data georreferenciada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.4.2. Propuesta ambiental

Un aspecto elemental en la propuesta ambiental para la infraestructura verde es la incorporación de componentes ecológicos como vegetación, ya que fomenta las conexiones entre parches y potencia los servicios ecosistémicos. La ejecución de la arborización debe llevarse a cabo por medio de un cuerpo técnico que pueda analizar las características del lugar y recomendar la vegetación ideal para replantar ya que Arequipa es una ciudad desértica y se requiere de vegetación adaptada a dicho clima. En paralelo, toda estrategia que busque armonizar la interacción del ecosistema urbano con el natural debe apostar por la mínima generación de huella de carbono, asimismo, deben existir espacios para desarrollar programas educativos sobre el medio ambiente para abordar los problemas de conservación de la naturaleza y manejo de los espacios verdes como lo será el corredor urbano ecológico propuesto.

1.3.4.3. Propuesta de integración con la comunidad

Además de los beneficios que provee las vías verdes hacia la comunidad como bienestar y cultura, este promueve la interacción sostenible entre el ser humano y la naturaleza (Larson, L. et al., 2016). Actualmente, según la Gerencia del Centro Histórico y Zona Monumental de Arequipa (2017), el centro histórico de Arequipa tiene una distinción mundial debido a su arquitectura y su entorno natural, el cual debe ser de interés de sus habitantes preservarlo. Por tal motivo, la sociedad es un eje relevante en la propuesta y su participación es indispensable.

La mayoría de los tramos atraviesa o se dirige a campos agrícolas que se enfrentan al avance urbano y a la agricultura intensiva, por tal motivo, debe ser una prioridad la transición a una agricultura sostenible que sea competitiva, innovadora, eficiente e inclusiva. Para ello, se requiere apostar por los conocimientos tradicionales y fomentar la multifuncionalidad de la agricultura mediante la valorización de este como patrimonio ambiental y cultural.

Por otro lado, de mano a la educación ambiental, es necesario capacitar a la ciudadanía sobre el corredor para generar sentido de pertenencia y con ello, garantizar el avance de esta infraestructura verde y promover el mantenimiento y conservación de las “vías verdes”. Al respecto, en la Política Nacional del Ambiente al 2030 se menciona el deber de integrar el enfoque ambiental en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

educación formal y comunitaria de todo el país, aquello permitiría que tanto organismos públicos como privados, en concordancia con la política, establezcan estrategias educativas que promuevan las prácticas sostenibles y la responsabilidad colectiva en el cuidado del medio ambiente en el área metropolitana de Arequipa.

Tabla 17.
Tramos y medidas propuestas para el corredor urbano ecológico por distrito

Distritos	*Tramos*	*Medidas*
Uchumayo	1	Miradores
Tiabaya	2, 3	Plataformas de recreación, senderos no motorizados, miradores.
Sachaca	3, 7	Senderos no motorizados, centros de descanso, huertos urbanos, jardines, centros de recreación.
Jacobo Hunter	4, 7	Huertos urbanos, miradores, plataformas de recreación.
Socabaya	4, 5	Senderos no motorizados, centros de descanso.
Mollebaya	4	Plataformas de recreación, miradores.
Sabandía	5	Centros de descanso, plataformas de recreación.
Characato	5	Centros de descanso, miradores.
Arequipa	6, 7	Jardines, centros de recreación, sistemas de bioretención, cubiertas verdes, miradores.
Yanahuara	7, 8	Sistemas de bioretención, huertos urbanos, cubiertas verdes.
Cerro Colorado	7	Huertos urbanos, sistemas de bioretención, cubiertas verdes.
Cayma	7	Huertos urbanos, sistemas de bioretención, cubiertas verdes.

Nota. La tabla muestra las medidas propuestas para cada tramo y distrito por el cual atraviesa el corredor urbano ecológico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1.3.5. Sostenibilidad

1.3.5.1. Ambiental

Los corredores urbano ecológico generan importantes impactos positivos en el ambiente al contribuir a la preservación y recuperación de los espacios verdes, promoviendo la conectividad ecológica. Esto los convierte en elementos claves para la preservación de la ecología urbana (Eraghi, S. et al., 2015).

En cuanto a las inundaciones pluviales, la infraestructura verde reduce significativamente el riesgo al disminuir el escurrimiento de aguas pluviales y mejorar la infiltración a través de la vegetación (Li, L. et al., 2020). Cabe destacar que los corredores ecológicos ubicados en las riberas de las redes hidrográficas no solo ofrecerían beneficios para el control de inundaciones, sino también otorga beneficios "no-buscados" como la mejora de la calidad del agua y del aire, la regulación de la temperatura urbana y el aumento de áreas verdes que contribuyen al secuestro de carbono. Asimismo, estos espacios se convierten en hábitats y vías de tránsito para animales, además de ofrecer zonas de recreación y esparcimiento para la población, por lo tanto, se puede afirmar que generan beneficios a largo plazo.

1.3.5.2. Social

Las vías verdes son un componente esencial de la planificación urbana, ya que contribuyen a la creación de ciudades más verdes, saludables y habitables (Melicher, J. & Spulerova, J., 2022). Estas infraestructuras tienen un impacto directo en el bienestar de la población urbana, al mejorar la calidad del ambiente y, por ende, la calidad de vida de sus habitantes.

Stanovic, N. (2024) señala que, mediante la provisión de espacios de recreación e interacción con la naturaleza, es posible reducir problemas de salud, como el estrés y las enfermedades vinculadas al sedentarismo y la contaminación. Además, otros autores como Blancarte-Siqueiros, R.H. et al. (2019), destacan que estos espacios promueven la interacción social, fortalecen el sentido de pertenencia y fomenta el cuidado hacia el entorno natural, lo cual es esencial para el desarrollo sostenible de las ciudades. En términos de protección social, los corredores ecológicos contribuyen a la mitigación del riesgo climático, lo que

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

disminuye la vulnerabilidad de las poblaciones afectadas y mejora su capacidad de resiliencia urbana.

1.3.5.3. Económico

La implementación de un corredor ecológico urbano tiene un impacto positivo en la economía local, impulsando el desarrollo económico a través de la atracción de inversiones y el aumento del valor de las propiedades circundantes, debido a la mejora paisajística y ambiental que estos espacios generan (Wang, S. et al., 2023). Adicionalmente, los corredores verdes pueden generar oportunidades laborales tanto en su construcción como en su mantenimiento, así como en actividades relacionadas con el turismo local, el comercio y otros servicios asociados a estas áreas.

En términos de costos, Alves, A. et al. (2019) mencionan que, a través de un análisis costo-beneficio, las infraestructuras verdes resultan ser más eficientes que las infraestructuras grises tradicionales. Esto se debe a que, a los corredores, tienen menores costos de mantenimiento a largo plazo, lo que las convierte en soluciones económicamente más sostenibles. Por tal motivo, se llega a la conclusión que los corredores ecológicos no solo abordan problemas ambientales y sociales, sino que también generan un impacto económico positivo, contribuyendo al desarrollo equilibrado y sostenible de las ciudades.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO V

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

1. CONCLUSIONES

PRIMERO. El servicio ecosistémico de control de mitigación de inundaciones pluviales en el área metropolitana de Arequipa se ve comprometido debido a la reducción de áreas con capacidad de captación de escorrentía, siendo las áreas identificadas como "área agrícola" y "vegetación no agrícola" aquellas que presentan una óptima retención de escorrentía (99%), mientras que el "área urbana" presenta el menor valor de retención de escorrentía (45%).

SEGUNDO. El diseño del corredor urbano ecológico para el área metropolitana de Arequipa se ejecutó bajo el modelo de ruta de menor costo utilizando la data de superficie de resistencia y la obtención de fuentes ecológicas, consiguiendo como resultado un corredor urbano ecológico de una longitud de 57.003 km que recorre los distritos de Uchumayo, Tiabaya, Sachaca, Jaboco Hunter, Socabaya, Mollebaya, Sabandía, Characato, Arequipa, Yanahuara, Cerro Colorado y Cayma.

TERCERO. Se obtuvo una propuesta para el corredor urbano ecológico a partir de la identificación de actores, el análisis de los criterios de localización, el diagnóstico territorial y social, y la propuesta de intervención. Como resultado, se identificó seis actores claves (organismos públicos, sector privado, sociedad civil, academia, organizaciones no gubernamentales y organizaciones internacionales) y se describió los criterios utilizados para el diseño del corredor, como la modelización del servicio ecosistémico, el análisis de la superficie y el uso del modelo de ruta de menor costo. Además, se realizó una descripción territorial y social de los ocho tramos que conforman el corredor urbano ecológico, que conecta 18 fuentes ecológicas. Finalmente, se recomendó medidas sociales, ambientales y urbanas que incluye programas educativos, plataformas de recreación y sistemas de bioretención como parte de la propuesta de intervención, con el propósito de contribuir a la resiliencia ante inundaciones.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

2. RECOMENDACIONES

- Resulta favorable considerar más criterios en la generación de la superficie de resistencia para el diseño de un corredor ecológico.
- En futuras investigaciones, se sugiere proponer un corredor urbano ecológico considerando múltiples servicios ecosistémicos para potenciar la multifuncionalidad y extender sus beneficios a más distritos de la provincia de Arequipa.
- Sería beneficioso investigar más a fondo los beneficios económicos asociados a la recuperación de un servicio ecosistémico en las propuestas de infraestructuras verdes.
- En próximas investigaciones, se sugiere considerar los promedios de precipitación para cada distrito de Arequipa metropolitana, ya que permitiría establecer medidas de resiliencia y adaptación más precisas y alineadas a las condiciones particulares de cada distrito frente a las inundaciones pluviales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

Aguilar, R. & Valdivia, D. (2020). Problemática de la torrentera Chullo. Provincia Arequipa, Región Arequipa. Opinión Técnica N°006-2020. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. https://hdl.handle.net/20.500.12544/2997

Ahn, H., Lee, J. & Hong, A. (2021). Does urban greenway design affect air pollution exposure? A case study of Seoul, South Korea. *Sustainable Cities and Society*, *72*, 103038. https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103038

Angelstam, P., Khaulyak, O., Yamelynets, T., Mozgeris, G., Наумов, B., Chmielewski, T., Elbakidze, M., Manton, M., Prots, B., & Valasiuk, S. (2017). Green infrastructure development at European Union's eastern border: Effects of road infrastructure and forest habitat loss. *Journal Of Environmental Management*, *193*, 300-311. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.02.017

Alves, A., Gersonius, B., Kapelan, Z., Vojinovic, Z., & Sanchez, A. (2019). Assessing the Co-Benefits of green-blue-grey infrastructure for sustainable urban flood risk management.. Journal of environmental management, 239, 244-254 . https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.036.

