



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

RIESGO AMBIENTAL DEL ECOSISTEMA LOMAS DE MANGOMARCA,

DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA, 2025

**Línea de investigación:
Biodiversidad, ecología y conservación**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora

Barra Oscata, Carmen Rosario

Asesor

Martínez Cabrera, Rubén

ORCID: 0000-0002-4561-8627

Jurado

Vera Chamochumbi, Benjamin Fernando

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Lima - Perú

2026



RIESGO AMBIENTAL DEL ECOSISTEMA LOMAS DE MANGOMARCA, DISTRITO DE SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	13%	5%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	1%
4	purl.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
7	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%
9	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
10	www.unwto.org Fuente de Internet	<1%
11	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	<1%



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**RIESGO AMBIENTAL DEL ECOSISTEMA LOMAS DE MANGOMARCA, DISTRITO
DE SAN JUAN DE LURIGANCHO - LIMA, 2025**

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Barra Oscata, Carmen Rosario

Asesor:

Martínez Cabrera, Rubén

ORCID: 0000-0002-4561-8627

Jurado:

Vera Chamocho, Benjamin Fernando

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Lima – Perú

2026

Dedicatoria

A Dios, por guiarme y sostenerme durante este proceso. A mis padres, Paulina Oscata Ccorahua y Víctor Hugo Sánchez Barroso, por su ejemplo, respaldo permanente y motivación constante para culminar esta investigación.

Agradecimientos

Expreso mi profundo agradecimiento a mi asesor, el Ing., Rubén Martínez, por su disposición constante, sus valiosas orientaciones y por impulsar siempre la mejora continua de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento al Ing. José Luis Rosales, cuyo conocimiento y apoyo permanente fueron fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

A mis compañeros de la Coordinación del Sistema de Información Geográfica (CSIG), por el ánimo e impulso, en especial al Ing. Hansen Bueno, quien desde el inicio me brindó su guía, compartió generosamente su experiencia profesional en sistemas de información geográfica y me ofreció siempre su amistad y aliento para continuar.

ÍNDICE

Resumen.....	14
Abstract.....	15
I. INTRODUCCIÓN.....	16
1.1. Descripción y formulación del problema	18
1.1.1. <i>Problema principal</i>	20
1.1.2. <i>Problemas secundarios</i>	20
1.2. Antecedentes.....	20
1.2.1. <i>Antecedentes internacionales</i>	20
1.2.2. <i>Antecedentes nacionales</i>	24
1.3. Objetivos.....	27
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	27
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	27
1.4. Justificación	27
1.4.1. <i>Justificación teórica</i>	27
1.4.2. <i>Justificación metodológica</i>	28
1.4.3. <i>Justificación práctica</i>	28
1.5. Hipótesis	28
1.5.1. <i>Hipótesis general</i>	28
1.5.2. <i>Hipótesis específicas</i>	28
II. MARCO TEÓRICO	30
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	30

2.1.1. Peligro.....	30
2.1.2. Vulnerabilidad.....	30
2.1.3. Riesgo ambiental.....	31
2.1.4. Método de jerarquía analítica.....	31
2.1.5. Ecosistema.....	33
2.1.6. Lomas costeras.....	33
2.1.7. Degradación de ecosistemas.....	36
2.1.8. Expansión urbana.....	37
2.1.9. Minería no metálica.....	38
2.1.10. Infraestructura vial no planificada.....	39
2.1.11. Trocha carrozable.....	40
2.1.12. Presión turística.....	41
2.1.13. Residuos sólidos.....	42
2.1.14. Estado de salud de vegetación.....	42
2.1.15. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI).....	43
2.1.16. Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI).....	44
2.1.17. Potencial de captación de niebla.....	45
2.1.18. Pendiente.....	45
2.1.19. Sitios arqueológicos.....	46
III. MÉTODO.....	49
3.1. Tipo de investigación.....	49

3.1.1.	<i>Diseño de la investigación</i>	49
3.2.	Ámbito temporal y espacial	49
3.2.1.	<i>Ámbito temporal</i>	49
3.2.2.	<i>Ámbito espacial</i>	50
3.3.	Variables	52
3.4.	Población y muestra	54
3.4.1.	<i>Población</i>	54
3.4.2.	<i>Muestra</i>	54
3.5.	Instrumentos	54
3.5.1.	<i>Consulta a expertos</i>	54
3.5.2.	<i>Trabajo de campo</i>	55
3.5.3.	<i>Imágenes satelitales</i>	55
3.5.4.	<i>Imágenes geoespaciales de Google Earth</i>	56
3.5.5.	<i>Modelos digitales de elevación (DEM)</i>	56
3.5.6.	<i>Software de sistema de información geográfica (SIG)</i>	56
3.6.	Procedimientos	56
3.6.1.	<i>Etapa 1: Identificación y análisis de peligro</i>	57
3.6.2.	<i>Etapa 2: Identificación y análisis de vulnerabilidad.</i>	91
3.6.3.	<i>Etapa 3: Estimación del riesgo ambiental</i>	125
3.6.4.	<i>Etapa 4: Planteamiento de mecanismos para reducir el riesgo ambiental</i>	
	127	
3.7.	Análisis de datos	129

3.8.	Consideraciones éticas.....	129
IV.	RESULTADOS	131
4.1.	Factores de peligro en las Lomas de Mangamarca.....	131
4.2.	Factores de la vulnerabilidad de las Lomas de Mangamarca	133
4.3.	Nivel de riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca	136
4.4.	Mecanismos para reducir el riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca.....	137
V.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	139
VI.	CONCLUSIONES.....	142
VII.	RECOMENDACIONES	144
VIII.	REFERENCIAS	145
IX.	ANEXOS	156

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala fundamental de comparación por pares.....	32
Tabla 2 Tabla de porcentajes de superficie degradada según ecosistema	36
Tabla 3 Clasificación de cobertura vegetal en zonas con vegetación no boscosa	43
Tabla 4 Tabla de ubicación geoespacial de Lomas de Mangomarca.....	50
Tabla 5 Tabla de operacionalización de variables de la investigación	52
Tabla 6 Tabla de factores de peligro identificados en Lomas de Mangomarca.....	57
Tabla 7 Tabla de métodos usados para la sistematización espacial de factores de peligros antrópicos.....	69
Tabla 8 Tabla de puntajes asignados a los niveles de incidencia del peligro en cada clase de factores de peligro.....	75
Tabla 9 Tabla de clases del factor expansión urbana.....	76
Tabla 10 Tabla de clases del factor infraestructura vial no planificada.....	77
Tabla 11 Tabla de clases del factor minería no metálica	79
Tabla 12 Tabla de clases del factor presión turística	82
Tabla 13 Tabla de clases del factor residuos sólidos	84
Tabla 14 Tabla de estructura de matriz pareada de factores de peligro.....	85
Tabla 15 Dimensiones de análisis de los factores de vulnerabilidad.....	91
Tabla 16 Tabla de métodos usados para la sistematización espacial de factores de vulnerabilidad	101
Tabla 17 Rangos del índice SAVI adaptados al ecosistema Lomas de Mangomarca	109
Tabla 18 Clasificación de pendiente según MIDAGRI (2022)	114
Tabla 19 Tabla de clases del factor estado de salud de la vegetación	117
Tabla 20 Tabla de clases del factor potencial de captación de niebla	118
Tabla 21 Tabla de clases del factor pendiente	119

Tabla 22	Tabla de clases del factor sitios arqueológicos	120
Tabla 23	Tabla de estructura de matriz pareada de factores de vulnerabilidad ambiental ...	121
Tabla 24	Tabla de estructura de matriz pareada de dimensiones de vulnerabilidad.....	122
Tabla 25	Pesos de factores de peligro obtenidos mediante AHP.....	131
Tabla 26	Clases asignadas a los factores de peligro	132
Tabla 27	Superficie según nivel de peligro (ha)	133
Tabla 28	Pesos de factores de vulnerabilidad ambiental obtenidos mediante AHP	134
Tabla 29	Pesos de factores de vulnerabilidad cultural.....	134
Tabla 30	Pesos de dimensiones de vulnerabilidad obtenidos mediante AHP	134
Tabla 31	Clases asignadas a los factores de vulnerabilidad	135
Tabla 32	Superficie según nivel de vulnerabilidad (ha)	136
Tabla 33	Pesos de peligro y vulnerabilidad obtenidos mediante AHP	136
Tabla 34	Superficie según nivel de riesgo ambiental(ha).....	137
Tabla 35	Matriz de propuestas	138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura jerárquica del método de jerarquía analítica AHP	32
Figura 2 Formación de lomas costeras.....	34
Figura 3 Paisaje de Lomas de Mangamarca	34
Figura 4 Flora de lomas costeras de Lima	35
Figura 5 Minería no metálica en Lomas de Mangamarca	39
Figura 6 Trocha carrozable	41
Figura 7 Pendiente del terreno	46
Figura 8 Señalización oficial de Monumento Arqueológico Prehispánico Lomas de Mangamarca	48
Figura 9 Ubicación de lomas de Mangamarca	50
Figura 10 Fases de la metodología para determinar el riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca.....	57
Figura 11 Expansión urbana “pueblo fantasma” en la quebraza Vizcacheras (temporada seca)	58
Figura 12 Presencia de cercos para lotizaciones.....	59
Figura 13	60
Figura 14 Zona de minería no metálica inactiva (pasivo minero)	61
Figura 15 Vista satelital actual de zona de minería no metálica inactiva (pasivo minero).....	61
Figura 16 Zona de minería no metálica activa (cantera).....	62
Figura 17 Trochas carrozables dentro de Lomas de Mangamarca	63
Figura 18 Sendero turístico Las Hechiceras (parte alta).....	64
Figura 19 Apertura de caminos no autorizados derivados del sendero oficial	65
Figura 20 Ubicación del criadero de cerdos cercano a Lomas de Mangamarca	66

Figura 21 Ingreso a la Asociación de Propietarios Primero de Mayo Campoy-Predio La Vizcachera.....	66
Figura 22 Condiciones de ocupación y gestión inadecuada de residuos sólidos en el área de influencia de las Lomas de Mangamarca.....	67
Figura 23 Acumulación de residuos sólidos en la Lomas de Mangamarca-Sector Vizcacheras	68
Figura 24 Ubicación de zona de acumulación de residuos sólidos en laderas- Sector Los Sauces	69
Figura 25 Resultado de digitalización de expansión urbana en Lomas de Mangamarca	70
Figura 26 Visualización de un sector de expansión urbana producto de la digitalización	71
Figura 27 Resultado de la digitalización de infraestructura vial no planificada en Lomas de Mangamarca	71
Figura 28 Resultado de digitalización de áreas intervenidas por minería no metálica en Lomas de Mangamarca.....	72
Figura 29 Imágenes georreferenciadas de sectores de acumulación de residuos sólidos	73
Figura 30 Resultado de la digitalización de áreas ocupadas por residuos sólidos en Lomas de Mangamarca	73
Figura 31 Espacialización de circuitos turísticos mediante registro GPS.....	74
Figura 32 Presencia de proliferación de senderos informales hasta los 100 m	81
Figura 33 Modelo de geoprocesamiento para obtener la capa espacial de peligro y valores resultantes	89
Figura 34 Uso de método de Natural Breaks (Jenks)para definir la clasificación de niveles de peligro	90
Figura 35 Degradación del estado de salud de la vegetación en las Lomas de Mangamarca	92
Figura 36 Zona con buen estado de salud de la vegetación en las Lomas de Mangamarca...	92

Figura 37	Presencia de niebla en las Lomas de Mangamarca con diferente densidad	93
Figura 38	Pendiente en Lomas de Mangamarca	95
Figura 39	Vista satelital del Sitio arqueológico Cerro Lurigancho	96
Figura 40	Presión urbana sobre el área que colinda al Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho	96
Figura 41	Vista satelital del Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho Este	97
Figura 42	Evidencia arqueológica y sus amenazas antrópicas	98
Figura 43	Vista satelital de Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca	99
Figura 44	Rocas de molino ubicadas en el Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca ...	99
Figura 45	Taffonis y geoformas ubicadas dentro del Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca	100
Figura 46	Vista satelital de la Zona Arqueológica Monumental Pedreros	101
Figura 47	Resolución espacial de bandas de imagen Sentinel-2	102
Figura 48	Resolución espacial de bandas de imagen Sentinel-2	103
Figura 49	Bandas espectrales de la imagen Sentinel-2 descargada	104
Figura 50	Conversión de formato de bandas de JP2 a GeoTIFF	104
Figura 51	Bandas NIR y Rojo en formato GeoTIFF	105
Figura 52	Corte de bandas en base al área de análisis de la investigación	105
Figura 53	Aplicación de la fórmula del índice SAVI en la herramienta Ráster calculator ..	107
Figura 54	Resultado del índice SAVI en el área de estudio	107
Figura 55	Uso de herramienta Reclassify para la adaptación de rangos del índice SAVI en Lomas de Mangamarca.....	108
Figura 56	Descarga de DEM ALOS PALSAR (producto Hi-Res Terrain Corrected).....	110
Figura 57	Escena de DEM ALOS PALSAR escogida	111
Figura 58	Uso de herramienta Slope para determinar la pendiente en el área de estudio	111

Figura 59 Identificación de zonas con altitud óptima para captación de niebla	112
Figura 60	113
Figura 61 Pendiente óptima para captación de niebla	115
Figura 62 Modelo de geoprocésamiento para determinar zonas con potencial captación de niebla.....	116
Figura 63 Modelo de geoprocésamiento para determinar la vulnerabilidad ambiental de Lomas de Mangamarca.....	123
Figura 64 Modelo de geoprocésamiento para determinar la vulnerabilidad de Lomas de Mangamarca	125
Figura 65 Modelo de geoprocésamiento para determinar el riesgo ambiental de Lomas de Mangamarca	127

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matrices pareadas de factores de peligro	157
Anexo B. Matrices pareadas de factores de vulnerabilidad (dimensión ambiental).....	161
Anexo C. Matrices pareadas de dimensiones de vulnerabilidad.....	164
Anexo D. Matrices pareadas de peligro vs vulnerabilidad	167
Anexo E. Mapa de distribución espacial del factor expansión urbana	170
Anexo F. Mapa de distribución espacial del factor infraestructura vial no planificada.....	171
Anexo G. Mapa de distribución espacial del factor minería no metálica	172
Anexo H. Mapa de distribución espacial del factor presión turística	173
Anexo I. Mapa de distribución espacial del factor residuos sólidos.....	174
Anexo J. Mapa de distribución espacial del factor estado de salud de la vegetación.....	175
Anexo K. Mapa de distribución espacial del factor pendiente	176
Anexo L. Mapa de distribución espacial del factor potencial de captación de niebla.....	177
Anexo M. Mapa de distribución espacial del factor sitios arqueológicos	178
Anexo N. Mapa de peligro de Lomas de Mangamarca	179
Anexo Ñ. Mapa de vulnerabilidad de Lomas de Mangamarca	180
Anexo O. Mapa de riesgo ambiental de Lomas de Mangamarca	181

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo determinar el riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca, en San Juan de Lurigancho, durante el año 2025. El estudio tuvo un diseño no experimental y de alcance descriptivo-explicativo. La metodología integró técnicas de análisis geoespacial, clasificación temática y evaluación multicriterio mediante el proceso analítico jerárquico (AHP), con la participación de siete expertos. Se identificaron los cinco factores antrópicos que generan peligro (expansión urbana, infraestructura vial no planificada, minería no metálica, presión turística y residuos sólidos), así como los factores de vulnerabilidad divididos en dos dimensiones: ambiental (estado de salud de la vegetación, potencial de captación de niebla y pendiente) y cultural (sitios arqueológicos). Cada factor y dimensión fue ponderado y espacializado para generar los mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental. Los resultados muestran que la expansión urbana (peso: 0.52) fue el factor de mayor contribución al peligro, predominando el nivel moderado (33.78%). La vulnerabilidad alcanzó mayor concentración en el nivel alto (60.53%), principalmente por los factores estado de salud de vegetación (peso: 0.44) y potencial de captación de niebla (peso:0.42). El riesgo ambiental resultante mostró que el 24.34% del área presenta riesgo moderado y el 19.14% riesgo alto, mientras que el 5.37% corresponde a zonas de riesgo muy alto. Finalmente, se plantearon mecanismos orientados a reducir presiones antrópicas a fin de reducir el riesgo ambiental que presenta el ecosistema de estudio.

Palabras clave: Ecosistema, Lomas de Mangamarca, riesgo ambiental, peligro, vulnerabilidad.

Abstract

The objective of the present research was to determine the environmental risk of the Lomas de Mangomarca ecosystem, located in San Juan de Lurigancho, for the year 2025. The study employed a non-experimental design with a descriptive- explanatory scope. The methodology integrated geospatial analysis techniques, thematic classification, and multicriteria evaluation through the Analytic Hierarchy Process (AHP), with the participation of seven expert. Five anthropic factors generating hazard were identified (urban expansion, unplanned road infrastructure, non-metallic mining, tourism pressure and solid waste) along with vulnerability factors grouped into two dimensions: environmental (vegetation health status, fog-catching potential, and slope) and cultural (archaeological sites). Each factor and dimension were weighted and spatialized to generate to hazard, vulnerability and environmental risk maps. The results indicate that urban expansion (weight: 0.52) was the factor contributing most significantly to hazard, with moderate levels predominating (33.78%). Vulnerability exhibited its highest concentration al the high level (60.53%), mainly driven by vegetation health (weight: 0.44) and fog-catching potential (weight: 0.42). The resulting environmental risk showed that 24.34% of the area presents moderate risk, 1914% high risk, and 5.37% very high risk. Finally, mechanisms were proposed to reduce anthropic pressures in order to diminish the environmental risk affecting the ecosystem under study.

Keywords: Ecosystem, Lomas de Mangomarca, environmental risk, hazard, vulnerability.

I. INTRODUCCIÓN

Las lomas costeras constituyen ecosistemas estacionales y altamente frágiles, donde la condensación de la niebla permite la aparición temporal de cobertura vegetal durante meses más húmedos del año. A pesar de su singularidad ecológica y su elevado nivel de endemismo, estos ecosistemas se encuentran expuestos a diversas presiones antrópicas que comprometen su integridad, entre ellas la expansión urbana, la minería ilegal, el tráfico de terrenos y un turismo creciente sin medidas adecuadas de control. Un ejemplo representativo de este tipo de ecosistemas es Lomas de Mangamarca, ubicado en el distrito de San Juan de Lurigancho, donde los últimos años se ha evidenciado una acelerada pérdida de superficie y un incremento de amenazas que ponen en riesgo su continuidad ecológica.

La degradación progresiva de Lomas de Mangamarca se manifiesta en la reducción de su extensión, la apertura de caminos no autorizados, la extracción ilegal de agregados y la ocupación informal del territorio, actividades que generan impactos directos sobre la vegetación, la fauna y los servicios ecosistémicos que este espacio brinda a la población local. Esta situación plantea la necesidad de evaluar el riesgo ambiental, entendido como la combinación de la probabilidad de ocurrencia de fuentes de peligro y la vulnerabilidad del ecosistema frente a dichas amenazas. Evaluar el riesgo permite estimar la afectación potencial del ecosistema a partir de los peligros actuales y las condiciones de vulnerabilidad existentes, incorporando también las zonas que ya muestran evidencias de degradación y así orientar la toma de decisiones para la conservación y gestión sostenible de este ecosistema.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo determinar el nivel de riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca durante el año 2025, identificando y analizando los factores de peligro y vulnerabilidad que intervienen en su dinámica ambiental. Para ello, se emplea una metodología basada en el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) para la asignación de pesos a los factores y en el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

para la integración espacial de dichos factores mediante sumas ponderadas. Este enfoque permite representar de manera precisa la distribución espacial del peligro, la vulnerabilidad y, finalmente, el riesgo ambiental.

En Capítulo I presenta el planteamiento del problema, la justificación, los objetivos y los alcances del estudio. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, abordando conceptos fundamentales sobre lomas costeras, fragilidad ecológica, amenaza, vulnerabilidad y riesgo ambiental. El Capítulo III describe el área de estudio y detalla la metodología empleada para la selección, ponderación y análisis de los factores. El capítulo IV expone los resultados obtenidos respecto a los niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca. Posteriormente, el Capítulo V discute los hallazgos en función de estudios previos y del contexto territorial. Finalmente, el Capítulo VI presenta las conclusiones generales y recomendaciones orientadas a la gestión ambiental y conservación del ecosistema.

La información generada en esta investigación constituye un aporte técnico para la toma de decisiones por parte de autoridades locales, gestores ambientales y actores comunitarios involucrados en la protección de Lomas de Mangamarca, proporcionando una base sólida para el diseño de estrategias de conservación y mitigación de riesgos acorde la realidad del territorio.

1.1. Descripción y formulación del problema

A nivel mundial las lomas costeras se ubican solo en Perú y Chile (García, 2020) convirtiéndose así en ecosistemas endémicos, cuya condición está acompañada de la fragilidad, es decir, la susceptibilidad de estas a ser fuertemente dañadas por actividades antrópicas (Arana y Salinas, 2007) Según el estudio elaborado por (Arakaki et al., 2021) , las lomas a lo largo de la franja costera de Perú y Chile tienen una superficie de 8.700 km² y solo el 4% de este territorio se encuentra protegido con acciones de conservación por lo que el resto viene siendo deteriorado por la minería, el desarrollo urbano, la contaminación del aire y la conducción de vehículos fuera de los caminos establecidos (off-road 4x4 driving) poniendo en riesgo aproximadamente 1.200 especies de plantas que representan alrededor de un 67% de endemismo en Chile y un 30% en Perú.

En el Perú, las lomas representan una superficie de aproximadamente 3.000 km² (El Peruano, 2021) y la mayoría de ellas tienen en común amenazas antrópicas siendo las principales: minería metálica y no metálica, tráfico de terrenos, pastoreo e invasiones para viviendas (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD], 2018), generando una tasa anual de pérdida de ecosistema entre 0,1 al 0,5% (Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP]; PNUD, 2022).

El distrito limeño de San Juan de Lurigancho, según el visor Geolomas administrado por la Municipalidad de Lima, cuenta con un área de 6,12 km², considerando a las siguientes: Payet, Amancaes y Mangamarca, siendo esta última la más extensa del distrito. Actualmente, las lomas de Mangamarca tienen como amenazas antrópicas la alta demanda de vivienda, el elevado riesgo de extracción de minerales no metálicos y el incremento de turismo local sin medidas suficientes de control.

El SERNANP y PNUD (2022) mediante su estudio de Valoración económica de Lomas de Lima señala que en el 2013 Lomas de Mangamarca contaba con 516.10 ha y en el 2020 con 476,74 evidenciado una tasa anual de pérdida de ecosistema de 1,1%, siendo su principal causa el tráfico de terrenos. Asimismo, en el año 2023 la vicepresidenta de la Red de Lomas de Lima denunció que esta actividad ocupó 400 ha (Alomía, 2023), cifra alarmante que indica su avance progresivo, descontrolado y depredador.

En cuanto a la minería, Lomas de Mangamarca no cuenta con presencia de concesiones, sin embargo, en el 2021 la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPDA, 2021) a través de su página web informó que mineros ilegales ingresaron a este ecosistema con maquinaria pesada y extrajeron materiales agregados de construcción: piedra y arena, evidenciando los débiles límites fronterizos que permiten el fácil acceso de invasores y mineros ilegales.

En el año 2019, según el libro de inscripción de turistas de la Asociación Ecoturística Lomas de Mangamarca, en temporada húmeda (julio a setiembre) recibió 1.300 turistas donde cerca del 56% de estos fueron pobladores locales. Estas cifras solo consideran el registro de turistas durante los fines de semana por el déficit de personal para atención permanente por la condición Ad Honorem de la Asociación, lo cual evidencia un escaso control de la actividad turística provocando el ingreso de visitantes sin orientador local, apertura de nuevos caminos por desconocimiento de los senderos oficiales de los circuitos turísticos y consigo la pérdida de cobertura vegetal.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, es claro que Lomas de Mangamarca viene enfrentando una degradación del ecosistema por lo que resulta necesaria en primera instancia la evaluación del riesgo ambiental para la cuantificación de los efectos adversos ocasionados por las fuentes de peligro y así establecer medidas de control adecuadas.

1.1.1. Problema principal

- ¿Cuál es el riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho- 2025?

1.1.2. Problemas secundarios

- ¿Qué factores generan peligro en el ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025??
- ¿Qué factores determinan la vulnerabilidad en el ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025?
- ¿Qué nivel de riesgo ambiental resulta de integrar el peligro y la vulnerabilidad del ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025?
- ¿Qué mecanismos pueden implementarse para reducir el riesgo ambiental en el ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Bose et al. (2021) en su artículo científico evaluaron el riesgo del anegamiento urbano como en la ciudad de Siliguri ubicado en la India ya que las intensas lluvias en la temporada de monzones provocan el colapso de los drenajes y por consecuencia aniegos con perturbaciones a los servicios de la ciudad. Es así que para este estudio, los autores previa revisión bibliográfica y consulta a expertos consideraron 10 indicadores de peligro: elevación, pendiente, acumulación de flujo, precipitación, Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI), el índice de humedad de diferencia normalizada (NDMI), índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), geomorfología, distancia a ríos y suelo; y 7 indicadores de vulnerabilidad: densidad de población, densidad de hogares, capacidad de drenaje de aguas pluviales, uso del suelo, densidad de la red de carreteras, densidad de

instituciones educativas y servicios de emergencia. Estos indicadores fueron obtenidos a partir de modelos de elevación digital global ASTER de resolución espacial de 30 m, imágenes satelitales Landsat y capas vectoriales de la FAO e informes de estudios y planes de acción realizados en la India. Luego de la recopilación de datos, usaron el método El método Analytic Hierarchy Process (AHP) propuesto por Saaty para establecer la configuración jerárquica por medio de asignación de pesos con una escala del 1 al 9. Finalmente, con el uso de los sistemas de información geográfica (SIG) modelizaron el índice de riesgo de anegamiento urbano el cual mostró como resultado del estudio que alrededor del 35% (14.7 km²) de la ciudad se encuentra en una zona de riesgo de muy alto a alto. Además, que el 16,3%, 29,5% y 19,3% del área de estudio se encuentran bajo zonas de riesgo muy bajo, bajo y moderado, respectivamente.

Lin et al. (2020) en su artículo científico mapearon los riesgos ambientales potenciales en la Nación Navajo en el sureste de los Estados Unidos la cual contiene en su territorio a 523 minas de uranio abandonadas (AUM). Este estudio tuvo como finalidad facilitar la comprensión de la dinámica espacial de la exposición a contaminantes en esta nación, mediante un modelo GIS-MCDA (modelo de decisiones multicriterio basado en el sistema de información geográfica) que exprese la contaminación potencial a causa de los AUM se tomaron en cuenta ocho capas de criterio o factores: proximidad a los sitios AUM, proximidad a las carreteras, proximidad a drenajes descendentes de sitios AUM, accidentes topográficos, índice de viento, exposición topográfica al viento, robustez de la vegetación y contaminación de aguas subterráneas. Estas capas de criterio fueron usadas bajo los siguientes métodos: Lógica difusa para conocer el grado de membresía de las capas seleccionadas y su potencial de contaminación, el proceso de jerarquía analítica (AHP) la que permitió por comparación de pares determinar el peso de cada factor y el análisis de sensibilidad que permitió reajustar los pesos de los factores y conocer la consistencia y confiabilidad del modelo. Los resultados de

este estudio indicaron que el 20,2% de la Nación Navajo se encuentra en mayor riesgo o alto riesgo por contaminación por AUM, el 65,7% en riesgo medio y el 14,1% en riesgo bajo, siendo la proximidad a un AUM el factor predominante asociado al riesgo ambiental.

Bedoya y Herrera (2021) en su estudio realizaron la identificación y evaluación de riesgos ambientales producidos por las actividades de los laboratorios de la Universidad Santo Tomás sede de Villavicencio, mediante la metodología planteada en la Guía Técnica Colombiana 104, 2009 “Gestión del riesgo ambiental. Principios y proceso”, considerando cuatro etapas: Recolección de información primaria y secundaria de las Coordinaciones de Gestión ambiental y de Laboratorios de la mencionada universidad, Identificación de fuentes de riesgo y riesgos potenciales, estimación del nivel de riesgo de forma cualitativa; y finalmente la etapa de propuestas de alternativas de prevención y mitigación del riesgo ambiental. Es así como, para el presente estudio se identificaron quince riesgos ambientales potenciales: Desecho de residuos sólidos de muestras de suelo en áreas aledañas a laboratorios, separación inadecuada de residuos sólidos ordinarios en los contenedores, disposición inadecuada de residuos sólidos orgánicos, separación inadecuada de residuos con riesgo biológico en los contenedores, extensión del periodo de la recolección de los residuos, ubicación inapropiada de los reactivos y elementos de trabajo, inadecuada disposición de los residuos con muestras de agua con suelo, vertimiento de residuos de agua con trazas de sustancias químicas y reactivos en el drenaje y alcantarillado, dispersión de gases por reacción de ácidos y elementos químicos, dispersión de gases en bajas concentraciones por reacción de ácidos y elementos químicos, generación de polvo muy fino, debido al manejo de cemento, arena y suelo, generación de polvo muy fino, por limar y pulir metales en tornos, fresadoras y taladros, emisión de sustancias volátiles por la manipulación y almacenamiento de sustancias químicas; y ruptura de bolsas con residuos potencialmente peligrosos/infecciosos en la recolección y transporte de residuos hacia el cuarto de acopio. Estos riesgos potenciales fueron evaluados y

se obtuvo que, dos de ellos fueron denominados como “inaceptables”, es decir, que necesitan atención prioritaria, siete de ellos como “aceptables bajo condiciones” y el resto como “aceptables sin condiciones”, ya que si llegasen a ocurrir no generarían impactos al ambiente significativo o con un nivel de significancia.