Apan, A. A., Raine, S. R. & Paterson, M. S. (2002). Mapping and analysis of changes in the riparian landscape structure of the Lockyer Valley catchment, Queensland, Australia. *Landscape and Urban Planning*, *59*(1), 43-57. https://doi.org/10.1016/s0169-2046(01)00246-8

Arenas, M. (2021). Caracterización de parcelas de hortalizas para la implementación de buenas prácticas agrícolas (BPA) en Pampas Nuevas, Tiabaya – Arequipa. *[Tesis de grado]* Universidad Nacional de San Agustín. https://repositorio.unsa.edu.pe/items/c1ed7187-e381-48f9-a06b-434b93ca4402

Arizpe, D., Mendes, A. & Rabaca, J. (2008). Sustainable Riparian Zones: A management guide. Ripidurable. https://converges.eu/wp-content/uploads/2019/10/a-management-guide.pdf

Asakawa, S., Yoshida, K. & Yabe, K. (2004). Perceptions of urban streamcorridors within the greenway system of Sapporo, Japan. *Landscape and Urban Planning*, *68*(2-3), 167-182. https://doi.org/10.1016/s0169-2046(03)00158-0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Autoridad Nacional del Agua (2015) Generación del Mapa Temático de Curva Número. Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos.

Azadi, H., Ho, P., Hafni, E., Zarafshani, K. & Witlox, F. (2011), Multi-Stakeholder Involvement and Urban Green Space Performance. Journal of Environmental Planning and Management, vol. 54 (6): 785-811.

Aznarez, C., Svenning, J. C., Taveira, G., Baró, F. & Pascual, U. (2022). Wildnessand habitat quality drive spatial patterns of urban biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, *228*, 104570. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104570

Babí Almenar, J., Bolowich, A., Elliot, T., Geneletti, D., Sonnemann, G. & Rugani, B. (2019). Assessing habitat loss, fragmentation and ecological connectivity in Luxembourg to support spatial planning. *Landscape and Urban Planning*, *189*, *335-351*. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.004

Balbi, M., Petit, E., Croci, S., Nabucet, J., Georges, R., Madec, L., & Ernoult, A. (2019). Title: Ecological relevance of least cost path analysis: An easy implementation method for landscape urban planning. *Journal Of Environmental Management*, *244*, 61-68. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.04.124

Balta, M. Z. & Yenil, H. L. (2019). Multi criteria decision making methods for urban greenway: The case of Aksaray, Turkey. *Land Use Policy*, *89*, 104224. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104224

Balzan, M. V., Zulian, G., Maes, J. & Borg, M. (2021). Assessing urban ecosystem services to prioritise nature-based solutions in a high-density urban area. *Nature-Based Solutions*, *1*, 100007. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100007

Banerjee, O., Crossman, N., Vargas, R., Brander, L., Verburg, P., Cicowiez, M., Hauck, J. & McKenzie, E. (2020). Global socio-economic impacts of changes in natural capital and ecosystem services: State of play and new modeling approaches. *Ecosystem Services*, *46*, 101202. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101202

Bradbury K. Dripps, W. Hankley, C. Anderson, M. & Potter, K. Refinement of two methods for estimation of ground water recharge rates. [Publicación periódica]. Wisconsin: University of Wisconsin, 2000. 84 pp

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Beger, M., Metaxas, A., Balbar, A. C., McGowan, J. A., Daigle, R., Kuempel, C.D., Treml, E. A. & Possingham, H. P. (2022). Demystifying ecological connectivity for actionable spatial conservation planning. *Trends in Ecology & Evolution*. https://doi.org/10.1016/j.tree.2022.09.002

Belenok, V. Y., Noszczyk, T., Hebryn-Baidy, L., & Kryachok, S. (2021). Investigating anthropogenically transformed landscapes with remote sensing. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *24*, 100635. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100635

Blancarte-Siqueiros, R. H., Perez-Verdin, G., & Cortés-Ortiz, A. (2019). The relationship between quality of life, sense of belonging, and green spaces in urban environments in the city of Durango, Mexico. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente (En Línea). *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 26(1), 97-111. https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2019.03.023

Blanco-Canqui, H., Ruis, S. J., & Francis, C. A. (2023). Do organic farming practices improve soil physical properties? *Soil Use And Management*, *40*(1). https://doi.org/10.1111/sum.12999

Blanco-Domínguez, R., Serrada, J., González, S., Gómez, A., Rollán, M., Diez, F. & Campos, E. (2020). Análisis de la conectividad y fragmentación ecológicas en el Parque Nacional de Cabañeros. Congreso Nacional del Medio Ambiente – CONAMA 2020.http://www.conama11.vsf.es/conama10/download/files/conama2020/CT%202020/5304.pdf

Brill, Gregg, Deborah Carlin, Shannon McNeeley, Delilah Griswold (2022). Stakeholder Engagement Guide for Nature-Based Solutions. United Nations CEO Water Mandate and Pacific Institute. Oakland, California. www.ceowatermandate.org/nbs/engagementguide

Cao, C., Luo, Y., Xu, L., Xi, Y., & Zhou, Y. (2024). Construction of ecological security pattern based on InVEST-Conefor-MCRM: A case study of Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, *159*, 111647. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111647

Castellano, C., Bruno, D., Comín, F. A., Rey Benayas, J. M., Masip, A. & Jiménez,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

J. J. (2022). Environmental drivers for riparian restoration success and ecosystem services supply in Mediterranean agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *337*, 108048. https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108048

Castro, H., Molina, F. & García, M. (2002). La fragmentación del paisaje como principal amenaza a la integridad del funcionamiento del territorio. En: Castro, H. (Eds.). Integración territorial de espacios naturales protegidos y conectividad ecológica en paisajes mediterráneos. Documento técnico. Integra Territorial. Sevilla, Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, p. 27-99.

Carpio, A. & Montes, L. (2014). Estudio de la señalización turística de los principales atractivos turísticos y restaurantes en los distritos de Paucarpata y Sabandía – Arequipa, 2013. *[Tesis de grado]* Universidad Católica de Santa María. https://core.ac.uk/download/pdf/198128447.pdf

Carpio, J.; Quispe, B.; Peña, F. & Sulca, P. (2022) - Hidrogeología de la cuenca del río Quilca - Vitor - Chili (132). INGEMMET, Boletín, Serie H: Hidrogeología, 15, 381 p., 2 mapas.

CEPLAN – Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (2023, 4 de febrero). Ceplan: 35 millones de peruanos vivirá en zonas urbanas al 2050. [Nota de prensa] https://www.gob.pe/institucion/ceplan/noticias/696847-ceplan-35-millones-de-peruanos-viviran-en-zonas-urbanas-al-2050

Chang, H. S., Lin, Z. H. & Hsu, Y. Y. (2021). Planning for green infrastructure and mapping synergies and trade-offs: A case study in the Yanshuei RiverBasin, Taiwan. *Urban Forestry & Urban Greening*, *65*, 127325. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127325

Chin, E. Y., & Kupfer, J. A. (2020). Identification of environmental drivers in urban greenway communities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *47*, 126549. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126549

Chitrakar, P., Sana, A., & Almalki, S. J. (2023). Regional Distribution of Intensity–Duration–Frequency (IDF) Relationships in Sultanate of Oman. *Journal of King Saud University - Science*, *35*(7), 102804. https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102804

Claron, C., Mikou, M., Levrel, H. & Tardieu, L. (2022). Mapping urban ecosystem

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

services to design cost-effective purchase of development rights programs: The case of the Greater Paris metropolis. *Land Use Policy*, *122*, 106349. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106349

Claron, C., Mikou, M., Levrel, H. & Tardieu, L. (2022). Mapping urban ecosystem services to design cost-effective purchase of development rights programs: The case of the Greater Paris metropolis. *Land Use Policy*, *122*, 106349. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106349

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C. y Maginnis, S. (2016). Soluciones basadas en la naturaleza para abordar los desafíos sociales globales. *UICN: Gland, Suiza*, *97*, 2016-2036.

Cornelis, W., Waweru, G., & Araya, T. (2019). Building Resilience Against Drought and Floods: The Soil-Water Management Perspective. En *Sustainable agriculture reviews* (pp. 125-142). https://doi.org/10.1007/978-3-030-26265-5_6

Cortinovis, C., Olsson, P., Boke-Olén, N., & Hedlund, K. (2022). Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, *67*, 127450. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127450

Costadone, L., Lai, T., Hurskainen, P., & Kopperoinen, L. (2024). Co-creating urban ecosystem accounting: Physical and monetary accounts of runoff retention service provided by urban green spaces. *Ecosystem Services*, *65*, 101576. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2023.101576

Cotrina Sánchez, A., Bandopadhyay, S., Rojas Briceño, N. B., Banerjee, P., Torres Guzmán, C. & Oliva, M. (2021). Peruvian Amazon disappearing: Transformation of protected areas during the last two decades (2001– 2019) and potential future deforestation modelling using cloud computing and MaxEnt approach. *Journal for Nature Conservation*, *64*, 126081. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126081

CRED (2022). Disaster Year in Review 2021. United States Agency for International Development. https://cred.be/sites/default/files/2021_EMDAT_report.pdf

Crow, T., Baker, M. & Barnes, B. (2000). Diversity in Riparian Landscapes. In: Riparian Management in Forest of the Continental Eastern United States. Lewis Publishers.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Dai, K., Shen, S., Cheng, C., & Song, Y. (2023). Integrated evaluation and attribution of urban flood risk mitigation capacity: A case of Zhengzhou, China. *Journal Of Hydrology: Regional Studies*, *50*, 101567. https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101567

Damschen, E. I., & Brodie, J. F. (2024). Landscape corridors. En *Elsevier eBooks* (pp. 773-783). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822562-2.00243-7

Danley, B. & Widmark, C. (2016). Evaluating conceptual definitions of ecosystem services and their implications. *Ecological Economics*, *126*, 132-138. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.04.003

Decreto Supremo N° 022-2016-VIVIENDA (24 de diciembre, 2016). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano. https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-acondicionamien-decreto-supremo-n-022-2016-vivienda-1466636-3/

Díaz Pineda, F. & Schmitz, M. F. (coords). (2011). Conectividad Ecológica Territorial. Estudio de casos de conectividad ecológica y socioecológica. O. A. Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Ruraly Marino. 236 pp. Madrid.