Cruz y Rodríguez (2024) en su artículo científico realizaron la aplicación del método de análisis multicriterio para la determinación del riesgo por inundación en el municipio Ibagué Tolima, considerando el uso del sistema de información geográfica. El estudio recopila diversas capas espaciales en formato vectorial y ráster, las cuales fueron transformadas en factores o criterios de evaluación. Entre estas capas se incluyen el modelo de elevación digital (DEM), la pendiente, la cobertura del suelo, la red de drenaje del municipio y la precipitación. A cada uno de estos factores se les asignó un peso específico en el análisis, correspondiente a su nivel de importancia: DEM (10%), pendiente (15%), cobertura del suelo (10%), drenaje (35%) y precipitación (30%). La totalidad de información espacial fue transformada a formato ráster a fin de que estos sean reclasificados cualitativamente del valor numérico dos “riesgo muy bajo” al diez “riesgo muy alto”. Finalmente, mediante la superposición de estas capas reclasificadas se obtuvo el mapa de riesgos del municipio clasificados del uno “riesgo muy bajo” al cinco “riesgo muy alto”, resultando que el mayor porcentaje del área de estudio está representando por un nivel de riesgo muy alto a inundaciones, principalmente en las zonas urbanas debido a su topografía ondulada. Este estudio demostró que, el método de análisis multicriterio apoyado en los sistemas de información geográfica ofrece reducción de tiempo y costos en la obtención de resultados, permitiendo la incorporación de variables predominantes en el análisis, en este caso variables o factores agroclimáticos basados en criterios de zonificación.

Oshneck et al. (2024) en su estudio ““A geographic information system and analytic hierarchy process drought risk analysis approach in arid south-western Zimbabwe: Prospects

for informed resilience building" se enfoca en el uso de un Sistema de Información Geográfica (SIG) combinado con el Proceso de Jerarquía Analítica (AHP) para evaluar los riesgos de sequía en la región árida del suroeste de Zimbabue. Los autores del estudio aplican el AHP para priorizar múltiples factores de riesgo, como precipitación, temperatura, suelo, viento, cobertura terrestre, vapor de agua y pendiente, lo cual permite identificar áreas de alta vulnerabilidad y planificar medidas de adaptación.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Canova y Sánchez (2023) en su tesis de investigación evaluaron el riesgo ambiental generado por el derrame de petróleo ocurrido en el litoral de Ventanilla, para lo cual usaron la metodología establecida en la Guía del Ministerio de ambiente. Es así que los autores partieron de la recopilación de información documental de monitoreos realizados por IMARPE donde identificaron 11 estaciones de las cuales 5 superaron los estándares de calidad ambiental (ECA) en el parámetro Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 7 estaciones superaron en el parámetro hidrocarburos totales de petróleo (TPH), luego identificaron como peligros a la falta de mantenimiento al sistema de control, implementación inadecuada de un plan de contingencia (en el entorno humano), factor oceanográfico (entorno ecológico) y la actividad petrolera (entorno socioeconómico), donde estos peligro fueron relacionados a los resultados de monitoreo de calidad de agua. Luego procedieron a determinar los escenarios de riesgo para dar pase a la valoración de probabilidad de ocurrencia y gravedad de consecuencias (en función de la cantidad, peligrosidad, extensión y población afectada) asociadas a los peligros previamente identificados. Finalmente, el riesgo lo obtuvieron del producto de la probabilidad y gravedad de peligros, identificando así un riesgo ambiental significativo en el área de estudio con una caracterización con equivalencia porcentual en el entorno humano de 80%, entorno ecológico con 80% y socioeconómico con 40%.

Jaramillo (2022) en su tesis de investigación realizó la evaluación del riesgo ambiental del distrito de Chala ubicado en el departamento de Arequipa, identificando como factores de peligro a la disponibilidad de agua potable, disponibilidad de alcantarillado, disponibilidad de red eléctrica, disponibilidad de calles asfaltadas, distancia a quimbaletes, distancia a plantas informales, distancia a plantas formales, distancia a botaderos de residuos sólidos, distancia a cementerios, distancia a grifos cuyos datos en formato geoespacial fueron obtenidos de los instrumentos de gestión ambiental de las actividades mineras de la zona, información pública del gobierno local y de servicios básicos. Luego estos factores fueron transformadas y estandarizadas en un valor de pertenencia entre 0 y 1 mediante la lógica difusa para el cambio gradual de los valores en los mapas temáticos usados. Realizada la preparación de factores, empleó el análisis jerárquico (AHP) a fin de establecer la importancia de cada factor asignando así una ponderación en función a su relevancia en el estudio, que dio pase a la operacionabilidad de los factores en el entorno de QGIS para la superposición ponderada a través de la herramienta weighted overlay que permitió identificar que la región Chala norte presenta riesgo de contaminación ambiental mientras que Chala sur presenta menor riesgo y además un mejor acceso a los servicios públicos.

Rodríguez (2022) en su artículo científico identificó el riesgo ambiental por contaminación de hidrocarburos en la comunidad de Corapata ubicada en el distrito de Pusi en Puno, ya que se tuvo como antecedentes que las actividades de exploración y cierre de pozos petroleros interfirieron de forma negativa en la agricultura, cuerpos de agua y suelo. La evaluación la realizó en base a los lineamientos de la “Guía de evaluación de riesgos ambientales”, para lo cual recolectaron muestras de agua superficial y de suelo en estaciones de monitoreo ubicadas en zonas contaminadas cuyos resultados al ser comparados los ECA mostraron que superaban los valores en los parámetros de agua: T, CE, CL, OD, HTP y respecto a los parámetros de suelo As, B, Ca, K, Na y P superaron los ECA. Estos parámetros

fueron tabulados en el software MINITAB lo cual permitió la predicción de contaminación permitiendo así identificar un riesgo moderado con un equivalente porcentual del 55%.

Loayza y Mamani (2021) en su tesis de investigación usaron el análisis multicriterio y sistema de información geográfica para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de San Román, considerando como variables la disponibilidad y propiedad del terreno, restricciones de ubicación, preservación del patrimonio arqueológico, vulnerabilidad del área a desastres naturales, geomorfología, condiciones hidrológicas, condiciones hidrogeológicas y geología. Estas variables al estar georreferenciadas fueron procesadas con herramientas tales como buffer, reclass, clip, overlay a fin de obtener un valor numérico donde 0 significa “zonas no aptas” y 1 “zonas aptas”, resultando así quince áreas con potencial para localización de un relleno sanitario, concluyendo los autores que el método de análisis multicriterio a través de los sistemas de información geográfica resulta de suma utilidad en la identificación de áreas con características específicas, siempre y cuando se considere que los datos espaciales se asemejan a los reales.

Carhuaz y Olarte (2021) cuyo propósito fue analizar e identificar los riesgos ambientales generados por el vertido de aguas residuales en la laguna de Paca, situada en la provincia de Jauja, en la región Junín. La investigación se sustentó en la "Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales" del Ministerio del Ambiente (MINAM), la cual facilitó la identificación de peligros, la proyección de posibles escenarios de riesgo y la valoración de la magnitud de los impactos. Entre las principales fuentes de contaminación detectadas se encontraron los pozos sépticos pertenecientes a establecimientos turísticos aledaños a la laguna, que vertían aguas residuales sin tratamiento previo. Los hallazgos revelaron que la calidad del agua presentaba niveles preocupantes, superando los límites permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos tales como: PH, nitrógeno total, demanda bioquímica de oxígeno, aceites y

grasas, oxígeno disuelto, fósforo total, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes. El estudio concluyó que las actividades humanas, en especial el turismo desorganizado y la ausencia de infraestructura adecuada para el manejo de aguas residuales, representaban un riesgo medio tanto para el ecosistema acuático como para la salud de la población.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar el riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.

1.3.2. Objetivos específicos

- Identificar y analizar los factores que generan peligro en el ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.
- Identificar y analizar los factores que determinan la vulnerabilidad del ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.
- Estimar el nivel de riesgo ambiental mediante la integración de peligro y vulnerabilidad del ecosistema Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.
- Plantear mecanismos para reducir el riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación teórica

Los datos resultantes de la presente investigación contribuyen con información técnica que permite conocer los niveles de riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca, lo cual sirve como estudio base a otras investigaciones, ya sea con la comparación con otros métodos o la implementación de nuevas tecnologías para el procesamiento de información.

1.4.2. Justificación metodológica

La presente investigación se basa en la recopilación de información, selección de factores, asignación de pesos mediante el proceso analítico jerárquico (AHP) y la modelización de peligros, vulnerabilidad y riesgos ambientales que será de utilidad a entidades públicas como entidades privadas que quieran replicar la metodología usada en aras de la conservación de ecosistemas o similares.

1.4.3. Justificación práctica

La justificación práctica de la presente investigación se basa en la contribución a la toma de decisiones para la conservación del ecosistema frágil Lomas de Mangamarca, ya que permite identificar las zonas con nivel alto, medio y bajo de riesgo ambiental, facilitando así la determinación de las áreas que requieren acciones inmediatas bajo medidas de control.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

- Hipótesis alterna (H_1G): El riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025, presenta una distribución espacial diferenciada, con un nivel alto de riesgo ambiental en las zonas de mayor peligro.
- Hipótesis nula (H_0G): El riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025, presenta una distribución espacial diferenciada, con un nivel bajo de riesgo ambiental en las zonas de mayor peligro.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Hipótesis para objetivo específico 1:

La expansión urbana constituye el principal factor que incide en el peligro antrópico de las Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025.

- Hipótesis para objetivo específico 2:

El estado de salud de la vegetación es el principal factor que incide en la vulnerabilidad de las Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025

- Hipótesis para objetivo específico 3:

La estimación de riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho-2025 se obtiene a partir de la integración espacial del peligro y la vulnerabilidad.

- Hipótesis para objetivo específico 4:

La implementación de mecanismos contribuirá a reducir el riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca, San Juan de Lurigancho.2025.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Peligro*

El Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastre (CENEPRED, 2015) considera el peligro como la probabilidad de que un evento natural, potencialmente dañino, ocurra en un lugar determinado, con una intensidad, período y frecuencia determinada.

Desde la perspectiva ambiental, el peligro o amenaza es cualquier factor que ponga en riesgo la calidad de agua, aire y suelo afectando la biodiversidad y la salud humana debido a exposición a fuentes contaminantes, ya sea por causas naturales o antropogénicas (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2011).

Profundizando el concepto de peligro, estos no solo están constituidos por los fenómenos naturales, sino que también existen amenazas socioculturales y/o antrópicas, ya que estos también generan vulnerabilidad en la sociedad (Figuroa, 2011).

2.1.2. *Vulnerabilidad*

La Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL, 2001) define la vulnerabilidad como la predisposición interna de un ecosistema o de alguno de sus componentes a sufrir daño ante la presencia de una determinada fuerza o evento potencialmente dañino.

En el proceso de evaluación de la vulnerabilidad en un área de estudio se analiza la población humana, infraestructura, instalaciones para la producción local y pública, actividades económicas y patrimonio cultural (Martinez, 2017).

2.1.3. Riesgo ambiental

Asociación Española de Normalización (UNE, 2008) define el riesgo ambiental como la relación entre la probabilidad de ocurrencia de un escenario y los efectos negativos que este sobre los entornos natural, humano y socioeconómico.

MINAM (2011) en la Guía de Evaluación de Riesgos Ambientales lo define como la probabilidad de ocurrencia que un peligro ya sea de origen natural o antrópico perjudique de forma directa o indirecta al ambiente y a la diversidad que contenga, en un tiempo y lugar determinado.

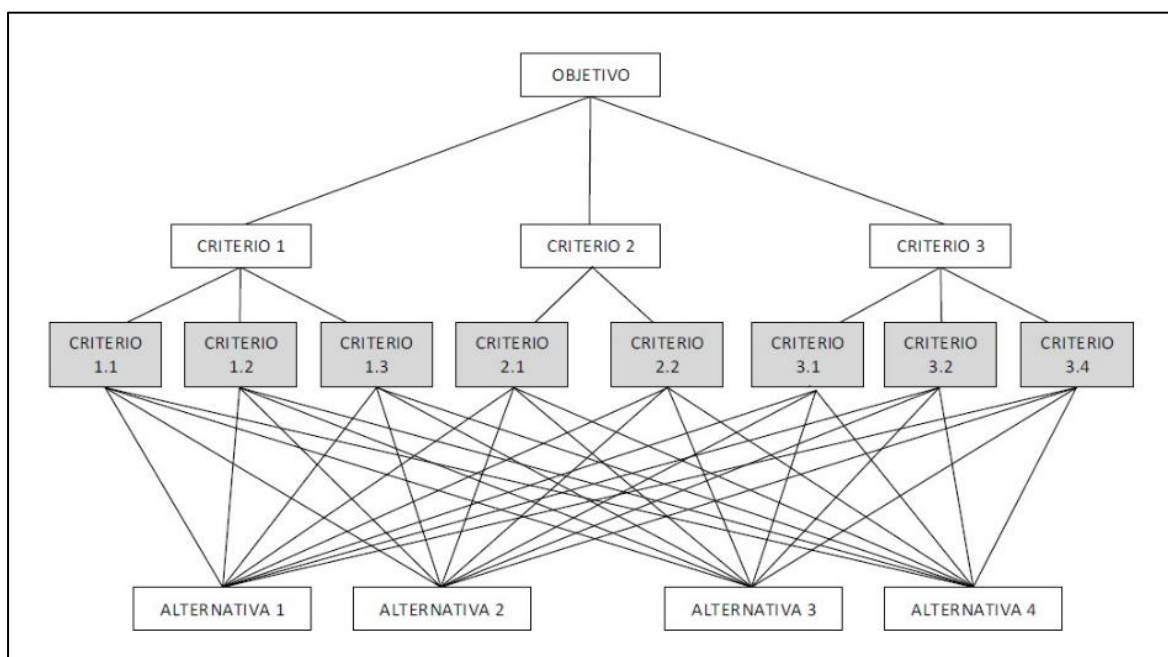
2.1.4. Método de jerarquía analítica

El método Analytic hierarchy process (AHP) o proceso analítico jerárquico, creado por Thomas Saaty en los años 70, es un enfoque utilizado para tomar decisiones cuando se enfrentan diversas opciones, factores o variables (Yepes, 2018).

Este método consiste en la selección de alternativas en función de una serie de factores o criterios jerarquizados, donde el objetivo final se encuentra en el nivel superior y en los inferiores los criterios y subcriterios tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1

Estructura jerárquica del método de jerarquía analítica AHP



Nota. Tomado de “Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)”, por Yepes, 2018.

Una vez establecida la estructura jerárquica, el método propone comparar criterios mediante una matriz de comparación por pares, que facilita determinar la importancia de un factor en relación con otro, asignándoles un valor numérico según la escala fundamental, que va del 1 al 9. Este proceso se realiza para todas las combinaciones posibles de elementos dentro del conjunto que se está analizando.

Tabla 1

Escala fundamental de comparación por pares

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
1	Igual importancia	El criterio A es igual de importante que el criterio B.
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen ligeramente al criterio A sobre B.

Escala numérica	Escala verbal	Explicación
5	Importancia grande	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente al criterio A sobre B.
7	Importancia muy grande	El criterio A es igual es mucho más importante que el criterio B.
9	Importancia extrema	La mayor importancia del criterio A sobre B está fuera de toda duda.

Nota. Tomado de “Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)”, por Yepes, 2018.

2.1.5. Ecosistema

Los ecosistemas constituyen sistemas dinámicos integrados por comunidades de plantas, animales y microorganismos que interactúan con los componentes físicos de su entorno, funcionando de manera conjunta como unidad. Estos sistemas brindan diversos servicios ecosistémicos esenciales, entre ellos la provisión de agua y alimentos, la regulación del clima y de los flujos hídricos, así como beneficios estéticos y culturales que contribuyen al desarrollo sostenible (MINAM, 2018).