Dupras, J., Marull, J., Parcerisas, L., Coll, F., Gonzalez, A., Girard, M. & Tello, E. (2016). The impacts of urban sprawl on ecological connectivity in the Montreal Metropolitan Region. *Environmental Science & Policy*, *58*, 61- 73. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.01.005

Eraghi, S., Meschi, M., & Gholampour, S. (2015). Studying the Relationship Between Urban Green Corridors and Sustainable Urban Landscape. International Journal of Science, Technology and Society, 3, 36. https://doi.org/10.11648/J.IJSTS.S.2015030201.18.

Elliot, T., Torres-Matallana, J., Goldstein, B., Babí Almenar, J., Gómez- Baggethun, E., Proença, V. & Rugani, B. (2022). An expanded framing ofecosystem services is needed for a sustainable urban future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *162*, 112418. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112418

Fan, F., Wen, X., Feng, Z., Gao, Y. & Li, W. (2022). Optimizing urban ecological

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

space based on the scenario of ecological security patterns: The case of central Wuhan, China. *Applied Geography*, *138*, 102619. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102619

Far, F. L., Nikookar, M., & Rayegan, R. (2024). The role of landscape planning in reducing damages caused by flood (case study: Nekaroud, Iran). *International Journal Of Disaster Risk Reduction*, *111*, 104721. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2024.104721

Fernández-Dávila, J. & Benites, A. (1999). Estudio: Inundaciones en la localidad de Arequipa ocasionadas por el ingreso de las torrenteras. Instituto Nacional de Defensa Civil. http://bvpad.indeci.gob.pe/doc/estudios_CS/Region_Arequipa/arequipa/arequipa_IItorrenteras.pdf

Ferreira, M. J., & Da Rocha, H. R. (2023). Green roof infrastructure outperforms grey technology in flood mitigation in São Paulo's urbanized region. *Frontiers In Built Environment*, *9*. https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1254942

Flood Chávez, D. I. & Niewiadomski, P. (2022). The urban political ecology offog oases in Lima, Peru. *Geoforum*, *129*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2022.01.001

Flores, S., Van Mechelen, C., Vallejo, J. P. & Van Meerbeek, K. (2022). Trends and status of urban green and urban green research in Latin America. *Landscape and Urban Planning*, *227*, 104536. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104536

Frischenbruder, M. T. M. & Pellegrino, P. (2006). Using greenways to reclaim nature in Brazilian cities. *Landscape and Urban Planning*, 76(1-4), 67-78. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.043

Gerencia del Centro Histórico y Zona Monumental de Arequipa (2017). Plan Maestro del Centro Histórico de Arequipa y Zona de Amortiguamiento. PlaMCha 2017-2027. https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/centro%20historico/I.%20INTRODUCCION/I.%20INTRODUCCION%202.pdf

Gerencia Regional de Agricultura de Arequipa (2021). Campaña Agrícola 2021. https://agroarequipa.gob.pe/index.php/agricol/a?showall=&start=1

GIZ. (2022). Guía para el diseño de Corredores Verdes Urbanos: Experiencia de Loja.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Loja, Ecuador. 175pp.

Global Commission on Adaptation (2021). Soluciones basadas en la naturaleza del Perú para la acción climática en adaptación. World Resources Institute, MINAM. Recuperado de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1800355/210412_Diptico%20Pre%20Summit.pdf.pdf?v=1618325364

Gurrutxaga, M. (2004). Conectividad ecológica del territorio y conservación de la biodiversidad: nuevas perspectivas en ecología del paisaje y ordenación territorial. 1ª ed., 1ª reimp - Vitoria-Gasteiz: Eusko Jaurlaritzaren Argitalpen Zerbitzu Nagusia. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco, Informes Técnicos N°103.

Haller, A. (2017). Urbanites, smallholders, and the quest for empathy: Prospects for collaborative planning in the periurban Shullcas Valley, Peru. *Landscape and Urban Planning*, *165*, 220-230. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.04.015

Han, L., Wang, Z., Wei, M., Wang, M., Shen, H., Ruckstuhl, K. E., Yang, W., & Alves, J. (2022). Small patches play a critical role in the connectivity of the Western Tianshan landscape, Xinjiang, China. *Ecological Indicators*, *144*, 109542. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109542

Hasan, M. M., Nilay, M. S. M., Jibon, N. H., & Rahman, R. M. (2023). LULC changes to riverine flooding: a case study on the Jamuna River, Bangladesh using the multilayer Perceptron model. *Results in Engineering*, *18*, 101079. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101079

Havinga, I., Bogaart, P. W., Hein, L. & Tuia, D. (2020). Defining and spatially modelling cultural ecosystem services using crowdsourced data. *Ecosystem Services*, *43*, 101091. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101091

He, C., Zhang, D., Huang, Q. & Zhao, Y. (2016). Assessing the potential impactsof urban expansion on regional carbon storage by linking the LUSD-urbanand InVEST models. *Environmental Modelling & Software*, *75*, 44-58. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.09.015

He, D., Lu, Y., Xie, B. & Helbich, M. (2021). Large-scale greenway intervention promotes walking behaviors: A natural experiment in China. *Transportation*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Research Part D: Transport and Environment, *101*, 103095. https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.103095

Henry, R. C., Palmer, S. C., Watts, K., Mitchell, R. J., Atkinson, N. & Travis, J. M. (2017). Tree loss impacts on ecological connectivity: Developingmodels for assessment. *Ecological Informatics*, *42*, 90-99. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2017.10.010

Herrera, P., & Díaz, E. (2013). Ecología del paisaje, conectividad ecológica y territorio: Una aproximación al estado de la cuestión desde una perspectiva técnica y científica. Planificación espacial y conectividad ecológica: los corredores ecológicos, 43-70. Recuperado de https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6826966

Hong, W., Guo, R., Su, M., Tang, H., Chen, L. & Hu, W. (2017). Sensitivity evaluation and land-use control of urban ecological corridors: A case studyof Shenzhen, China. *Land Use Policy*, *62*, 316-325. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.01.010

Hoover, F., Meerow, S., Coleman, E., Grabowski, Z., & McPhearson, T. (2023). Why go green? Comparing rationales and planning criteria for green infrastructure in U.S. city plans. *Landscape And Urban Planning*, *237*, 104781. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104781

Hossain Anni, A., Cohen, S. & Praskievicz, S. (2020). Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration. *Journal of Hydrology*, *588*, 125028. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125028

Hou, W., Liu, J., & Walz, U. (2023). Optimization of green infrastructure networks in the perspectives of enhancing structural connectivity and multifunctionality in an urban megaregion. *Journal Of Environmental Management*, *348*, 119084. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119084

Hou, W., Zhou, W., Li, J. & Li, C. (2022). Simulation of the potential impact of urban expansion on regional ecological corridors: A case study of Taiyuan,China. *Sustainable Cities and Society*, *83*, 103933. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103933

Hsieh, H. L., Chen, C. P. & Lin, Y. Y. (2004). Strategic planning for a wetlands conservation greenway along the west coast of Taiwan. *Ocean & Coastal Management*, *47*(5-6), 257-272.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2004.01.005

Huang, W., Hashimoto, S., Yoshida, T., Saito, O. & Taki, K. (2021). A nature- based approach to mitigate flood risk and improve ecosystem services in Shiga, Japan. *Ecosystem Services*, *50*, 101309. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101309

Huang, X., Wang, H., Shan, L. & Xiao, F. (2021). Constructing and optimizing urban ecological network in the context of rapid urbanization for improving landscape connectivity. *Ecological Indicators*, *132*, 108319. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108319

INDECI (2020a). Capítulo lll. Información estadística de emergencia y daños, periodo 2003 al 2019. Compendio Estadístico del INDECI 2020 en la Preparación, Respuesta y Rehabilitación de la GRD. https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2021/02/CAPITULO-III-Estad%C3%ADstica-Series-2003-2019.pdf

INDECI (2020b). Precipitaciones pluviales en el Departamento de Arequipa. Informe de Emergencia N°419-4/7/2020. https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/INFORME-DE-EMERGENCIA-N%C2%BA-419-4JUL2020-PRECIPITACIONES-PLUVIALES-EN-EL-DEPARTAMENTO-DE-AREQUIPA-21.pdf

Instituto Municipal de Planeamiento (2016). Memoria del PDM Arequipa Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa. http://impla.gob.pe/publicaciones/pdm-2016-2025/2

Instituto Nacional de Recursos Naturales (1999) Formas de Tierra y Clases de Pendiente del Departamento de Arequipa. [Informe Ejecutivo] Ministerio de Agricultura. https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/1448

IPBES (2019). Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science- Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren- Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany.

Isely, E. S., Isely, P., Seedang, S., Mulder, K., Thompson, K., & Steinman, A. D. (2010). Addressing the information gaps associated with valuing green infrastructure in west Michigan: INtegrated Valuation of Ecosystem Services Tool (INVEST). *Journal Of Great Lakes Research*, *36*(3), 448-457. https://doi.org/10.1016/j.jglr.2010.04.003

Jahanishakib, F., Salmanmahiny, A., Mirkarimi, S. H. & Poodat, F. (2021). Hydrological connectivity assessment of landscape ecological network to mitigate development impacts. *Journal of Environmental Management*, *296*, 113169. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113169

Jang, M. & Kang, C. D. (2015). Urban greenway and compact land use development: A multilevel assessment in Seoul, South Korea. *Landscapeand Urban Planning*, *143*, 160-172. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.07.010

Jato-Espino, D., Capra-Ribeiro, F., Moscardó, V., Del Pino, L. E. B., Mayor-Vitoria, F., Gallardo, L. O., Carracedo, P., & Dietrich, K. (2023). A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, *86*, 127998. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998

Jiang, H., Peng, J., Zhao, Y., Xu, D. & Dong, J. (2022). Zoning for ecosystem restoration based on ecological network in mountainous region. *Ecological Indicators*, *142*, 109138. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109138

Jiang, P., & Tung, Y. (2013). Establishing rainfall depth–duration–frequency relationships at daily raingauge stations in Hong Kong. *Journal of Hydrology*, *504*, 80-93. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.09.037

Jones, L., Anderson, S., Læssøe, J., Banzhaf, E., Jensen, A., Bird, D. N., Miller, J., Hutchins, M. G., Yang, J., Garrett, J., Taylor, T., Wheeler, B. W., Lovell, R., Fletcher, D., Qu, Y., Vieno, M. & Zandersen, M. (2022). A typology for urban Green Infrastructure to guide multifunctional planning of nature-based solutions. *Nature-Based Solutions*, *2*, 100041. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2022.100041

Kadaverugu, R., Gurav, C., Rai, A., Sharma, A., Matli, C. & Biniwale, R. (2021). Quantification of heat mitigation by urban green spaces using InVEST

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

model—a scenario analysis of Nagpur City, India. *Arabian Journal of Geosciences*, *14*(2). https://doi.org/10.1007/s12517-020-06380-w

Kang, J., Qing, Y., & Lu, W. (2023). Construction and optimization of the Saihanba ecological network. *Ecological Indicators*, *153*, 110401. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110401

Kato-Huerta, J. & Geneletti, D. (2022). Environmental justice implications of nature-based solutions in urban areas: A systematic review of approaches,indicators, and outcomes. *Environmental Science & Policy*, *138*, 122-133. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.034

Kaur, R., & Gupta, K. (2022). Blue-Green Infrastructure (BGI) network in urban areas for sustainable storm water management: a geospatial approach. *City and Environment Interactions*, *16*, 100087. https://doi.org/10.1016/j.cacint.2022.100087

Keeler, B. L., Hamel, P., McPhearson, T., Hamann, M. H., Donahue, M. L., Prado, K. A. M., Arkema, K. K., Bratman, G. N., Brauman, K. A., Finlay, J. C., Guerry, A. D., Hobbie, S. E., Johnson, J. A., MacDonald, G. K., McDonald, R. I., Neverisky, N., & Wood, S. A. (2019). Social-ecological and technological factors moderate the value of urban nature. *Nature Sustainability*, *2*(1), 29-38. https://doi.org/10.1038/s41893-018-0202-1

Keten, A., Eroglu, E., Kaya, S. & Anderson, J. T. (2020). Bird diversity along a riparian corridor in a moderate urban landscape. *Ecological Indicators*, *118*, 106751. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106751

Khalili, S., Kumar, P., & Jones, L. (2024). Evaluating the benefits of urban green infrastructure: methods, indicators, and gaps. *Heliyon*, e38446. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38446

Kim, I., Lee, J. H. & Kwon, H. (2021). Participatory ecosystem service assessmentto enhance environmental decision-making in a border city of South Korea. *Ecosystem Services*, *51*, 101337. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101337

Kirby, M. G., Zawadzka, J., & Scott, A. J. (2024). Ecosystem service multifunctionality and trade-offs in English Green Belt peri-urban planning. *Ecosystem Services*, *67*, 101620. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101620

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Kool, J. T., Moilanen, A. & Treml, E. A. (2012). Population connectivity: recent advances and new perspectives. *Landscape Ecology*, *28*(2), 165-185. https://doi.org/10.1007/s10980-012-9819-z

Kousky, C. & Walls, M. (2014). Floodplain conservation as a flood mitigation strategy: Examining costs and benefits. *Ecological Economics*, *104*, 119- 128. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.05.001

Koutsovili, E. I., Tzoraki, O., Kalli, A. A., Provatas, S. & Gaganis, P. (2023). Participatory approaches for planning nature-based solutions in flood vulnerable landscapes. *Environmental Science & Policy*, *140*, 12-23. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.11.012

Kowarik, I. (2019). The "Green Belt Berlin": Establishing a greenway where the Berlin Wall once stood by integrating ecological, social and cultural approaches. *Landscape and Urban Planning*, 184, 12-22. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.12.008

Kumar, M., & Shaikh, V. R. (2012). Site suitability analysis for urban development using GIS based Multicriteria evaluation technique. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, *41*(2), 417-424. https://doi.org/10.1007/s12524-012-0221-8

Kumari, A., & Sarika. (2022). Riverine biodiversity and importance: Potential threat and conservational challenges. En *Elsevier eBooks* (pp. 235-264). https://doi.org/10.1016/b978-0-323-85045-2.00009-1

Langemeyer, J. & Baró, F. (2021). Nature-based solutions as nodes of green-blue infrastructure networks: A cross-scale, co-creation approach. *Nature- Based Solutions*, *1*, 100006. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100006

Larson, L. R., Keith, S. J., Fernandez, M., Hallo, J. C., Shafer, C. S., & Jennings, V. (2016). Ecosystem services and urban greenways: What's the public's perspective? *Ecosystem Services*, *22*, 111-116. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.10.004

Leiva, J. (2022). Conservation, management and rehabilitation of the fragile Lomas ecosystems in Lima – (EbA Lomas). Final Evaluation Report Project GEF 5458. https://erc.undp.org/evaluation/documents/detail/19891

Le Vaslot, H. (2023). Travail de fin d'études / Projet de fin d'études : Understanding Urban Expansion and Informal Urbanization : A Case Study of Informal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Settlements in Arequipa, Peru. (Unpublished master's thesis). Université de Liège, Liège, Belgique. https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/17953

Li, C., Huang, L., Xu, Q., & Cao, Z. (2024). Synergistic ecological network approach for sustainable development of highly urbanized area in the Bay Bottom region: A study in Chengyang District, Qingdao. *Ecological Indicators*, *158*, 111443. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111443

Li, C., Wu, Y., Gao, B., Zheng, K., Wu, Y., & Wang, M. (2023). Construction of ecological security pattern of national ecological barriers for ecosystem health maintenance. *Ecological Indicators*, *146*, 109801. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109801

Li, D., Yang, Y., Xia, F., Sun, W., Li, X. & Xie, Y. (2022). Exploring the influences of different processes of habitat fragmentation on ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, *227*, 104544. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104544

Li, F., Liu, X., Zhang, X., Zhao, D., Liu, H., Zhou, C. & Wang, R. (2017). Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, *163*, S12-S18. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.079

Li, L., Chan, F., & Cheshmehzangi, A. (2023). Nature-based solutions and sponge city for urban water management. En *Elsevier eBooks* (pp. 371-402). https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95336-8.00004-4

Li, L., Uyttenhove, P. & Van Eetvelde, V. (2020). Planning green infrastructure to mitigate urban surface water flooding risk – A methodology to identifypriority areas applied in the city of Ghent. *Landscape and Urban Planning*, *194*, 103703. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103703

Li, P., Lyu, F., Zhou, Y., & Yu, Z. (2024). Assessing whether peri-urban agricultural land or plantation forest is a better green infrastructure for ground arthropods at local and landscape scales. *Ecological Indicators*, *158*, 111499. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111499

Li, P., Sheng, M., Yang, D. & Tang, L. (2019). Evaluating flood regulation ecosystem services under climate, vegetation and reservoir influences. *Ecological Indicators*, *107*, 105642. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105642

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Li, X., Wang, X., Jiang, X., Han, J., Wang, Z., Wu, D., Lin, Q., Li, L., Zhang, S. & Dong, Y. (2022). Prediction of riverside greenway landscape aesthetic quality of urban canalized rivers using environmental modeling. *Journal of Cleaner Production*, *367*, 133066. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133066

Li, Y., Ji, C., Wang, P., & Huang, L. (2023). Proactive intervention of green infrastructure on flood regulation and mitigation service based on landscape pattern. *Journal Of Cleaner Production*, *419*, 138152. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138152

Li, Y., Liu, W., Feng, Q., Zhu, M., Yang, L., Zhang, J. & Yin, X. (2023). The role of land use change in affecting ecosystem services and the ecological security pattern of the Hexi Regions, Northwest China. *Science of The Total Environment*, *855*, 158940. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158940

Libélula, C. A. y D. S. A. (2018). Vulnerabilidad y adaptación al cambio climáticoen Arequipa Metropolitana. Caracas: CAF. Recuperado de http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1181

Lin, B. B., Ossola, A., Alberti, M., Andersson, E., Bai, X., Dobbs, C., Elmqvist, T., Evans, K. L., Frantzeskaki, N., Fuller, R. A., Gaston, K. J., Haase, D.,Jim, C. Y., Konijnendijk, C., Nagendra, H., Niemelä, J., McPhearson, T., Moomaw, W. R., Parnell, S., Tan, P. Y. (2021). Integrating solutions to adapt cities for climate change. The Lancet Planetary Health, 5(7), e479-e486. https://doi.org/10.1016/s2542-5196(21)00135-2

Lin, G., Yang, Z., Xu, L., Zhang, F., & Yang, R. (2023). Urban ecological network construction in Loess Plateau regions in China-case study of Huanxian city. *Alexandria Engineering Journal*, *74*, 153-169. https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.05.035