2.1.6. Lomas costeras

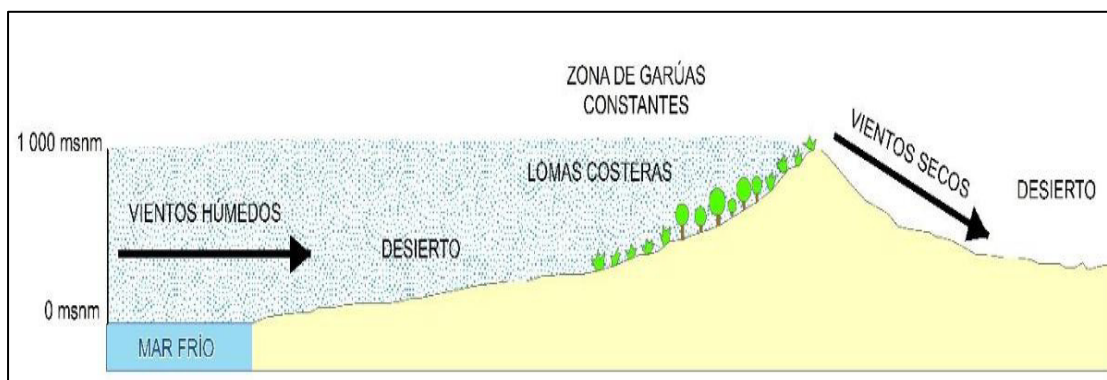
Las lomas costeras son ecosistemas estacionales y endémicos propios de la costa de Perú y Chile según García (2020) extendiéndose desde el grado 8° (en los cerros combo y campana en Trujillo) hasta el grado 30° LS (Coquimbo), al norte de Chile (Municipalidad Metropolitana de Lima [MML], 2019).

Este tipo de ecosistema se forma a partir del afloramiento de agua marina y el calentamiento de estas; y por consecuencia su condensación que genera nubes bajas conocidas como niebla o neblina, que son trasladadas por los vientos alisios que soplan del sur y el sudoeste; y son interceptados por las estribaciones andinas hasta una altitud de 1000 msnm (que es el límite altitudinal que alcanzas este tipo de nubes), produciendo así precipitación de finas gotas conocidas como garúas, que al entrar en contacto con el suelo de piedemonte andino

hace que se active el banco de semillas y así broten plántulas generando finalmente las lomas costeras (PNUD, 2018).

Figura 2

Formación de lomas costeras



Nota. Tomado de Figura Formación de las lomas costeras, por Paniagua, s.f.

2.1.6.1. Lomas de Mangamarca. Es un ecosistema natural localizado en el distrito de San Juan de Lurigancho, en Lima, Perú. Este espacio comprende una extensión aproximada de 516.10 hectáreas y se caracteriza por presentar una cobertura vegetal temporal durante la temporada de invierno, producto de la condensación de la niebla costera, fenómeno típico de las lomas costeras del litoral peruano.

Figura 3

Paisaje de Lomas de Mangamarca



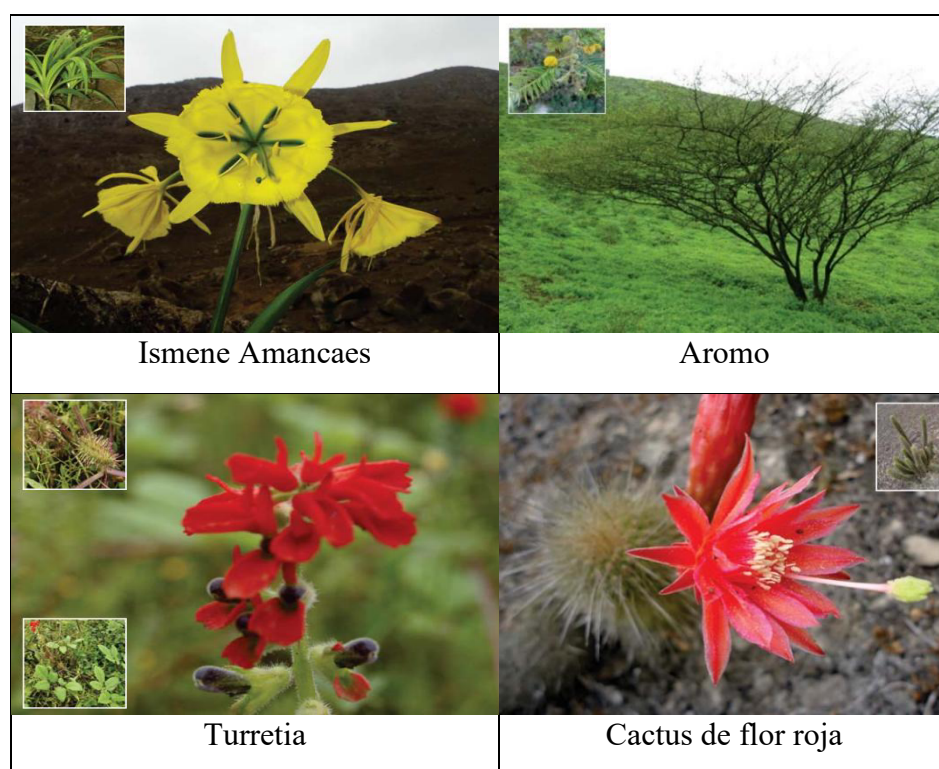
Nota. Tomado de Perú en videos, 2015.

2.1.6.2. Cobertura vegetal de lomas costeras. Las lomas costeras presentan cobertura vegetal durante la época húmeda que abarca los meses desde mayo a octubre aproximadamente. La presencia de vegetación está determinada por la altitud y la precipitación que, según el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre (SERFOR, 2015) puede alcanzar 500 mm al pie de los árboles.

Este tipo de ecosistema alberga vegetación herbácea, arbustiva, arbórea y cactácea, incluyendo especies con categoría de amenaza según el Decreto Supremo N° 043-2006-AG, tales como Aromo con estado casi amenazado, Amancaes con estado vulnerable, Turretia en peligro, cactus de flor roja en peligro crítico, entre otros. Para visualizar el listado de especies de flora de las lomas de Lima.

Figura 4

Flora de lomas costeras de Lima



Nota. Adaptado de “Guía de flora de lomas de Lima”, por Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, 2015

2.1.7. Degradación de ecosistemas

Según la Real Academia Española (RAE, 2001) el término degradación hace referencia a la transformación de una sustancia compleja a una simple, lo cual expresa la disminución de valor y funcionalidades.

El MINAM (2019) realizó a memoria descriptiva del Mapa Nacional de Áreas Degradadas en Ecosistemas terrestres donde menciona que la degradación de ecosistemas es la consecuencia o resultado de actividades antrópicas como el cambio de uso de suelo, tala selectiva, sobrepastoreo, entre otros, lo que genera una reducción de productos y servicios ecosistémicos. Este estudio obtuvo como resultado una superficie de ecosistemas degradados de 17.596.306 ha al 2017, perteneciendo el 4% de este total al ecosistema de lomas, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2

Tabla de porcentajes de superficie degradada según ecosistema

Ecosistema	% superficie degradada
Bosque estacionalmente seco oriental	69,82%
Bosque altimontano pluvial de Yunga	54,48 %
Bosque montano de Yunga	43,02%
Sabana húmeda con palmeras	33,77 %
Bosque basimontano de Yunga	32,90 %
Bosque de colina alta	30,96%
Bosque estacionalmente seco de llanura	26,66%
Bosque aluvial inundable	26,25 %
Pantano herbáceo-arbustivo	23,44 %
Pacal	23,22 %
Bosque de terraza no inundable	19,50%
Matorral xérico	18,60%
Bosque estacionalmente seco interandino	16,35%
Bosque tropical del Pacífico	15,75%
Bosque estacionalmente seco ribereño	12,82%
Varillal	10,79%
Bofedal	9,94%

Ecosistema	% superficie degradada
Humedal costero	9,02%
Bosque de colina baja	8,63%
Bosque relictos montano de vertiente occidental	8,37%
Pajonal de puna seca	7,14%
Bosque de colina de Sierra Divisor	6,54%
Pantano de palmeras	4,50%
Bosque relictos altoandino (queñoal y otros)	4,24%
Loma costera	4,21%
Pajonal de puna húmeda	3,75%
Manglar	3,48%
Jalca	3,36%
Páramo	3,05%
Desierto costero	2,81%
Zona periglaciaria y glaciaria	2,58%
Matorral altoandino	2,26%
Bosque estacionalmente seco de colina y montaña	1,83%
Bosque relictos mesoandino	0,92%

Nota. Adaptado de “*Porcentaje de superficie degradada según ecosistema*”, por MINAM, 2019.

2.1.8. Expansión urbana

La expansión urbana es el crecimiento del área urbana debido al aumento de la población y al mayor uso de suelo. (Departamento Nacional de Planeación [DNP], 2017)

Schuster et al. (2024) indican que la expansión urbana consiste en la ampliación física de las ciudades, que suele reflejarse en la ocupación de zonas periféricas, frecuentemente rurales o naturales, como resultado del crecimiento poblacional, la necesidad de más viviendas y las dinámicas del mercado inmobiliario, evidenciando que este proceso modifica el uso del suelo, lo que conlleva consecuencias sobre los ecosistemas naturales, así como impactos en los ámbitos social, económico y ambiental. En Lima Metropolitana, este fenómeno se ha

manifestado con particular intensidad en distritos como San Juan de Lurigancho, donde se localiza el ecosistema de las Lomas de Mangamarca.

De acuerdo con Sánchez (2018), la expansión urbana ha tenido un efecto directo en el deterioro de las Lomas de Mangamarca, un ecosistema vulnerable situado en el sector este de Lima. Su estudio revela que el crecimiento urbano sin planificación, impulsado por el aumento poblacional y la ausencia de políticas públicas adecuadas, ha dado lugar a la ocupación informal del territorio, afectando tanto la biodiversidad como el potencial ecoturístico del lugar.

2.1.9. Minería no metálica

Es la actividad económica que se encarga de extraer los recursos de valor económico que no son metales ni combustibles, cuyos productos pueden ser utilizados para la construcción (como la arena o la piedra), para el sector agrícola (mediante insecticidas o fertilizantes a base de fosfatos) y para otros procesos industriales. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN], 2016)

PNUD (2018) cataloga a la minería metálica y no metálica desregulada, tráfico de terrenos, invasiones de terreno para viviendas y pastoreo como amenazas de las lomas, ya que estas actividades antrópicas son incompatibles con el uso mayor de suelo y los recursos naturales de este tipo de ecosistemas.

En el caso de Lomas de Mangamarca, según la SPDA (2021), vecinos de la urbanización Mangamarca denunciaron a través de redes sociales la destrucción del ecosistema en el sector los Sauces, quebrada de Campoy, como consecuencia del uso de maquinaria pesada empleada para la extracción de piedra y arena con fines de construcción. Esta práctica extractiva no solo afecta a las Lomas de Mangamarca, sino que también se ha reportado en otras loms costeras como las de Carabayllo, evidenciando una problemática recurrente en ecosistemas frágiles.

Figura 5

Minería no metálica en Lomas de Mangamarca



Nota. Fotografía tomada de El Comercio (2021).

2.1.10. Infraestructura vial no planificada

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2018) considera como infraestructura vial pública a todo tipo de camino, arteria, calle y vía férrea, incluyendo sus estructuras complementarias, que se encuentren en ámbitos rurales o urbanos y que estén destinadas al uso y dominio público.

Según Centro Nacional de Planeamiento Estratégico (CEPLAN, 2022) la infraestructura vial desempeña un rol fundamental en el territorio, ya que la conectividad facilita el vínculo entre personas y empresas, permitiendo el transporte de bienes, reducción de los tiempos de desplazamiento y promoviendo el dinamismo comercial, contribuyendo así al desarrollo territorial.

Aunque la infraestructura vial contribuye al desarrollo económico, Buitrago (2023), directora de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS), advierte que una conectividad vial sin planificación promueve una ocupación desordenada del territorio, tal es el caso de la carretera Interoceánica Sur que a pesar de haber contado con un diseño de

infraestructura, los estudios de impacto ambiental fueron débiles, incluso no contó con una evaluación integral de impactos por lo que no analizaron la influencia de esta carretera en impactos negativos indirectos como la deforestación y la minería ilegal, evidenciando según el MINAM entre los años 2001 y 2020 una deforestación con una superficie de 254.153 ha de bosque en Madre de Dios, evidenciando la influencia de esta carretera en problemática ambiental.

Aunque la infraestructura vial es un factor clave para el desarrollo económico, Buitrago (2023), directora de la Fundación para la Conservación y el Desarrollo Sostenible (FCDS), advierte que una conectividad vial sin planificación adecuada puede promover una ocupación desordenada del territorio. Un ejemplo representativo es la carretera Interoceánica Sur, que, si bien fue diseñada como obra de infraestructura, careció de una evaluación ambiental integral que considerara los impactos indirectos acumulativos, especialmente en ecosistemas amazónicos. Los estudios de impacto ambiental presentados fueron débiles y fragmentados, lo que impidió anticipar efectos como la expansión de la deforestación y la minería ilegal. Como consecuencia, según datos del MINAM, entre 2001 y 2020 se perdieron 254.153 hectáreas de bosques en la región Madre de Dios, una de las zonas más afectadas por la apertura de esta vía. Este caso evidencia cómo la falta de planificación territorial y ambiental en proyectos viales puede generar impactos severos y persistentes sobre los ecosistemas.

2.1.11. Trocha carrozable

Las trochas carrozables son vías de tránsito que no cumplen con los estándares geométricos establecidos para una carretera. Generalmente presentan un flujo vehicular reducido de menos de 200 vehículos por día y requieren de un ancho mínimo de 4 metros (MTC, 2018).

Figura 6*Trocha carrozable*

Nota. Fotografía tomada de la División de Estudios y Obras de la Municipalidad Provincial de Carhuaz (2014).

2.1.12. Presión turística

La Organización Mundial del Turismo (OMT, 2019) en su informe “Overtourism: Understanding and Managing Urban Tourism Growth Beyond Perceptions: Case Studies” la define como la saturación turística determinadas zonas y lugares de interés producida no solo por el aumento del número de visitantes, sino también con la sobrecarga que suponen para los recursos y servicios de las ciudades tanto los residentes y los turistas como quienes acuden a ellas a trabajar.

En el caso de las lomas costeras del Perú, la (SPDA, 2023) identifica la presión turística como una forma de uso intensivo y no regulado del espacio natural. Esta se manifiesta a través de actividades como la apertura improvisada de senderos, caminatas acompañadas de animales domésticos, así como el uso de equipos de sonido a volumen elevado y el consumo de bebidas

alcohólicas, prácticas que generan un impacto negativo en la biodiversidad y el equilibrio ecológico de estos ecosistemas frágiles.

2.1.13. Residuos sólidos

De acuerdo a la U.S. Environmental Protection Agency (EPA, 2024) los residuos sólidos comprenden cualquier material desechado en forma sólida, líquida, semisólida o que contenga gases, generado a partir de actividades domésticas, comerciales, industriales, mineras, agrícolas o del tratamiento de aguas residuales.

2.1.14. Estado de salud de vegetación

Es un indicador que permite evaluar el crecimiento, vigor y capacidad de resiliencia de la cobertura vegetal frente a condiciones ambientales adversas. Este indicador refleja la funcionalidad ecológica de la vegetación, al considerar su capacidad de recuperación, comportamiento fotosintético y el desarrollo estructural en respuesta a factores de estrés externo (Number Analytics, 2025).