Lin, J., Huang, C., Wen, Y., & Liu, X. (2021). An assessment framework for improving protected areas based on morphological spatial pattern analysis and graph-based indicators. Ecological Indicators, 130, 108138. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108138

Lin, S., Maruthaveeran, S., & Yusof, M. J. M. (2024). The Usage and Constraints of Urban River Corridor from a Socio-ecological Perspective: a Systematic

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Review. *Landscape Online*, 1121. https://doi.org/10.3097/lo.2024.1121

Lind, L., Hasselquist, E. M. & Laudon, H. (2019). Towards ecologically functional riparian zones: A meta-analysis to develop guidelines for protecting ecosystem functions and biodiversity in agricultural landscapes. *Journal of Environmental Management*, *249*, 109391. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109391

Liu, C., Wang, J., Sun, L., & Lv, C. (2020). Construction and optimization of green space ecological networks in urban fringe areas: A case study with the urban fringe area of Tongzhou district in Beijing. *Journal Of Cleaner Production*, *276*, 124266. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124266

Liu, M., Liu, X., Wu, L., Tang, Y., Li, Y., Zhang, Y., Ye, L. & Zhang, B. (2021). Establishing forest resilience indicators in the hilly red soil region of southern China from vegetation greenness and landscape metrics using dense Landsat time series. *Ecological Indicators*, *121*, 106985. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106985

Liu, X., Li, Y., Lu, J., Song, T., & Zhang, S. (2024). Urban growth simulation guided by ecosystem service trade-offs in Wuhan metropolitan area: Methods and implications for spatial planning. *Ecological Indicators*, *167*, 112687. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112687

Liu, Y., Gao, Y., Liu, L., Song, C. & Ai, D. (2022). Nature-based solutions for urban expansion: Integrating ecosystem services into the delineation of growth boundaries. *Habitat International*, 124, 102575. https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102575

Liu, Z., Lin, Y., De Meulder, B. & Wang, S. (2019). Can greenways perform as anew planning strategy in the Pearl River Delta, China? *Landscape and Urban Planning*, *187*, 81-95. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.03.012

Liu, Z., Lin, Y., De Meulder, B. & Wang, S. (2020). Heterogeneous landscapes ozgeozgeof urban greenways in Shenzhen: Traffic impact, corridor widthand land use. *Urban Forestry & Urban Greening*, *55*, 126785. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126785

Lourdes, K. T., Hamel, P., Gibbins, C. N., Sanusi, R., Azhar, B. & Lechner, A. M. (2022). Planning for green infrastructure using multiple urban ecosystem

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

service models and multicriteria analysis. *Landscape and Urban Planning*, *226*, 104500. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104500

Lourenço, I. B., Beleño de Oliveira, A. K., Marques, L. S., Quintanilha Barbosa, A. A., Veról, A. P., Magalhães, P. C. & Miguez, M. G. (2020). Aframework to support flood prevention and mitigation in the landscape and urban planning process regarding water dynamics. *Journal of Cleaner Production*, *277*, 122983. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122983

Lourdes, K. T., Hamel, P., Gibbins, C. N., Sanusi, R., Azhar, B., & Lechner, A. M. (2022). Planning for green infrastructure using multiple urban ecosystem service models and multicriteria analysis. *Landscape And Urban Planning*, *226*, 104500. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104500

Lopes, I. J. C., Biondi, D., Dallacorte, A. P., Reis, A. R. N. D., & Oliveira, T. G. S. (2023). A methodological framework to create an urban greenway network promoting avian connectivity: A case study of Curitiba City. *Urban Forestry & Urban Greening*, *87*, 128050. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128050

Lu, Y., Huang, D., Liu, Y., Zhang, Y., Jing, Y., Chen, H., Zhang, Z., & Liu, Y. (2024). Exploring the optimization and management methods of ecological networks based on the cluster mode: a case study of Wuhan Metropolis, China. *Land Use Policy*, *137*, 107021. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2023.107021

Luo, Z., Tian, J., Zeng, J. & Pilla, F. (2023). Resilient landscape pattern for reducing coastal flood susceptibility. *Science of The Total Environment*, *856*, 159087. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159087

Lupp, G., Huang, J. J., Zingraff-Hamed, A., Oen, A., Del Sepia, N., Martinelli, A., Lucchesi, M., Knutsen, T. W., Olsen, M., Fjøsne, T. F., Balaguer, E., Arauzo, I., Solheim, A., Kalsnes, B., & Pauleit, S. (2021). Stakeholder Perceptions of Nature-Based Solutions and Their Collaborative Co-Design and Implementation Processes in Rural Mountain Areas—A Case Study From PHUSICOS. *Frontiers In Environmental Science*, *9*. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.678446

Mabon, L., Barkved, L., de Bruin, K. & Shih, W. Y. (2022). Whose knowledge counts

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

in nature-based solutions? Understanding epistemic justice for nature-based solutions through a multi-city comparison across Europe and Asia. *Environmental Science & Policy*, *136*, 652-664. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.07.025

Macháč, J., Brabec, J. & Arnberger, A. (2022). Exploring public preferences and preference heterogeneity for green and blue infrastructure in urban green spaces. *Urban Forestry & Urban Greening*, *75*, 127695. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127695

Magdaleno, F. (s.f). Funciones y funcionamiento del bosque de ribera. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. http://observatoriaigua.uib.es/repositori/snra_espana_9.pdf

Manes, S., Vale, M. M., Malecha, A. & Pires, A. P. (2022). Nature-based solutions promote climate change adaptation safeguarding ecosystem services. *Ecosystem Services*, *55*, 101439. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101439

Martínez-García, V., Martínez-Paz, J. M. & Alcon, F. (2022). The economic valueof flood risk regulation by agroecosystems at semiarid areas. *AgriculturalWater Management*, *266*, 107565. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107565

Mckendry, T. (2019). Ecological corridors in urban landscapes: identifying and assessing an ecological corridor in Johannesburg. University of the Witwatersrand, Johannesburg. https://hdl.handle.net/10539/28052

McPhearson, T., Cook, E. M., Berbés-Blázquez, M., Cheng, C., Grimm, N. B., Andersson, E., Barbosa, O., Chandler, D. G., Chang, H., Chester, M. V., Childers, D. L., Elser, S. R., Frantzeskaki, N., Grabowski, Z., Groffman, P., Hale, R. L., Iwaniec, D. M., Kabisch, N., Kennedy, C., Troxler, T. G. (2022). A social-ecological-technological systems framework for urban ecosystem services. *One Earth*, *5*(5), 505-518. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.04.007

McQuatters-Gollop, A., Smith, M.A.E. and Parker, J.A. (2020). La Gestión del biodiversidad y los Servicios Ecosistémicos: Guía de gestión para Perú. Proyecto EO4cultivar. UK Space Agency International Partnership Programme.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Megyesi, B., Gholipour, A., Cuomo, F., Canga, E., Tsatsou, A., Zihlmann, V., Junge, R., Milosevic, D., & Pineda-Martos, R. (2024). Perceptions of stakeholders on nature-based solutions in urban planning: a thematic analysis in six European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 128344. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128344

Melicher, J., & Špulerová, J. (2022). Application of Landscape-Ecological Approach for Greenways Planning in Rural Agricultural Landscape. Environments. https://doi.org/10.3390/environments9020030.

Mihov, S. & Hristov, I. (2011). River Ecology. WWF-DCPO. https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/riverecology_eng_bt13dec.pdf

Millenium Ecosystem Assessment (2003). Ecosystem and Human well-being: A framework for assessment. Washington DC: Island Press. http://pdf.wri.org/ecosystems_human_wellbeing.pdf

Millennium Ecosystem Assessment, M. E. A. (2005). *Ecosystems and human well-being* (Vol. 5, pp. 563-563). Washington, DC: Island press. http://hdl.handle.net/20.500.11822/8780.

Mínguez, R., & Herrera, S. (2023). Spatial extreme model for rainfall depth: Application to the estimation of IDF curves in the Basque country. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *37*(8), 3117-3148. https://doi.org/10.1007/s00477-023-02440-1

Ministerio del Ambiente (2021). Política Nacional del Ambiente al 2030. DS. 023-2021-MINAM. https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-politica-nacional-ambiente-2030

Ministerio de Economía y Finanzas (2022). Plan Nacional de Infraestructura Sostenible para la Competitividad 2022-2025. DS. 242-2022-EF. https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_privada/planes/PNISC_2022_2025_V2.pdf

Mitchell, M. G. & Devisscher, T. (2022). Strong relationships between urbanization, landscape structure, and ecosystem service multifunctionality in urban forest fragments. *Landscape and Urban Planning*, *228*, 104548. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104548

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Mo, W., Wang, Y., Zhang, Y., & Zhuang, D. (2017). Impacts of road network expansion on landscape ecological risk in a megacity, China: A case study of Beijing. *Science Of The Total Environment*, *574*, 1000-1011. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.048

Montesinos-Tubée, D., Núñez, H., Toni, B., Álvarez, E., Borgoño, A., Zegarra, J., Gutiérrez, G., Maldonado, M., Rodríguez, M., Riveros, G. & Guillén, D. (2019). Diversidad florística, comunidades vegetales y propuestas de conservación del monte ribereño en el río Chili (Arequipa, Perú). *Arnaldoa*, 26(1): 97-130. http://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26106

Moosavi, S. (2022). Design experimentation for Nature-based Solutions: Towardsa definition and taxonomy. *Environmental Science & Policy*, *138*, 149- 161. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2022.10.004

Municipalidad de Jacobo Hunter (2021). Hunter es Turismo. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2359771/Revista%20Tur%C3%ADstica%20de%20Hunter.pdf

Municipalidad Distrital de Socabaya (2009). Plan Estratégico de Desarrollo Concertado. https://www.munisocabaya.gob.pe/wp-content/uploads/2015/06/PEDC-Socabaya.pdf

Municipalidad Distrital de Yanahuara (2019). Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres 2019-2022. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//6217_plan-de-prevencion-y-reduccion-del-riesgo-de-desastres-2019-2022-municipalidad-distrital-de-yanahuara.pdf