Diversos enfoques permiten evaluar el estado de salud de vegetación, entre ellos los métodos in situ, que se basan en la observación directa y medición de variables estructurales y fisiológicas de las plantas, y los métodos basados en teledetección, que utilizan imágenes satelitales para estimar el vigor y la condición de la vegetación a través de índices espectrales (Lausch et al., 2018).

2.1.14.1. Índice de vegetación ajustada al suelo (SAVI). El índice SAVI es una variante del índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) desarrollada para mejorar la estimación de la vegetación al reducir la influencia del brillo del suelo en áreas con cobertura vegetal escasa. (United States Geological Survey [USGS], s.f.)

Este índice se calcula a partir de las bandas del rojo (R) y del infrarrojo cercano (NIR) de una imagen satelital. A diferencia del NDVI, SAVI incorpora un factor de corrección (L) en

su fórmula, que reduce la influencia del brillo del suelo en los resultados del índice. El valor L varía entre 0 y 1, dependiendo de la densidad de la vegetación: se emplea L=1 en áreas sin vegetación verde, L=0,5 en áreas con cobertura vegetal verde moderada y L=0 en áreas con vegetación densa, en cuyo caso la fórmula de SAVI se vuelve equivalente al NDVI. (Space4Water , 2019). El valor de L=0,5 es comúnmente empleado por su adaptabilidad a distintos tipos de cobertura vegetal (USGS, s.f.).

$$SAVI = \left(\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right) * (1 + L)$$

Cartaya et al. (2014) en su estudio “Comparación de técnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en áreas de interés ecológico, Manabí, Ecuador” brindan una clasificación adaptada a zonas con vegetación no boscosa.

Tabla 3

Clasificación de cobertura vegetal en zonas con vegetación no boscosa

Clase	Valores de índice de vegetación	Cobertura de la tierra	Descripción
1	< -0,1	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas, nubes.
2	-0,1 – 0,15	Tierra Desnuda	Tierras degradadas, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal.
3	0,15 – 0,25	Vegetación Dispersa	Tierras cultivadas, herbazales, arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo.
4	0,25 – 0,40	Vegetación Abierta	Vegetación leñosa, plantación arbustiva, bosque seco.
5	> 0,40	Vegetación Cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosque húmedo.

2.1.15. Índice de agua de diferencia normalizada (NDWI)

El NDWI (Normalized Difference Water Index) fue propuesto por McFeeters en 1996 y se utiliza principalmente para resaltar la presencia y extensión de masas de agua en imágenes

satelitales. Su cálculo se basa en la combinación de las bandas verde (G) e infrarrojo cercano (NIR), mediante la fórmula:

$$NDWI = \frac{(G - NIR)}{(G + NIR)}$$

La elección de estas bandas permite disminuir la influencia de la vegetación y del suelo, de manera que las superficies hídricas se distingan con mayor claridad en los mapas.

En cuanto a la interpretación de los valores, el NDWI suele ser positivo en masas de agua y negativo o cercano a cero en suelos desnudos y vegetación. Valores mayores a 0,5 representan cuerpos de agua; entre 0,0 y 0,2 pueden indicar humedad o zonas inundadas; mientras que valores negativos reflejan sequía o ausencia de agua (EOS Data Analytics, 2023).

2.1.16. Índice de Humedad de Diferencia Normalizada (NDMI)

El NDMI (Normalized Difference Moisture Index) es un indicador utilizado para estimar el contenido de humedad en la vegetación. Se construye a partir de la relación entre la reflectancia del infrarrojo cercano (NIR), sensible a la estructura interna de la hoja y su materia seca, y el infrarrojo de onda corta (SWIR), sensible al agua contenida en el follaje. Esta combinación permite identificar de manera temprana situaciones de estrés hídrico en los cultivos y vegetación natural, mediante la siguiente fórmula:

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}$$

Los valores que se obtienen de este índice oscilan entre -1 y +1. Valores negativos cercanos a -1 reflejan suelos desnudos o vegetación seca con alto nivel de estrés hídrico, mientras que los valores positivos más cercanos a +1 indican cobertura vegetal abundante, con adecuada humedad e incluso condiciones de anegamiento.

Este índice es usado en el monitoreo de riesgo, la planificación agrícola, identificación temprana de sequías y la estimación de la combustibilidad en áreas propensas a incendios forestales. Asimismo, se emplea en el seguimiento de procesos de deforestación y en la evaluación del estado de ecosistemas vegetales (EOS Data Analytics, 2023).

2.1.17. Potencial de captación de niebla

Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2017), la niebla consiste en una acumulación de diminutas gotas de agua, por lo general microscópicas, suspendidas en el aire, que provocan una disminución de la visibilidad cerca del suelo y se distingue de las nubes porque su base se encuentra directamente sobre la superficie terrestre, a diferencia de las nubes cuya base está a mayor altitud. Por otro lado, cuando la disminución de la visibilidad no es tan marcada, se utiliza el término “neblina”, considerada comúnmente como una forma más ligera de niebla.

En este contexto, Pinche (2015) indica que la captación de agua de niebla es un proceso físico que ocurre cuando las gotas de agua en suspensión impactan sobre las superficies receptoras, las cuales pueden ser naturales como la vegetación arbustiva o arbórea o artificiales como los sistemas de atrapanieblas especialmente diseñados para recolectar esta humedad atmosférica.

Por tanto, el potencial de captación de niebla se entiende como la capacidad que posee un ecosistema o superficie de terreno para interceptar, retener y recolectar el agua en forma de microgotas suspendidas en la atmósfera, conocidas como niebla.

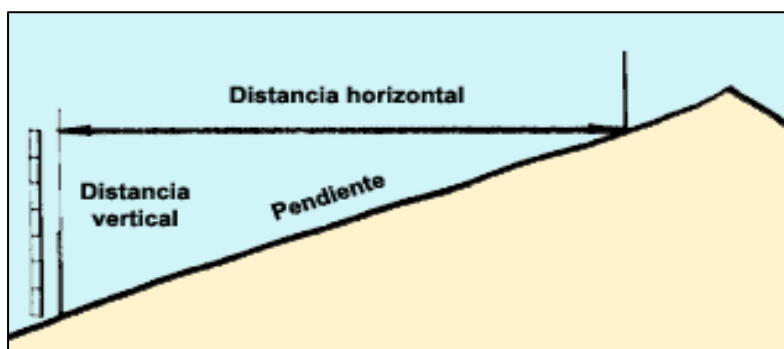
2.1.18. Pendiente

Es la medida geométrica que expresa la inclinación o gradiente del terreno respecto a un plano horizontal y se representa en porcentaje (%) o grados (°) (CENEPRED, 2015). Además, según el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI, 2022) la pendiente

es una característica edáfica del terreno que influye en el escurrimiento del agua, erosión del suelo, estabilidad del terreno y la aptitud para el uso del suelo.

Figura 7

Pendiente del terreno



Nota. La imagen ilustra la inclinación del terreno en función de la distancia horizontal y el cambio vertical. Tomado de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO (s.f.).

2.1.19. Sitios arqueológicos

En el contexto de patrimonio cultural inmueble, el término sitio arqueológico hace referencia a espacios que contienen evidencias materiales vinculados a actividades humanas desarrolladas épocas prehispánicas. Estos bienes poseen un valor histórico, científico y cultural, y su identificación permite comprender la ocupación del territorio y la relación de las antiguas sociedades como el entorno natural.

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 011-2022-MC del Ministerio de Cultura (MINCUL, 2022), los bienes inmuebles con valor prehispánico adoptan diversas formas, entre las que se reconocen los sitios arqueológicos, complejos arqueológicos monumentales y paisajes arqueológicos:

- El sitio arqueológico: Se refiere a espacios donde se hallan evidencias arqueológicas muebles e inmuebles asociados entre sí, localizados en superficie, subsuelo o medios subacuáticos, permitiendo así reconstruir aspectos de uso y ocupación del territorio por parte de sociedades o grupos prehispánicos.
- Complejo arqueológico monumental: Es un conjunto de bienes inmuebles prehispánicos que destacan por su carácter excepcional, ya sea por su gran extensión, su monumentalidad o la organización arquitectónica del espacio. Este tipo de complejo incluye estructuras ceremoniales, administrativas, funerarias u otras y se reconoce la necesidad de preservar tanto su diseño como su configuración original.
- Paisaje arqueológico: Corresponde a un espacio intervenido por actividades humanas en época prehispánica, donde se evidencia la interacción con el entorno natural. Este tipo de bien posee valor arqueológico, arquitectónico histórico, científico y artístico. Comprende elementos como infraestructura agrícola (andenes, terrazas, canales, camellones), caminos prehispánicos, rutas culturales, geoglifos y arte rupestre.

En el presente estudio, el término “sitio arqueológico” se emplea con un enfoque integrador para agrupar las distintas formas de evidencias arqueológica reconocidas oficialmente por en el área de estudio, independientemente de su denominación específica. Esto debido a que el objetivo de analizar su relevancia territorial como componente patrimonial y como factor que contribuye a la evaluación de la vulnerabilidad del área de estudio.

Figura 8

Señalización oficial de Monumento Arqueológico Prehispánico Lomas de Mangamarca



Nota. Señal colocada por el Ministerio de Cultura (MINCUL) en las Lomas de Mangamarca, en el marco de la Ley N° 28296. Fotografía tomada por el Instituto Cultural Ruricancho (2021).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo descriptiva-explicativa, ya que por un lado describe y caracteriza los factores de peligro y vulnerabilidad presentes en el ecosistema Lomas de Mangamarca, y por otro explica la relación entre dichos factores mediante el uso del método analítico y jerárquico AHP, con el fin de determinar cómo contribuyen a los diferentes niveles de riesgo ambiental. Asimismo, el estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que utiliza datos numéricos, ponderaciones, análisis multicriterio y técnicas de procesamiento geoespacial.

3.1.1. *Diseño de la investigación*

El diseño de investigación es no experimental debido a que las variables no son manipuladas deliberadamente, sino que las estudia tal como se presentan en el entorno natural. Además, tiene un enfoque transversal, ya que la recopilación y análisis de los datos se realiza para un momento determinado. Asimismo, el diseño se caracteriza por ser descriptivo-explicativo, puesto que identifica los factores de peligro y vulnerabilidad ambiental mediante trabajo de campo, digitalización de imágenes satelitales, procesamiento de ráster y análisis geoespacial, y se explican las relaciones entre las variables mediante un modelo multicriterio para determinar el nivel de riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca.

3.2. **Ámbito temporal y espacial**

3.2.1. *Ámbito temporal*

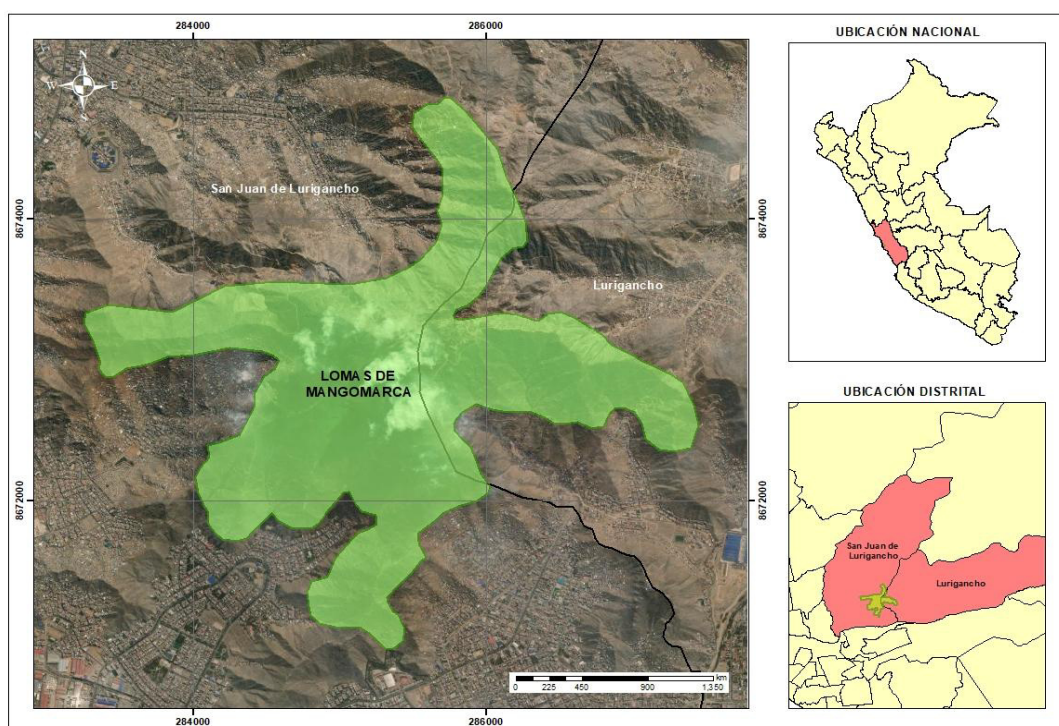
La presente investigación se realizó para el año 2025, período en el cual se identificaron y analizaron los factores de peligro y vulnerabilidad presentes en el ecosistema Lomas de Mangamarca.

3.2.2. *Ámbito espacial*

El ámbito de estudio es Lomas de Mangamarca, ubicado en los distritos de San Juan de Lurigancho y Lurigancho-Chosica, pertenecientes a la provincia y departamento de Lima, el cual abarca una superficie de 516,10 ha, según SERFOR (2014).

Figura 9

Ubicación de lomas de Mangamarca



Nota. Lomas de Mangamarca tiene una superficie de 516,10 ha, de los cuales 387,08 ha pertenecen al distrito de San Juan de Lurigancho y 129.02 ha a Lurigancho-Chosica.

Tabla 4

Tabla de ubicación geoespacial de Lomas de Mangamarca

Límites	Coordenadas UTM 18S (m)	
	Este	Norte
Noreste	287.454,37	8.674.884,01

Límites	Coordenadas UTM 18S (m)	
	Este	Norte
Norte	285.354,23	8.674.884,01
Noroeste	283.254,10	8.674.884,01
Oeste	283.254,10	8.672.916,17
Suroeste	283.254,10	8.670.948,33
Sur	285.354,23	8.670.948,33
Sureste	287.454,37	8.670.948,33

Nota. Las coordenadas corresponden al sistema de referencia UTM Zona 18S, Datum WGS 84. Los datos fueron obtenidos en gabinete a partir de interpretación cartográfica.

3.3. Variables

Tabla 5

Tabla de operacionalización de variables de la investigación

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Dependiente Riesgo ambiental	La probabilidad de ocurrencia que un peligro ya sea de origen natural o antrópico perjudique de forma directa o indirecta al ambiente y a la diversidad que contenga, en un tiempo y lugar determinado (MINAM, 2011).	El riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca se estimará mediante ponderación de juicio de expertos según el método de jerarquías analíticas de Saaty; y el análisis geoespacial de factores de peligro y vulnerabilidad ambiental en Lomas de Mangamarca.	Peligro Vulnerabilidad	Nivel de peligro Nivel de vulnerabilidad	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de valoración AHP aplicada a juicio de expertos. • Software GIS • Modelo de geoprocamiento de análisis multicriterio espacial
Independiente: Lomas de Mangamarca (Factores antrópicos, ambientales y culturales)	Las lomas costeras son ecosistemas estacionales y endémicos propios de la costa de Perú y Chile (García, 2020). En ese sentido, Lomas de Mangamarca un ecosistema natural localizado en el distrito de San Juan de Lurigancho, en Lima, Perú con una extensión de 516.10 ha y se caracteriza por presentar una cobertura vegetal temporal durante la temporada de invierno, producto de la condensación de la niebla costera, fenómeno típico de las lomas costeras del litoral peruano.	Lomas de Mangamarca es el espacio territorial donde confluyen factores de peligro y vulnerabilidad, a fin de determinar el riesgo ambiental.	Antrópica	Distancia a expansión urbana (m) Distancia a infraestructura vial no planificada (m) Distancia a canteras (m) Distancia a senderos turísticos (m) Distancia al foco de RR. SS (m)	<ul style="list-style-type: none"> • Software GIS para digitalización. • Imágenes satelitales Sentinel 2. Google Earth Pro • Software GIS para digitalización. • Imágenes satelitales Sentinel 2. Google Earth Pro • Software GIS para digitalización. • Imágenes satelitales Sentinel 2. • Google Earth Pro Aplicativo UTM Geomap) • Observación en campo. Fotografías georreferenciadas Imágenes satelitales Sentinel-2
			Ambiental	Índice SAVI	

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
				Nivel de potencial de captación de niebla	<ul style="list-style-type: none"> • Estudios previos. • Modelo Digital de Elevación (DEM) • Modelo de geoprocésamiento • Software GIS
				Grado de inclinación de pendiente (%)	<ul style="list-style-type: none"> • Modelo Digital de Elevación (DEM)
			Cultural	Distancia a sitio arqueológico (m)	<ul style="list-style-type: none"> • Inventario del MINCUL • Cartografía georreferenciada SIG • Planos de Sitios arqueológicos

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de la presente investigación está constituida por las Lomas de Mangomarca que posee una superficie de 516,10 ha, que representa el área total objeto de estudio.

3.4.2. Muestra

La muestra de la investigación por conveniencia es el mismo ecosistema Lomas de Mangomarca, considerando su extensión total de 516,10 ha para el análisis de riesgo ambiental.

3.5. Instrumentos

Para la recolección y procesamiento de datos se emplearon los siguientes instrumentos:

3.5.1. Consulta a expertos

El instrumento utilizado en la investigación fue una consulta a expertos, concebida originalmente como un focus group o mesa técnica, pero adaptada a una modalidad asincrónica a través de formulario estructurado y en algunos casos de forma presencial. Esta adaptación responde a las limitaciones de tiempo y disponibilidad de los especialistas convocados, sin afectar la validez de los juicios emitidos.

Para ello se elaboró un cuestionario en formato de matrices de comparación por pares, siguiendo la escala fundamental de Saaty, que fue remitido individualmente a cada experto.

Una vez recibidas las respuestas, se procesaron de forma consolidada para obtener los valores de ponderación definitiva. La selección del número de expertos fue hecha en base a la Norma Cubana NC 49:1981 “Control de la calidad. Método de expertos”, la cual establece que la cantidad de participantes debe estar entre 7 y 15 a fin de garantizar un adecuado nivel de confianza y competencia en los juicios emitidos (León et al., 2016)

3.5.1.1. Panel de expertos participantes: En panel de expertos de la presente investigación estuvo conformado por siete integrantes.

- José Luis Rosales: Especialista en Sistemas de Información Geográfica y Gestión Territorial del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA).
- María Miyasiro: Especialista en Teledetección del Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado (SERNAP) y especialista SIG en el Proyecto Eba Lomas del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)
- Roobert Jiménez: Biólogo especialista en estudios del Proyecto Eba Lomas del PNUD. Actualmente jefe de áreas verdes y medio ambiente de la Pontificia Universidad Católica del Perú PUCP.
- Willington Ortiz: Biólogo y especialista ambiental del Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA.
- Yovita Barzola: Presidenta de la Red de Lomas del Perú y de la Asociación Lomas de Mangamarca.
- Jorman Cabello: Gestor social y de turismo de ecosistemas de Lomas. Fundador de Asociación ambiental Haz Tu Mundo Verde.
- Paula Moreno Zapata: Arqueóloga de la Autoridad Nacional de Infraestructura.

3.5.2. Trabajo de campo

Se realizaron observaciones directas en el área de estudio para la identificación de factores de peligro y vulnerabilidad.

3.5.3. Imágenes satelitales

Se usaron imágenes satelitales ópticas Sentinel 2 para la determinación del estado de salud de la vegetación mediante el índice SAVI, en el área de estudio obtenidas de la plataforma del programa europeo Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>).

3.5.4. *Imágenes geoespaciales de Google Earth*

Para el análisis espacial se emplearon imágenes geoespaciales de libre acceso provenientes de la plataforma Google Earth, consideradas como instrumento de apoyo cartográfico. Estas imágenes, que integran fuentes satelitales y aéreas procesadas en un repositorio digital, fueron usadas para la digitalización de factores de peligro antrópico (<https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>).

3.5.5. *Modelos digitales de elevación (DEM)*

Se usó un modelo de elevación digital DEM Alos Palsar de 12,5 metros de resolución espacial para analizar factores de vulnerabilidad ambiental como pendiente y zonas de potencial captación de niebla el cual fue descargado de la Plataforma ASF Data Search Vertex (<https://search.asf.alaska.edu/>).

3.5.6. *Software de sistema de información geográfica (SIG)*

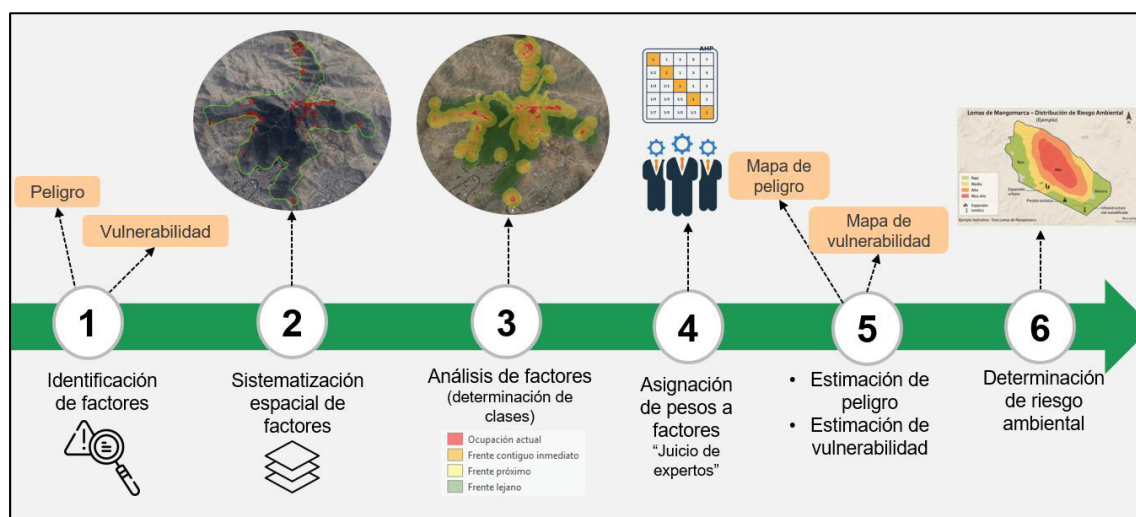
El software SIG fue usado para el procesamiento espacial de los factores de peligro y vulnerabilidad. Además, se empleó en el proceso de automatización de nivel de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental.

3.6. Procedimientos

La presente investigación consta de 6 fases hasta la determinación del riesgo ambiental del ecosistema de Lomas de Mangamarca, las cuales se muestran en la siguiente imagen:

Figura 10

Fases de la metodología para determinar el riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangomarca



3.6.1. Etapa 1: Identificación y análisis de peligro

3.6.1.1. Identificación de factores de peligro. La identificación de los factores de peligro se realizó a partir de una revisión bibliográfica sobre el área de estudio, complementada con un análisis espacial mediante observación de imágenes satelitales y cartografía base. Esta información inicial permitió reconocer patrones y presiones potenciales sobre el ecosistema de lomas.

Posteriormente, se desarrolló un trabajo de campo exploratorio con el fin de validar y ampliar la información obtenida en gabinete, de este modo la identificación no se limitó al análisis documental, sino que incorporó evidencia empírica directa del territorio.

Tabla 6

Tabla de factores de peligro identificados en Lomas de Mangomarca

Dimensión	Factor de peligro
Antrópica	Expansión urbana
	Minería no metálica

Dimensión	Factor de peligro
	Infraestructura vial no planificada
	Presión turística
	Residuos sólidos

A continuación, se detallan los factores de peligro identificados en Lomas de Mangomarca:

A. Expansión urbana. Durante el trabajo de campo se evidenció un acelerado proceso de expansión urbana. Este fenómeno se manifiesta principalmente en la proliferación de viviendas precarias construidas con materiales temporales como triplay, madera y calaminas, ubicadas en zonas de alta y moderada pendiente y sin planificación previa distribuidas en los límites del ecosistema, generando fragmentación del paisaje y presión en la cobertura vegetal.

En la quebrada Vizcacheras se encuentra un sector conocido localmente como “El pueblo fantasma” el cual presenta viviendas precarias y además construcciones elaboradas con ladrillo y cemento, las cuales están deshabitadas evidenciando el tráfico de terrenos. Este punto se encuentra ubicado en las coordenadas 285.873,25 E / 8.673.219,37 N (Zona 18S, UTM).

Figura 11

Expansión urbana “pueblo fantasma” en la quebrada Vizcacheras (temporada seca)



Adicionalmente, se identificaron procesos de lotización en las coordenadas 284.364,47 E / 8.672.059,08 N (Zona 18S, UTM) y cercos rústicos de madera y alambre en el punto 284.398,04 E / 8.672.056,00 N (Zona 18S, UTM), lo que sugiere la intervención de traficantes de terrenos que parcelan ilegalmente este ecosistema. Esta expansión no regulada representa una amenaza significativa para el ecosistema.

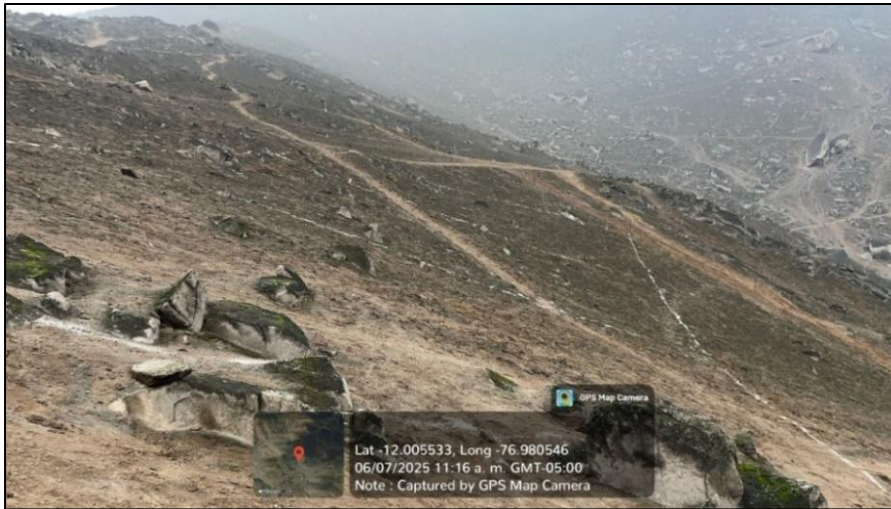
Figura 12

Presencia de cercos para lotizaciones



Figura 13

Demarcación reciente de lotes mediante cercos (Inicio de temporada húmeda)



Esta expansión no regulada representa una amenaza significativa para el ecosistema de interés del presente estudio, al generar pérdida de cobertura vegetal, alteración del hábitat y pérdida de especies de flora y fauna.

B. Minería no metálica. En el área de estudio se identificaron 2 zonas de minería no metálica: una inactiva y otra con actividad vigente.

La zona inactiva corresponde a un pasivo ambiental de 0,99 hectáreas, generado por la extracción de materiales de construcción (arena y piedra) realizada en 2021 sin permisos ambientales, mediante el ingreso ilegal de maquinaria pesada por parte de invasores. La revisión de imágenes satelitales recientes permitió constatar que, pese al cese de extracción, el área continúa degradada y, debido al desbroce de la vegetación original, ha sido ocupada parcialmente por viviendas precarias.

Figura 14

Zona de minería no metálica inactiva (pasivo minero)

**Figura 15**

Vista satelital actual de zona de minería no metálica inactiva (pasivo minero)



Por otro lado, la zona con minería activa, identificada tanto en trabajo de campo como mediante interpretación de imágenes satelitales, corresponde a una cantera de agregados para construcción con una extensión aproximada de 0,53 hectáreas. En ella se observó un área

extensa de suelo removido y nivelado, taludes con cortes abruptos, presencia de accesos y caminos para el tránsito de maquinaria, así como acumulación de material suelto carente de vegetación.

Figura 16

Zona de minería no metálica activa (cantera)



Es así que, la minería no metálica constituye un factor de peligro debido a que implica la remoción directa de cobertura vegetal y suelo, la modificación del relieve natural y la generación de taludes inestables, lo que incrementa la susceptibilidad a procesos erosivos e interrumpiendo la regeneración de vegetación nativa favoreciendo la fragmentación de hábitat y afectación de biodiversidad. Además, los pasivos ambientales generados por esta actividad facilitan la ocupación posterior de estas áreas por invasores, quienes instalan viviendas precarias y consolidan la pérdida de cobertura vegetal.

C. Infraestructura vial no planificada. En el área de estudio se identificaron trochas carrozables principalmente por la necesidad de movilización de los invasores. Estas son construidas en las laderas del cerro, presentan superficie afirmada con material suelto y cortes laterales realizados por maquinaria pesada, evidenciado por el tipo y la forma de los taludes.

Estas vías modifican significativamente la morfología natural del terreno, exponiendo pendientes pronunciadas y taludes verticales sin estabilización.

Figura 17

Trochas carrozables dentro de Lomas de Mangamarca



Nota: La imagen muestra los cortes de taludes elaborados por maquinaria para apertura de trochas carrozables. Las imágenes tomadas en la coordenada 285.815,95 E/ 8.672.381,06 N.

D. Presión turística. En el área de estudio, la presión turística se concentra en los tres circuitos habilitados por la Asociación Lomas de Mangamarca: Las Hechiceras (3 horas de recorrido), Corazón de las Lomas (4 horas) y Las Cumbres (7 horas). Estos senderos fueron implementados con el objetivo de canalizar la afluencia de visitantes y evitar un turismo desordenado; sin embargo, el control de accesos es intermitente, ya que los guardalomas (voluntarios responsables del guiado e interpretación ambiental) solo operan los fines de semana durante temporada húmeda, período en que el paisaje presenta mayor cobertura vegetal, por ende, mayor afluencia de turistas. Esta limitación se debe a que su labor se realiza ad honorem.

Como parte de la recopilación de información, se coordinó con la Asociación Lomas de Mangamarca a fin de obtener información sobre la afluencia de visitantes. Como resultado, se tuvo acceso al libro de registros del año 2019, cuyas copias se incluyen en los anexos (Ver Anexo B). La sistematización de esta información evidenció que, durante la temporada húmeda (julio a setiembre), se registraron 1.300 visitantes. Esta cifra corresponde únicamente a los fines de semana, debido a la ausencia de control permanente durante los demás días de la semana.