Nardella, L., Sebastiani, A., Stafoggia, M., Buonocore, E., Franzese, P. P., & Manes, F. (2024). Modeling regulating ecosystem services along the urban–rural gradient: A comprehensive analysis in seven Italian coastal cities. *Ecological Indicators*, *165*, 112161. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112161

Natural Capital Project. (2021). Urban InVEST: Designing resilient cities by nature. https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/urban-invest

Nor, A. N. M., Corstanje, R., Harris, J. A., Grafius, D. R. & Siriwardena, G. M. (2017). Ecological connectivity networks in rapidly expanding cities. *Heliyon*, *3*(6), e00325. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00325

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

NRCS, USDA (2007). Chapter 7 Hydrologic Soil Groups, Part 630 Hydrology. National Engineering Handbook. Washington DC. USDA Natural Resources Conservation Service. https://directives.sc.egov.usda.gov/22526.wba

Orhan, O. (2021). Land suitability determination for citrus cultivation using a GIS-based multi-criteria analysis in Mersin, Turkey. *Computers And Electronics In Agriculture*, *190*, 106433. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106433

Ortner, O. & Wallentin, G. (2020). Integration of landscape metric surfaces derived from vector data improves species distribution models. *EcologicalModelling*, *431*, 109160. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109160

Ottomano Palmisano, G., Govindan, K., Loisi, R. V., -->Dal Sasso, P. & Roma, R. (2016). Greenways for rural sustainable development: An integration between geographic information systems and group analytic hierarchy process. *Land Use Policy*, *50*, 429-440. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.10.016

Ozyavuz, M. (2019). New Approvches to Spatial Planning and Design. In: New Approches to Spatial Planning and Design. Peter Lang.

Padeiro, M. (2016). Conformance in land-use planning: The determinants of decision, conversion and transgression. *Land Use Policy*, *55*, 285-299. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.04.014

Pallathadka, A., Sauer, J., Chang, H. & Grimm, N. B. (2022). Urban flood risk and green infrastructure: Who is exposed to risk and who benefits from investment? A case study of three U.S. Cities. *Landscape and Urban Planning*, *223*, 104417. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2022.104417

Panareda, J. (2009). Evolution of Perception of Riparian Landscapes. Boletín de A.G.E. N°51, 429-233.

Pan, J., Wu, X., & Zhu, X. (2024). Optimizing the ecological source area identification method and building ecological corridors using a genetic algorithm: A case study in Weihe River Basin, NW China. *Ecological Informatics*, *80*, 102519. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102519

Park, S., Kim, J., Yun, H., & Kang, J. (2024). Exploring the network structure of

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

coupled green-grey infrastructure to enhance urban pluvial flood resilience: A scenario-based approach focusing on 'centralized' and 'decentralized' structures. *Journal Of Environmental Management*, *370*, 122344. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122344

Parodi, E., Kahhat, R. & Vázquez-Rowe, I. (2021). Multi-dimensional damage assessment (MDDA): A case study of El Niño flood disasters in Peru. *Climate Risk Management*, *33*, 100329. https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100329

Pauleit, S., Andersson, E., Anton, B., Buijs, A., Haase, D., Hansen, R., Kowarik,I., Stahl Olafsson, A. & Van der Jagt, S. (2019). Urban green infrastructure – connecting people and nature for sustainable cities. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 1-3. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.007

Pelage, L., Gonzalez, J. G., Le Loc'h, F., Ferreira, V., Munaron, J. M., Lucena-Frédou, F. & Frédou, T. (2021). Importance of estuary morphology for ecological connectivity with their adjacent coast: A case study in Brazilian tropical estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, *251*, 107184. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107184

Peña, S. B., Abreu, M. M., Teles, R. & Espírito-Santo, M. D. (2010). A methodology for creating greenways through multidisciplinary sustainable landscape planning. *Journal of Environmental Management*, *91*(4), 970- 983. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.12.004

Peng, J., Zhao, H. & Liu, Y. (2017). Urban ecological corridors construction: A review. *Acta Ecologica Sinica*, *37*(1), 23-30. https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2016.12.002

Phouratsamay, S., Scaparra, M. P., Tran, T. H., & Laporte, G. (2024). Strategic flood impact mitigation in developing countries' urban road networks: Application to Hanoi. *European Journal Of Operational Research*. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.06.035

Pinto, L. V., Inácio, M., Ferreira, C. S. S., Ferreira, A. D. & Pereira, P. (2022). Ecosystem services and well-being dimensions related to urban green spaces – A systematic review. *Sustainable Cities and Society*, *85*, 104072. https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104072

PNUMA (2021). El peso de las ciudades en América Latina y El Caribe:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Requerimiento futuros de recursos y potenciales rutas de actuación. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá, Panamá. [En línea] https://www.unep.org/es/resources/informe/el-peso-de-las-ciudades-en-america-latina-y-el-caribe-requerimientos-futuros-de#:~:text=El%20informe%20%C2%ABEl%20Peso%20de,transformaci%C3%B3n%20urbana%20sostenible%20y%20justa.

Porras, P. (2018). Detección de núcleos de islas de calor en la ciudad de Arequipa. *[Tesis de grado]* Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Ciencias. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3204/porras-vasquez-patricia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Presidencia de Consejo de Ministros - PCM (2012, octubre). Ejes Estratégicos dela Gestión Ambiental: Informe de la Comisión Multisectorial creada por Resolución Suprema N° 189-2012-PCM. En *SINIA*. https://sinia.minam.gob.pe/documentos/ejes-estrategicos-gestion- ambiental-informe-comision-multisectorial

Puente, K. (2017). El Plan Metropolitano de Desarrollo Urbano de Lima y Callao-2035: Análisis de un intento fallido. *Revista Iberoamericana deUrbanismo*, año 8 (13). http://hdl.handle.net/2117/108619

Pukowiec-Kurda, K. (2022). The urban ecosystem services index as a newindicator for sustainable urban planning and human well-being in cities. *Ecological Indicators*, *144*, 109532. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109532

Qian, J., Xiang, W. N., Liu, Y. & Meng, X. (2018). Incorporating landscape diversity into greenway alignment planning. *Urban Forestry & Urban Greening*, *35*, 45-56. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.08.006

Quagliolo, C., Roebeling, P., Matos, F. S., Pezzoli, A., & Comino, E. (2023). Pluvial flood adaptation using nature-based solutions: an Integrated biophysical-economic assessment. *Science of The Total Environment*, *902*, 166202. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166202

Quiroz, J. (2019). Implementación de un Modelo Eficiente de Uso de Agua Destinado para la Agricultura basado en Sistemas de Información Geográfica en la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Irrigación del Bajo Cural, Arequipa, 2018. [*Tesis de grado]* Universidad Católica de Santa María. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8951

Ragini, H. R., Debnath, M. K., Gupta, D. S., Deb, S., & Ajith, S. (2023). Modelling and Monitoring land use: Land cover change dynamics of Cooch Behar District of West Bengal using Multi-Temporal Satellite data. *Agricultural Research*, *12*(4), 387-396. https://doi.org/10.1007/s40003-023-00657-8

Rahimi-Ajdadi, F. (2022). Land suitability assessment for second cropping in terms of low temperature stresses using LandsAT TIRS sensor. *Computers and Electronics in Agriculture*, *200*, 107205. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107205

Raleigh (2022). Floodplain Creative Education Installation: A project by Stormwater in Partnership with Raleigh Arts. https://raleighnc.gov/arts/floodplain-creative-education-installation

Ramos-Cortez, C. & MacNeill, T. (2022). Challenging the 'absent state': Neoliberal extractivist governance and state effects in the northwest Peruvian Amazon. Political Geography, 98, 102720. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2022.102720

Rastandeh, A., & Jarchow, M. (2021). Urbanization and biodiversity loss in the post-COVID-19 era: Complex challenges and possible solutions. *Cities &Health*, 5(sup1), S37-S40. https://doi.org/10.1080/23748834.2020.1788322

Remme, R. P., Meacham, M., Pellowe, K. E., Andersson, E., Guerry, A. D., Janke, B., Liu, L., Lonsdorf, E., Li, M., Mao, Y., Nootenboom, C., Wu, T., & Van Oudenhoven, A. P. (2024). Aligning nature-based solutions with ecosystem services in the urban century. *Ecosystem Services*, *66*, 101610. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2024.101610

Renner, I. (2019). Integración de los servicios ecosistémicos en la planificación y gestión urbana: Un enfoque sistemático en pasos para profesionales. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). 1ra Ed. Ciudad de México, México.

Ribeiro, L. & Barão, T. (2006). Greenways for recreation and maintenance of

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

landscape quality: five case studies in Portugal. *Landscape and Urban Planning*, *76*(1-4), 79-97. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.042

Rivera, M., Vílchez, M. & Vela, J. (2018). Peligros por huaicos en la ciudad de Arequipa. En: Taller Internacional Fortalecimiento de capacidades para mitigar los impactos de huaicos en Perú, Lima y Arequipa, Perú, 15-19 octubre 2018: Libro de Resúmenes. Arequipa: INGEMMET, pp. 45-49.

Rodrigues, B. N., Molina, V. E., & Canteras, F. B. (2023). Green infrastructure as a solution to mitigate the effects of climate change in a coastal area of social vulnerability in Fortaleza (Brazil). Environmental Advances, 13, 100398. https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100398

Ronchi, S., Salata, S. & Arcidiacono, A. (2020). Which urban design parameters provide climate-proof cities? An application of the Urban Cooling InVEST Model in the city of Milan comparing historical planning morphologies. *Sustainable Cities and Society*, *63*, 102459. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102459

Ross, C.W., L. Prihodko, J.Y. Anchang, S.S. Kumar, W. Ji, and N.P. Hanan. 2018. Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/1566

Rujoiu-Mare, M., & Mihai, B. (2016). Mapping land cover using remote sensing data and GIS techniques: a case study of Prahova subcarpathians. *Procedia environmental sciences*, *32*, 244-255. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.029

Ryan, R. L., & Walker, J. T. H. (2004). Protecting and managing private farmland and public greenways in the urban fringe. *Landscape And Urban Planning*, *68*(2-3), 183-198. https://doi.org/10.1016/s0169-2046(03)00165-8

Salata, S., & Grillenzoni, C. (2021). A spatial evaluation of multifunctional Ecosystem Service networks using Principal Component Analysis: A case of study in Turin, Italy. *Ecological Indicators*, *127*, 107758. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107758

Salici, A. (2013). Greenways as a Sustainable Urban Planning Strategy. Advances in Landscape Architecture. https://doi.org/10.5772/55757

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Salinas, J. (2018). Análisis de riego ambientales sobre la calidad del suelo agrícola generados por la construcción de un puente en la zona de Huasacache. [Tesis de maestro] Universidad Nacional de San Agustín. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7199

Salmoral, G., Zegarra, E., Vázquez-Rowe, I., González, F., del Castillo, L., Saravia, G. R., Graves, A., Rey, D. & Knox, J. W. (2020). Water-related challenges in nexus governance for sustainable development: Insights from the city of Arequipa, Peru. *Science of The Total Environment*, *747*, 141114. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141114

Sarabi, S., Han, Q., de Vries, B., Romme, A. G. L. & Almassy, D. (2022). The Nature-Based Solutions Case-Based System: A hybrid expert system. *Journal of Environmental Management*, *324*, 116413. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116413

Sardón, H., Lavado, W. & Felipe, O. (2022). Inventario de datos de eventos de inundaciones del Perú. Estudio Final. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú –SENAMHI. https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1786

Saura, S., & Torné, J. (2009). Conefor Sensinode 2.2: A software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling & Software*, *24*(1), 135-139. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.05.005

Scheuer, S., Jache, J., Kičić, M., Wellmann, T., Wolff, M. & Haase, D. (2022). Atrait-based typification of urban forests as nature-based solutions. *Urban Forestry & Urban Greening*, *78*, 127780. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127780

Segura, C. (2014). Sistema de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado para el Centro Poblado de Mollebaya Tradicional – Mollebaya – Arequipa. *[Tesis de grado]* Universidad Católica de Santa María. https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4673

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAHMI (2015). Sistemas de seguimiento de la escorrentía a nivel nacional. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/1916

Shadmaan, M. S., & Hassan, K. M. (2024). Assessment of flood susceptibility in

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Sylhet using analytical hierarchy process and geospatial technique. *GEOMATICA*, *76*(1), 100003. https://doi.org/10.1016/j.geomat.2024.100003

Shaharum, N. S. N., Shafri, H. Z. M., Gambo, J., & Abidin, F. A. Z. (2018). Mapping of Krau Wildlife Reserve (KWR) protected Area using LaNDsAT 8 and supervised classification algorithms. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 10, 24-35. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2018.01.002

Sharma, A. (2015). Urban greenways: Operationalizing design syntax and integrating mathematics and science in design. *Frontiers of ArchitecturalResearch*, *4*(1), 24-34. https://doi.org/10.1016/j.foar.2014.11.002

Sharp, R., Tallis, H.T., Ricketts, T., Guerry, A.D., Wood, S.A., Chaplin-Kramer,R., Nelson, E., Ennaanay, D., Wolny, S., Olwero, N., Vigerstol, K.,Pennington, D., Mendoza, G., Aukema, J., Foster, J., Forrest, J., Cameron,D., Arkema, K., Lonsdorf, E., Kennedy, C., Verutes, G., Kim, C.K., Guannel, G., Papenfus, M., Toft, J., Marsik, M., Bernhardt, J., Griffin, R.,Glowinski, K., Chaumont, N., Perelman, A., Lacayo, M. Mandle, L., Hamel, P., Vogl, A.L., Rogers, L., Bierbower, W., Denu, D. & Douglass, J. (2018). InVEST +VERSION+ User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Shen, J., Du, S., Huang, Q., Yin, J., Zhang, M., Wen, J. & Gao, J. (2019). Mappingthe city-scale supply and demand of ecosystem flood regulation services—A case study in Shanghai. *Ecological Indicators*, *106*, 105544. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105544

Shen, J., Du, S., Ma, Q., Huang, Q., Wen, J., Yin, Z. & Gao, J. (2021). A new multiple return-period framework of flood regulation service—applied in Yangtze River basin. *Ecological Indicators*, *125*, 107441. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107441

Shen, J., Zhu, W., Peng, Z., & Wang, Y. (2023). Improving landscape ecological network connectivity in urbanizing areas from dual dimensions of structure and function. *Ecological Modelling*, *482*, 110380. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110380

Singh, S. K., & Singh, S. K. (2024). Landscape modeling for management of the

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

urban environment. En *Elsevier eBooks* (pp. 271-289). https://doi.org/10.1016/b978-0-323-99164-3.00016-1

Sini, R. (2020). Singapore's Green Infrastructure and Biophilic Urbanism. *Singapore's Park System Master Planning*, 211-251. https://doi.org/10.1007/978-981-13- 6746-5_8

Sohn, W., Bae, J., & Newman, G. (2021). Green infrastructure for coastal flood protection: The longitudinal impacts of green infrastructure patterns on flood damage. *Applied Geography*, *135*, 102565. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102565

Song, Y., Kirkwood, N., Maksimović, E., Zheng, X., O'Connor, D., Jin, Y. & Hou, D. (2019). Nature based solutions for contaminated land remediation and brownfield redevelopment in cities: A review. Science of The Total Environment, 663, 568-579. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.347

Stanturf, J. A. (2021). Landscape degradation and restoration. En *Elsevier eBooks* (pp. 125-159). https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813193-0.00005-9

Strazzera, E., Atzori, R., Meleddu, D. & Statzu, V. (2021). Assessment ofrenaturation measures for improvements in ecosystem services and flood risk mitigation. *Journal of Environmental Management*, *292*, 112743. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112743

Stuhlmacher, M., Georgescu, M., Turner, B., Hu, Y., Goldblatt, R., Gupta, S., Frazier, A. E., Kim, Y., Balling, R. C. & Clinton, N. (2022). Are global cities homogenizing? An assessment of urban form and heat island implications. *Cities*, *126*, 103705. https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103705

Tan, P. Y., Zhang, J., Masoudi, M., Alemu, J. B., Edwards, P. J., Grêt-Regamey, A., Richards, D. R., Saunders, J., Song, X. P. & Wong, L. W. (2020). A conceptual framework to untangle the concept of urban ecosystem services. Landscape and Urban Planning, 200, 103837. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103837

Tang, Y., Gao, C. & Wu, X. (2020). Urban Ecological Corridor Network

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Construction: An Integration of the Least Cost Path Model and the InVEST Model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *9*(1), 33. https://doi.org/10.3390/ijgi9010033

Tang, Y., Xie, Y., Sun, B., Hao, Z. & Pei, N. (2022). Greenway service supply and public demand in Guangzhou city, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, *76*, 127711. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127711

Taye, G., Tesfaye, S., Van Parijs, I., Poesen, J., Vanmaercke, M., Van Wesemael, B., Guyassaa, E., Nyssen, J., Deckers, J., & Haregeweyn, N. (2024). Impact of soil and water conservation structures on the spatial variability of topsoil moisture content and crop productivity in semi-arid Ethiopia. *Soil And Tillage Research*, *238*, 105998. https://doi.org/10.1016/j.still.2023.105998

Teng, M., Wu, C., Zhou, Z., Lord, E., & Zheng, Z. (2011). Multipurpose greenway planning for changing cities: A framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape And Urban Planning*, *103*(1), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05.007

Toosi, N. B., Soffianian, A. R., Fakheran, S. & Waser, L. T. (2022). Mapping disturbance in mangrove ecosystems: Incorporating landscape metrics and PCA-based spatial analysis. *Ecological Indicators*, *136*, 108718. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108718

Torres Mallma, S. F. (2021). Mainstreaming land use planning into disaster risk management: Trends in Lima, Peru. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *62*, 102404. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102404

UICN (2020). Estándar Global de la UICN para soluciones basadas en la naturaleza. Un marco sencillo para la verificación, el diseño y la extensiónde SbN. Primera edición. Gland, Suiza. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2020-020- Es.pdf

UN Environment (2019). Global Environment Outlook – GEO-6: Healthy Planet, Healthy People. Nairobi. 10.1017/9781108627146

UNEP (2017). Resilience and Resource Efficiency in Cities. Nairobi, Kenia. [En línea] https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/20629/Resilience_resource_efficiency_cities.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Valente de Macedo, L. S., Barda Picavet, M. E., Puppim de Oliveira, J. A. & Shih,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

W. Y. (2021). Urban green and blue infrastructure: A critical analysis of research on developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127898. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127898

Van Long, N., & Cheng, Y. (2018). Urban Landscape Design Adaption to Flood Risk: A Case Study in Can Tho City, Vietnam. *Environment And Urbanization Asia*, *9*(2), 138-157. https://doi.org/10.1177/0975425318783587

Vaňo, S., Olafsson, A. S., & Mederly, P. (2021). Advancing urban green infrastructure through participatory integrated planning: A case from Slovakia. *Urban Forestry & Urban Greening*, *58*, 126957. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126957

Veerkamp, C. J., Loreti, M., Benavidez, R., Jackson, B., & Schipper, A. M. (2023). Comparing three spatial modeling tools for assessing urban ecosystem services. *Ecosystem Services*, *59*, 101500. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101500

Verdonschot, P. F. M. & Verdonschot, R. C. M. (2022). The role of stream restoration in enhancing ecosystem services. *Hydrobiologia*. https://doi.org/10.1007/s10750-022-04918-5

Vian, F. D., Izquierdo, J. J. P., & Martínez, M. S. (2021). River-city recreational interaction: A classification of urban riverfront parks and walks. *Urban Forestry & Urban Greening*, *59*, 127042. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127042

von Haaren, C. & Reich, M. (2006). The German way to greenways and habitat networks. *Landscape and Urban Planning*, *76*(1-4), 7-22. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2004.09.041

Wang, L., Ge, M., Chen, N., Ding, J. & Shen, X. (2022). An Evaluation Model of Riparian Landscape: A Case in Rural Qingxi Area, Shanghai. *Land*, 11, 1512. https://doi.org/ 10.3390/land11091512

Wang, L., Zheng, H., Chen, Y., Ouyang, Z. & Hu, X. (2022). Systematic review of ecosystem services flow measurement: Main concepts, methods, applications and future directions. *Ecosystem Services*, *58*, 101479. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2022.101479

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Wang, N., & Yan, Z. (2024). Construction of an ecological security pattern in Jiangnan water network area based on an integrated Approach: A case study of Gaochun, Nanjing. *Ecological Indicators*, *158*, 111314. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111314

Wang, S., Abbas, J., Al-Sulati, K., & Shah, S. (2023). The Impact of Economic Corridor and Tourism on Local Community's Quality of Life under One Belt One Road Context. Evaluation Review, 48, 312 - 345. https://doi.org/10.1177/0193841X231182749.