La falta de supervisión continua favorece el ingreso de visitantes sin guardaloma, lo que conlleva la apertura de senderos improvisados y el tránsito por zonas de cobertura vegetal frágil, generando así compactación del suelo, erosión y pérdida de vegetación afectando la biodiversidad del ecosistema.

Figura 18

Sendero turístico Las Hechiceras (parte alta)



Nota. La imagen muestra una vista panorámica de un sector del circuito Las Hechiceras, mostrando el trazo y cobertura vegetal presente durante la temporada húmeda.

Figura 19

Apertura de caminos no autorizados derivados del sendero oficial



Nota. La imagen evidencia que las zonas adyacentes al sendero oficial presentan apertura de caminos improvisados, generando pérdida de cobertura vegetal.

E. Residuos sólidos. Durante el trabajo de campo se identificó que, en el sector quebrada Vizcachera (límite con la localidad de Campoy), se ubica la Asociación de Propietarios Primero de Mayo Campoy-Predio La Vizcachera (partida N°13865150), donde funciona un criadero de cerdos. Este establecimiento, ubicado en la zona de influencia de las Lomas de Mangamarca, presenta una inadecuada gestión de residuos sólidos, evidenciada por la acumulación de desperdicios y la emisión de olores intensos.

Figura 20

Ubicación del criadero de cerdos cercano a Lomas de Mangomarca



Nota. Límites del ecosistema Lomas de Mangomarca (verde), sector Quebrada Vizcachera (amarillo) y criadero de cerdos “Asociación de Propietarios Primero de Mayo Campoy-Predio la Vizcachera” (rojo), ubicado en el área de influencia inmediata al ecosistema.

Figura 21

Ingreso a la Asociación de Propietarios Primero de Mayo Campoy-Predio La Vizcachera



Nota. La imagen fue capturada en las coordenadas 286.534,66 E/ 8.672.084,68 N.

Figura 22

Condiciones de ocupación y gestión inadecuada de residuos sólidos en el área de influencia de las Lomas de Mangamarca



Nota. La imagen muestra la infraestructura para criaderos de cerdos y acumulación de residuos sólidos en la zona adyacente a Lomas de Mangamarca.

Una vía de acceso conecta directamente el criadero con las lomas, y durante el recorrido se identificó un punto de acopio de residuos sólidos dentro del ecosistema aparentemente proveniente de esta asociación. En este lugar se observaron acumulaciones de restos orgánicos e inorgánicos, vehículos transportando baldes con comida para cerdos y contenedores, lo que contribuye a la degradación de la cobertura vegetal y a la generación de focos de contaminación.

Figura 23

Acumulación de residuos sólidos en la Lomas de Mangamarca-Sector Vizcacheras



Nota. La imagen de la izquierda muestra el punto de acumulación de residuos sólidos (celeste) dentro del ecosistema, que tiene conexión con el criadero de cerdos (rojo) mediante una vía (amarillo). A la derecha, se observa el detalle fotográfico del punto de acumulación con disposición inadecuada de residuos sólidos asociados a actividad porcina.

Adicionalmente, en la quebrada contigua al asentamiento humano Los Sauces, se registró otro punto de acumulación de residuos sólidos, generado por pobladores invasores que arrojan sus desechos en las laderas de Lomas de Mangamarca debido a la inaccesibilidad del servicio de recolección formal de basura.

Figura 24

Ubicación de zona de acumulación de residuos sólidos en laderas- Sector Los Sauces



Nota. La imagen muestra la zona con acumulación de residuos sólidos en las laderas de Lomas de Mangamarca.

3.6.1.2. Sistematización espacial de factores de peligro antrópico. En esta etapa se usaron métodos de sistematización y herramientas espaciales para obtener información espacial de cada factor de peligro antrópico, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 7

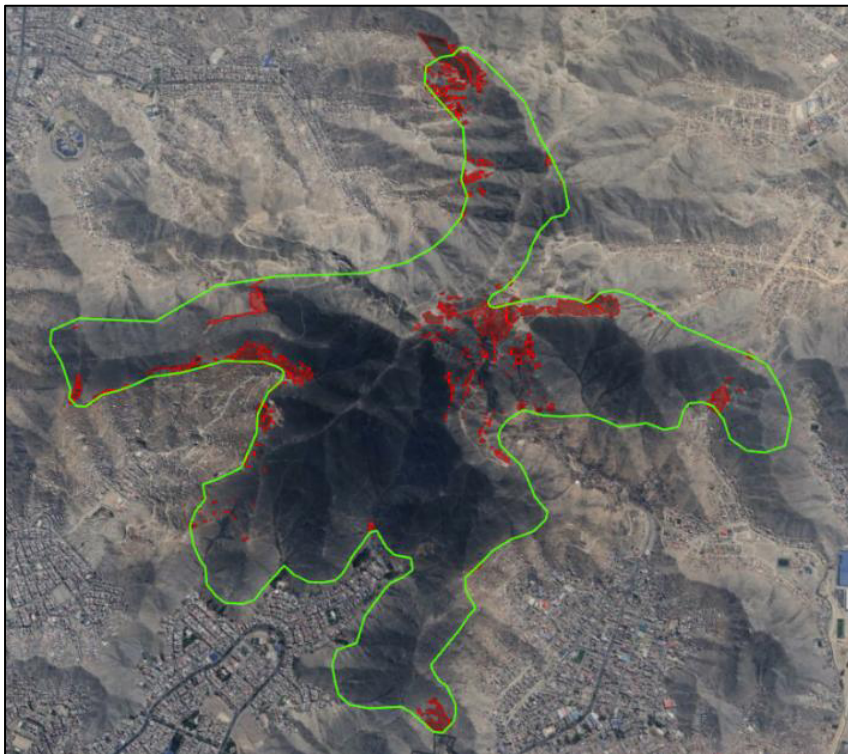
Tabla de métodos usados para la sistematización espacial de factores de peligros antrópicos

Dimensión	Factor de peligro	Método de sistematización	Entidad
Antrópica	Expansión urbana	Digitalización	Vector (polígono)
	Minería no metálica	Digitalización	Vector (polígono)
	Infraestructura vial no planificada	Digitalización	Vector (polígono)
	Residuos sólidos	Georreferenciación	Vector (punto)
	Presión turística	Registro GPS y conversión vectorial	Vector (polígono)

A. Digitalización. Se utilizaron las imágenes geoespaciales del año 2025 disponibles en el repositorio Google Earth Pro, las cuales permitieron la digitalización de las áreas de expansión urbana, a partir de la visualización de viviendas asociadas a procesos de invasiones. Asimismo, se digitalizó la infraestructura vial no planificada (trochas carrozables y caminos de herradura) y las áreas afectadas por minería no metálica. Como resultado se obtuvieron capas espaciales de las áreas de ocupación de estos factores.

Figura 25

Resultado de digitalización de expansión urbana en Lomas de Mangamarca



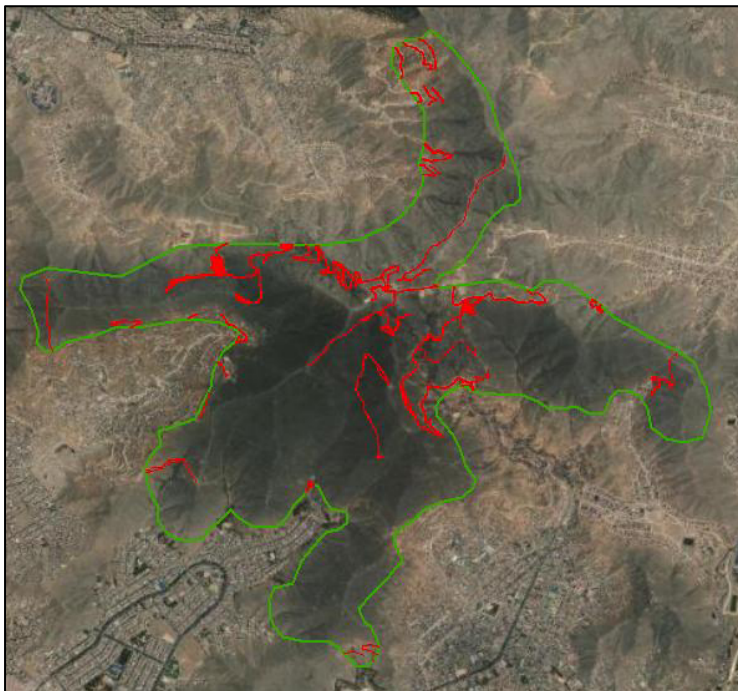
Nota. La imagen de muestra de color rojo las áreas de expansión urbana digitalizadas.

Figura 26

Visualización de un sector de expansión urbana producto de la digitalización

**Figura 27**

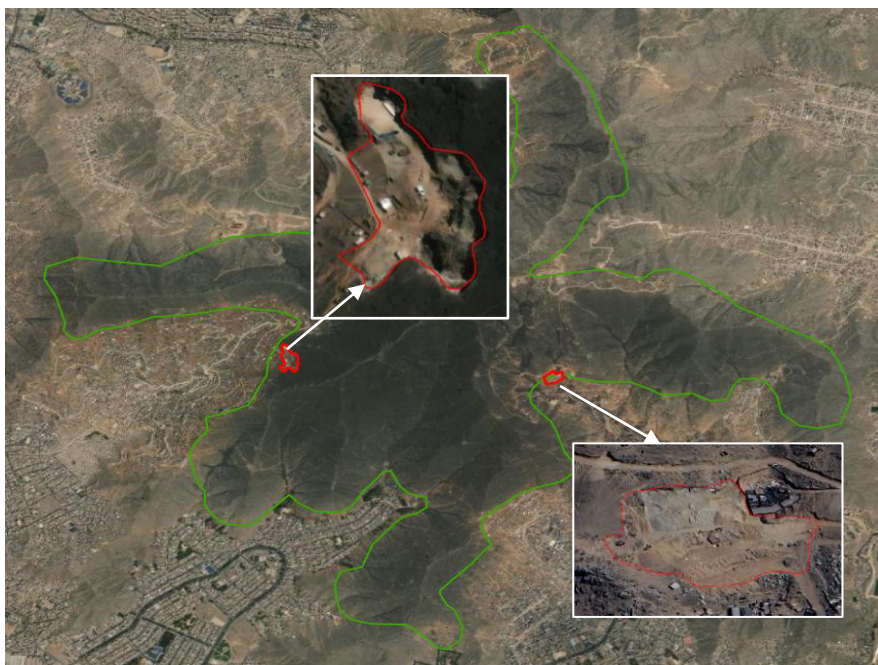
Resultado de la digitalización de infraestructura vial no planificada en Lomas de Mangamarca



Nota. La imagen muestra de color rojo las trochas carrozables digitalizadas dentro del ecosistema Lomas de Mangamarca.

Figura 28

Resultado de digitalización de áreas intervenidas por minería no metálica en Lomas de Mangamarca



Nota. La imagen de muestra de color rojo las áreas intervenidas por minería no metálica y de color verde el límite del ecosistema Lomas de Mangamarca.

B. Georreferenciación. Para el caso del factor de peligro residuos sólidos se aplicó la técnica de georreferenciación. Durante el trabajo de campo se registraron las coordenadas de los puntos de acumulación de residuos sólidos dentro y en el área de influencia de las Lomas de Mangamarca. Las coordenadas fueron recolectadas mediante el aplicativo GPS Map Camera, el cual permite la localización geográfica precisa a partir de imágenes capturadas en campo. Posteriormente, estos registros fueron procesados en un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se vectorizaron los puntos de acumulación para su análisis espacial, permitiendo obtener una capa espacial de puntos asociados a este factor de peligro.

Figura 29

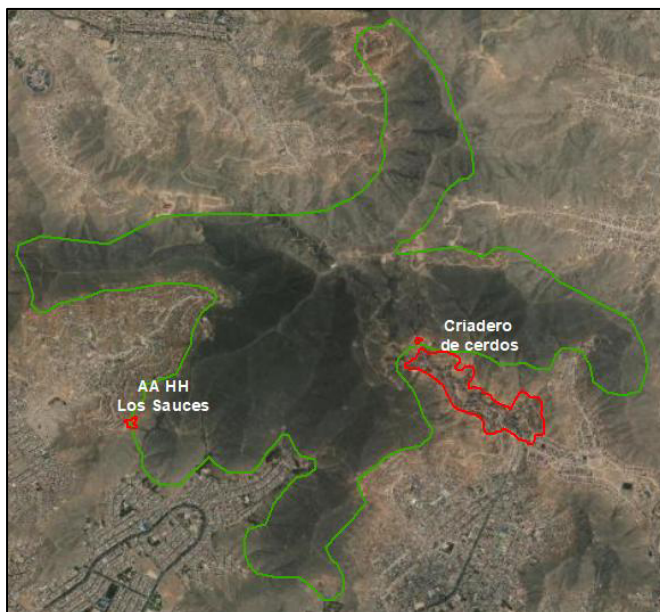
Imágenes georreferenciadas de sectores de acumulación de residuos sólidos



Nota. Imágenes georreferenciadas mediante la aplicación GPS Map Camera que muestran dos focos de acumulación de residuos sólidos.

Figura 30

Resultado de la digitalización de áreas ocupadas por residuos sólidos en Lomas de Mangamarca



Nota. La imagen de muestra de color rojo las áreas ocupadas por residuos sólidos y de color verde el límite del ecosistema Lomas de Mangamarca.

C. Registro GPS y conversión vectorial. En Lomas de Mangamarca se identificaron tres circuitos turísticos, cuyo trazado fue registrado con el apoyo de guardalomas voluntarios mediante el uso del aplicativo móvil Geo Tracker. Esta herramienta permitió el levantamiento de recorridos en campo a través de GPS, posibilitando su almacenamiento en formato digital y posterior exportación a archivos vectoriales. De este modo, se obtuvieron espacialmente las tres rutas turísticas principales: Las Hechiceras, Corazón de las lomas y Las cumbres.

Figura 31

Espacialización de circuitos turísticos mediante registro GPS



3.6.1.3. Análisis de factores de peligro antrópico. Para cada uno de los factores de peligro, pertenecientes a la dimensión antrópica, se establecieron cuatro categorías de incidencia, de modo que cada factor se representó mediante una capa espacial con cuatro clases diferenciadas, cuyos valores numéricos reflejan la intensidad relativa del peligro dentro del área de estudio. En este esquema, el puntaje 4 corresponde a una incidencia muy alta y 1 una incidencia baja.

Tabla 8

Tabla de puntajes asignados a los niveles de incidencia del peligro en cada clase de factores de peligro

Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Muy alto	4
Alto	3
Moderado	2
Bajo	1

A. Expansión urbana. Para el factor de peligro antrópico “Expansión urbana” se adoptó un esquema de anillos concéntricos respecto al borde de las invasiones, por ser el principal frente real de crecimiento observado. Se asignó un puntaje de 4 a las áreas de ocupación consolidada (invasiones); 3 al anillo de 0-50 metros, que representa el frente contiguo inmediato con acceso efectivo a la red vial; 2 al anillo 50-150 metros, donde persiste la accesibilidad y el efecto de “contagio” espacial, aunque con menor intensidad; y 1 al resto del área (>150 metros), donde en el área de estudio ya no se verificó presencia de vías, reduciéndose la probabilidad de expansión.

La pendiente no se consideró como restricción porque el análisis previo evidenció ocupación en pendientes altas y muy altas, de modo que incluirla habría subestimado el peligro. Ver Anexo E (Mapa de distribución espacial de las clases del factor expansión urbana)

Tabla 9*Tabla de clases del factor expansión urbana*

Clase	Distancia a las invasiones (m)	Justificación	Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Ocupación actual	-	Estado actual de ocupación. Representa peligro inminente.	Muy alta	4
Frente contiguo inmediato	0 - 50	Verificación de acceso vial efectivo dentro 0-50 metros. Expansión por borde más probable.	Alta	3
Frente próximo	>50 - 150	Persiste la accesibilidad a vías hasta 150 m. Efecto de “contagio” espacial con menor intensidad.	Moderada	2
Frente lejano	>150	En el área de estudio ya no se verificó presencia de vías. Menor probabilidad de expansión urbana.	Baja	1

B. Infraestructura vial no planificada. Para representar el factor correspondiente a las trochas carrozables presentes en las Lomas de Mangomarca, se establecieron anillos concéntricos a partir del borde del área ocupada por la vía.

La primera clase corresponde al área ocupada por la vía, la cual representa la afectación directa e inmediata sobre el suelo y la vegetación debido a los procesos de remoción y compactación generados por la construcción de la vía y el tránsito vehicular.

De acuerdo con Delgado et al. (2007) y Jeehwan y Ryu (2021), el efecto de borde se define como el conjunto de cambios ecológicos que ocurren en la zona de transición entre una carretera y el ecosistema natural adyacente. Dicho efecto se produce porque la carretera interrumpe la continuidad del hábitat y modifica las condiciones ambientales a lo largo de su límite. Estos autores reportan cambios significativos en la temperatura del suelo, la cobertura

y la altura de vegetación dentro de los 10 primeros metros desde el borde de la carretera, lo que justifica la delimitación de esta franja como zona de efecto de borde inmediato.

Por su parte, la U.S Fish and Wildlife Service (USFWS, 2014) recomienda una distancia de 300 pies (aproximadamente 91 metros) como umbral de resguardo mínimo o zona de amortiguamiento para la protección de especies vegetales frente a afectos asociados a las vías, tales como polvo fugitivo, proliferación de malezas invasoras y alteraciones microclimáticas. En consecuencia, las áreas ubicadas a más de 91 metros del borde del área ocupada por la vía se consideran fuera del resguardo mínimo presentando una menor incidencia de peligro de la carretera sobre el ecosistema. Ver Anexo F (Mapa de distribución espacial de las clases del factor infraestructura vial no planificada)

Tabla 10

Tabla de clases del factor infraestructura vial no planificada

Clase	Distancia al borde de la vía (m)	Justificación	Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Área ocupada por la vía	Huella de vía	Afectación directa e inmediata del suelo y vegetación por remoción y compactación	Muy alta	4
Efecto de borde inmediato	0 – 10	Efecto de borde significativo dentro de los 10 primeros metros. Cambios de temperatura de suelo y estructura de vegetación	Alta	3
Dentro del resguardo mínimo	>10 - 91	Umbral de resguardo mínimo recomendado por la U.S Fish and Wildlife Service para proteger vegetación sensible a largo plazo.	Moderada	2
Fuera del resguardo mínimo	> 91	Más allá del umbral de resguardo mínimo. Menor incidencia de peligro de la carretera sobre el ecosistema.	Baja	1

C. Minería no metálica. Según el expediente técnico de propuesta de Área de Conservación Regional “Sistema de Lomas de Lima”, este tipo de ecosistema enfrenta como uno de sus principales peligros la minería no metálica informal, debido a que esta actividad implica la extracción de agregados para la construcción, generando alteraciones significativas en el suelo y cobertura vegetal.

Para el presente estudio se consideraron rangos de 0-100 m y >100-300 m a partir de las áreas ocupadas por las canteras, tomados por analogía con el Estudio de Impacto Ambiental de la concesión minera no metálica “JM Canteras”, elaborado bajo el régimen de pequeña minería (Ministerio de Ambiente y Energía, 2022). Dicho estudio define el área de influencia directa como el espacio comprendido hasta 100 metros desde el lindero del proyecto y el área de influencia indirecta como una franja adicional de 200 metros, alcanzando un total de 300 m. Estos umbrales fueron considerados bajo la lógica de gradiente de afectación, dado que la probabilidad e intensidad de afectación decrecen con la distancia desde el área intervenida.

Adicionalmente, se consideró la clase “franja lejana” (>300m) considerando que el área de Lomas de Mangamarca se superpone a la Súper unidad Santa Rosa, perteneciente al segmento Lima del Batolito de la Costa, conformada principalmente por granodioritas, monzogranitos y tonalinas (Muñoz et al., 2023). Esta composición litológica evidencia un alto potencial pétreo, por lo que, aunque actualmente solo se identifican dos canteras, es posible que el número de frentes extractivos aumente en el futuro debido a la disponibilidad de recursos rocosos aprovechables. En este contexto, la franja lejana se clasifica con incidencia baja al peligro, pero no nula, ya que el potencial extractivo podría favorecer futuras actividades de explotación. Asimismo, para evitar sobreestimar la extensión de esta clase, se excluyeron las zonas actualmente ocupadas por población, dado que estas presentan un uso del suelo distinto al extractivo. Ver Anexo G (Mapa de distribución espacial de las clases del factor minería no metálica)

Tabla 11*Tabla de clases del factor minería no metálica*

Clase	Distancia a cantera (m)	Justificación	Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Área ocupada de la cantera	-	Afectación directa por remoción de suelo y vegetación. Presencia de taludes expuestos, daño inmediato. Zona de borde del tajo hasta los 100 m.	Muy alta	4
Borde inmediato de la cantera	0 - 100	En cantera activa peligro por polvo y tránsito de maquinaria. En cantera pasiva peligro por pérdida de vegetación, inestabilidad de taludes.	Alta	3
Franja próxima	>100 – 300	Área de influencia indirecta. Probabilidad baja de afectación por canteras existentes.	Moderada	2
Franja lejana	>300	Se considera esta clase por el potencial pétreo del ecosistema, lo cual hace que sea de interés y aprovechamiento en otras zonas.	Baja	1

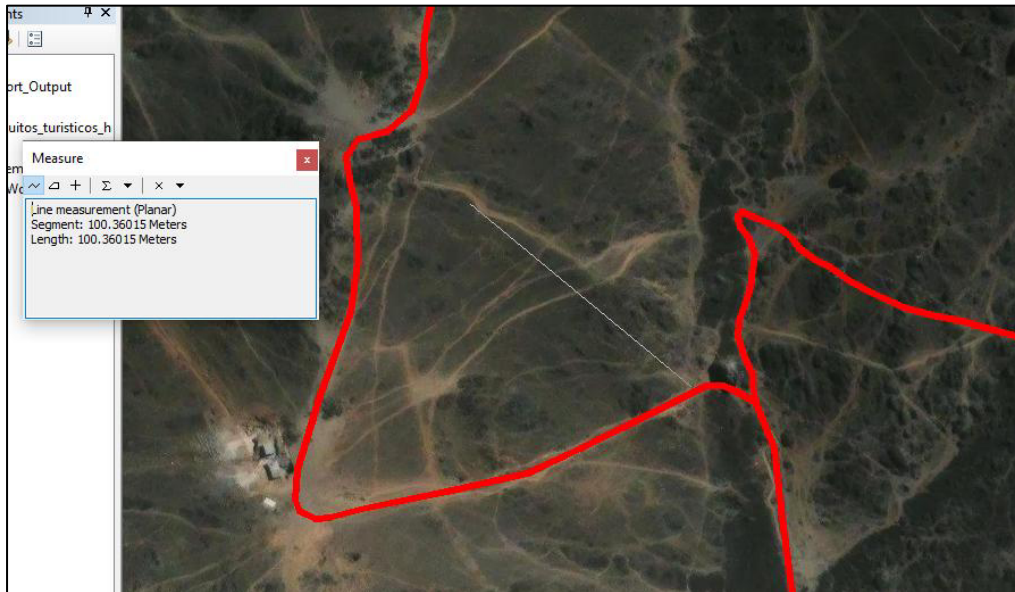
D. Presión turística. En Lomas de Mangamarca los senderos formales han dado paso a la creación de senderos informales debido a la insuficiente presencia y cobertura de guardalomas dado su retribución *add honrem* en calidad de voluntarios. Debido a ello se han considerado 4 clases espaciales que muestran el peligro asociado por la presión turística. La primera clase es la huella del sendero perteneciente a los circuitos turísticos formales la cual representa el foco principal de perturbación asociada a las visitas entre semana en ausencia de guardalomas permanentes.

Schuster et al. (2024) muestran que los senderos formales no supervisados, así como los senderos informales concentran efectos ecológicos como pérdida de cobertura vegetal, compactación, cambios de composición y erosión del suelo. Es así que, la proximidad al sendero formal es un predictor directo del efecto, siendo así que el mayor impacto se encontraría al borde del sendero y decrece con la distancia.

Se determinaron 4 clases espaciales correspondientes a su incidencia en el peligro hacia el ecosistema de interés, donde la huella del sendero formal es de un ancho promedio de 1 m, corroborado en campo. La segunda clase “frente inmediato de pisoteo” es sustentada gracias al estudio de Schuster et al. (2024), los cuales indican que hasta una distancia de 2 metros del sendero se presentan pérdidas casi completas o total de cubierta vegetal como efectos del pisoteo. En el presente estudio se incrementó a 3 metros debido que en campo se evidenció que esta área es donde principalmente se inician los desvíos y aperturas a senderos informales. La tercera clase “frente cercano” que comprende >3-100m a partir del borde del sendero formal se determinó debido a que en el área de estudio Lomas de Mangamarca se evidenció mediante análisis cartográfico propio de los senderos informales que hay persistencia de estos hasta una distancia de 100 m contados desde el borde del sendero oficial, generando que esa expansión lateral mantiene el riesgo por pisoteo, compactación y erosión localizada.

Figura 32

Presencia de proliferación de senderos informales hasta los 100 m



Nota. La imagen de muestra de color rojo la huella del sendero formal y la presencia de senderos informales.

Finalmente, la cuarta clase “franja amortiguadora” como tope operativo de 150 m contados a partir del borde del sendero formal, como alcance observado. Esto con el fin de no sobredimensionar la posible afectación por presión turística, dado que los efectos de este factor decrecen con la distancia. (Kostrakiewicz, et al., 2022). Ver Anexo H (Mapa de Mapa de distribución espacial de las clases del factor presión turística).

Tabla 12

Tabla de clases del factor presión turística

Clase	Distancia a sendero formal (m)	Justificación	Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Huella del circuito	-	Ancho de 1 metro. Afectación directa por apertura de sendero. Suelo desnudo y compactado.	Muy alta	4
Frente inmediato por pisoteo	0– 3	El pisoteo turístico de concentra típicamente hasta los 3 metros de distancia del sendero y genera fuertes reducciones de cobertura y altura de vegetación, así como cambios en el suelo. Espacio donde suelen iniciarse desvíos a senderos informales desde el principal.	Alta	3
Frente cercano	> 3 - 100	En el área de estudio se observó proliferación de senderos informales hasta aproximadamente los 100 metros desde el circuito oficial. Mantiene riesgo por pisoteo, compactación de suelo y erosión localizada.	Moderada	2
Franja amortiguadora	>100 - 150	Se fija un tope operativo de límite del dominio de la presión turística para no sobreestimar las áreas lejanas. Más allá de los 150 m la probabilidad de daño directo desde los senderos oficiales es baja.	Baja	1

E. Residuos sólidos. Para la delimitación de zonas de influencia de los puntos de acumulación de residuos sólidos se adoptó un criterio de proximidad espacial, considerando que los impactos ambientales sobre el ecosistema tienden a disminuir con la distancia al foco contaminante.

Las clases espaciales se adaptaron de Nasir et al. (2024), quienes establecieron distancias de riesgo sanitario en torno a vertederos de residuos sólidos. En el presente estudio, dichas distancias fueron reinterpretadas en términos de afectación ambiental al ecosistema de interés, definiéndose cuatro clases espaciales según su incidencia en el peligro a Lomas de Mangomarca.

La primera clase corresponde al área directa del foco de residuos, que representa la zona ocupada por desechos y presenta una afectación inmediata al suelo y a la vegetación colindante por depósito directo, además de ser un espacio de atracción para fauna oportunistas como roedores e insectos. La segunda clase corresponde al borde inmediato (0-30 m), caracterizado por la influencia directa del foco de residuos y la posible dispersión de contaminantes y vectores. La tercera clase denominada franja próxima (30-70 m), mantiene efectos moderados debido al transporte de contaminantes o a la alteración de las condiciones del suelo. Finalmente, la cuarta clase, denominada franja lejana (>70 m), representa la zona con menor influencia del foco de residuos, donde la afectación ambiental se considera baja.

Tabla 13

Tabla de clases del factor residuos sólidos

Clase	Distancia al área directa del foco de residuos (m)	Justificación	Nivel de incidencia en el peligro	Puntaje
Área directa del foco de residuos	-	Afectación inmediata del suelo y vegetación por depósito directo, compactación y atracción de fauna oportunista (roedores/insectos). Corresponde a zonas de acopio doméstico, silos y acopio orgánico para cerdos.	Muy alta	4
Borde inmediato	0-30	Zona de influencia directa del foco de residuos, caracterizada por arrastre muy local de materiales, percepciones de olores.	Alta	3
Franja próxima	>30 -70	Zona donde persisten vectores.	Moderada	2
Franja lejana	> 70	A partir de aproximadamente 70 m la influencia inmediata disminuye en un paisaje abierto de lomas; aunque puede existir riesgo puntual, la probabilidad de afectación directa al suelo o vegetación es baja.	Baja	1

3.6.1.4. Asignación de pesos de factores de peligro mediante AHP. La asignación consistió en la estimación de prioridades por expertos, verificación de consistencia por experto y consenso de experto mediante Agregación de Juicios Individuales (AIJ).

A. Estimación de prioridades por experto. La ponderación de los 5 factores de peligro pertenecientes a la dimensión antrópica se realizó mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), a partir de matrices de comparación pareada completadas por siete expertos, empleando

la escala fundamental de Saaty (1,3,5,7, 9 y sus recíprocos), que expresa la intensidad de preferencia de un factor sobre otro.

Cada experto comparó por pares la importancia relativa entre los siguientes factores: expansión urbana, infraestructura vial no planificada, minería no metálica, presión turística y residuos sólidos.

Tabla 14

Tabla de estructura de matriz pareada de factores de peligro

	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos
Expansión urbana	1				
Infraestructura vial no planificada		1			
Minería no metálica			1		
Presión turística				1	
Residuos sólidos					1

Nota. Las matrices son recíprocas y representan la unidad en la diagonal.

- Cálculo de la media geométrica: Para cada fila de la matriz (cada factor), se calculó la media geométrica de los valores de comparación.

$$GM_i = (a_{i1} \times a_{i2} \times \dots \times a_{in})^{\frac{1}{n}}$$

Donde:

GM_i = Media geométrica del i-ésimo factor.

$a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}$ = Valores de comparación del factor i respecto a los demás factores.

n = Número total de factores evaluados

Esto permitió obtener un valor representativo del peso relativo de cada factor, respetando la naturaleza multiplicativa de la escala AHP, garantizando además la coherencia de los resultados frente a la normalización de prioridades (Krejčí & Stoklasa, 2018).

- Obtención de pesos normalizados: Cada media geométrica se dividió entre la suma total de las medias geométricas, obteniendo así los pesos normalizados (W