Wang, S., Wu, M., Hu, M., Fan, C., Wang, T. & Xia, B. (2021). Promoting landscape connectivity of highly urbanized area: An ecological network approach. *Ecological Indicators*, *125*, 107487. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107487

Wang, T. G., Huang, Y., Cheng, J., Xiong, H., Yang, Y., Yu, F., & Wang, J. (2024). Construction and optimization of watershed-scale ecological network based on complex network method: A case study of Erhai Lake Basin in China. *Ecological Indicators*, *160*, 111794. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111794

Wang, Y., Li, C., Liu, M., Cui, Q., Wang, H., LV, J., Li, B., Xiong, Z. & Hu, Y. (2022a). Spatial characteristics and driving factors of urban flooding in Chinese megacities. *Journal of Hydrology*, *613*, 128464. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2022.128464

Wang, Y., Qu, Z., Zhong, Q., Zhang, Q., Zhang, L., Zhang, R., Yi, Y., Zhang, G.,Li, X. & Liu, J. (2022b). Delimitation of ecological corridors in a highly urbanizing region based on circuit theory and MSPA. *Ecological Indicators*, *142*, 109258. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109258

Wang, Y.C., Shen, J.K., & Xiang, W.N. (2018). Ecosystem service of green infrastructure for adaptation to urban growth: Function and configuration. *Ecosystem Health and Sustainability*, 4(5), 132-143. https://doi.org/10.1080/20964129.2018.1474721

Wanghe, K., Guo, X., Wang, M., Zhuang, H., Ahmad, S., Khan, T. U., Xiao, Y., Luan, X. & Li, K. (2020). Gravity model toolbox: An automated and open-source ArcGIS tool to build and prioritize ecological corridors in urban landscapes. *Global Ecology and Conservation*, *22*, e01012.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01012

Wei, L., Luo, Y., Wang, M., Su, S., Pi, J. & Li, G. (2020). Essential fragmentation metrics for agricultural policies: Linking landscape pattern, ecosystem service and land use management in urbanizing China. *Agricultural Systems*, *182*, 102833. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102833

Winter, A. K. & Karvonen, A. (2022). Climate governance at the fringes: Peri- urban flooding drivers and responses. *Land Use Policy*, *117*, 106124. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106124

World Resources Institute (2008). Ecosystem Services: A guide for decision makers. Rnaganathan, J., Raudsepp-Hearne, C., Lucas, N., Irwin, F., Zurek, M., Bennett, K., Ash, N. & West, R. (edt.) https://www.wri.org/research/ecosystem-services

Wu, X., Zhang, J., Geng, X., Wang, T., Wang, K., & Liu, S. (2020). Increasing green infrastructure-based ecological resilience in urban systems: A perspective from locating ecological and disturbance sources in a resource-based city. *Sustainable Cities and Society*, *61*, 102354. https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102354

WWF (2019). Ciudades del Perú. Primer reporte nacional de Indicadores Urbanos – 2018. Con un enfoque de sostenibilidad y resiliencia. Zucchetti, A. & Freundt, D. (edt.) Lima, Perú.

WWF (2020) Living Planet Report 2020 - Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (eds). WWF, Gland, Switzerland.

WWF (2021). Frentes de deforestación: Causas y respuestas en un mundo cambiante. Pacheco, P.; Mo, K.; Dudley, N.; Shapiro, A.; Aguilar- Amuchastegui, N.; Ling, P.Y.; Anderson, C. y Marx, A. (eds.). WWF, Gland, Suiza.

Xie, B., Lu, Y. & Zheng, Y. (2022). Casual evaluation of the effects of a large- scale greenway intervention on physical and mental health: A natural experimental study in China. *Urban Forestry & Urban Greening*, *67*, 127419. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127419

Xie, L., Wang, H., Xie, P., & Liu, S. (2022). How to design an ecological restoration project in fragile inland basins: A case study in arid regions of China. *Global Ecology And Conservation*, *39*, e02298.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02298

Yahner, T. G., Korostoff, N., Johnson, T. P., Battaglia, A. & Jones, D. R. (1995). Cultural landscapes and landscape ecology in contemporary greenway planning, design and management: a case study. *Landscape and Urban Planning*, *33*(1-3), 295-316. https://doi.org/10.1016/0169- 2046(94)02024-a

Yang, Y., Feng, Z., Wu, K., & Qi, L. (2022). How to construct a coordinated ecological network at different levels: a case from Ningbo City, China. *Ecological Informatics*, *70*, 101742. https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101742

Yang, H., Xu, W., Chen, Z., Xie, X., Yu, J., Lei, X., Guo, S., & Zheng, D. (2024). Ecological network construction for bird communities in high-density urban areas: A perspective of integrated approaches. *Ecological Indicators*, *158*, 111592. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.111592

Yildirim, Y., Keshavarzi, G. & Aman, A. R. (2021). Can urban parks help with disaster risk reduction through educational awareness? A case study of Hurricane Harvey. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *61*, 102377. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102377

Yuan, Y., Bai, Z., Zhang, J. & Xu, C. (2022). Increasing urban ecological resilience based on ecological security pattern: A case study in a resource-based city. *Ecological Engineering*, 175, 106486. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106486

Zeballos, C. (2020). Atlas Ambiental de Arequipa. Universidad Católica de Santa María.

Zhang, F., Wu, F. & Lin, Y. (2022). The socio-ecological fix by multi-scalar states: The development of 'Greenways of Paradise' in Chengdu. *Political Geography*, *98*, 102736. https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2022.102736

Zhang, M., He, J., Liu, D., Huang, J., Yue, Q. & Li, Y. (2022). Urban green corridor construction considering daily life circles: A case study of Wuhancity, China. *Ecological Engineering*, *184*, 106786. https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106786

Zhang, X., Ren, Y., Zhang, D., & Li, K. (2022). Construction of the green infrastructure network for adaption to the Sustainable Future Urban sprawl: a case study of Lanzhou City, Gansu Province, China. *Ecological Indicators*,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

145, 109715. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109715

Zhang, Y., Hu, W., Liu, T., Liu, F., Li, S., & Zhang, S. (2024). Integrating ecosystem integrity and ES supply–demand process to explore ecological connectivity in Wuhan metropolitan area, China. *Ecological Indicators*, *163*, 112128. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112128

Zhang, Y., Ong, G. X., Jin, Z., Seah, C. M. & Chua, T. S. (2022). The effects of urban greenway environment on recreational activities in tropical high- density Singapore: A computer vision approach. *Urban Forestry & UrbanGreening*, *75*, 127678. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2022.127678

Zhao, M., Lu, H., Liang, J., & Chan, C. (2021). Evaluating green resource branding using user-generated content data: The case study of a greenway in eastern Guangzhou, China. *Urban Forestry & Urban Greening*, *66*, 127395. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127395

Zhu, Y., Burlando, P., Tan, P. Y., Blagojevic, J., & Fatichi, S. (2024). Investigating the influence of urban morphology on pluvial flooding: Insights from urban catchments in England (UK). *The Science Of The Total Environment*, *953*, 176139. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176139

Zingraff-Hamed, A., Hüesker, F., Lupp, G., Begg, C., Huang, J., Oen, A., Vojinovic, Z., Kuhlicke, C., & Pauleit, S. (2020). Stakeholder Mapping to Co-Create Nature-Based Solutions: Who Is on Board? *Sustainability*, *12*(20), 8625. https://doi.org/10.3390/su12208625

Zucchetti, A, Hartmann, N, Alcantara, T, Gonzales, P, Cánepa, M, Gutierrez, C (2020). Infraestructura verde y soluciones basadas en la naturaleza para laadaptación al cambio climático. Prácticas inspiradoras en ciudades de Perú, Chile y Argentina. Plataforma MiCiudad, Red AdaptChile y ClikHub. https://cdkn.org/sites/default/files/files/REPORTE-CIUDADES-VERDES-FINAL-020920_rv_compressed.pdf

Zúñiga-Terán, A. A., González-Méndez, B., Scarpitti, C., Yang, B., Saldivar, J. M., Pineda, I., Peñúñuri, G., Robles, E. H., Irineo, K. S., Müller, S., & Valencia-Sauceda, J. (2022). Green Belt Implementation in Arid Lands through Soil Reconditioning and Landscape Design: The Case of Hermosillo, Mexico. *Land*, *11*(12), 2130.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

https://doi.org/10.3390/land11122130

ANEXO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo A – Validación de capa de uso de suelo

Tabla 18

Resultados de validación de mapa de uso de suelo del área de estudio para el año 2023

Precisión	*Vegetación no agrícola*	*Área agrícola*	*Suelo desnudo*	*Área urbana*
PA [%]	*97.97*	*76.60*	*96.01*	*94.57*
UA [%]	*81.19*	*97.53*	*85.69*	*96.06*
Precisión total	*91.56%*			

Nota: PA: Producer's accuracy. UA: User's accuracy. La tabla muestra los valores de precisión de usuario, productor y total para el mapa de uso de suelo del área metropolitana de Arequipa para el año 2023.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis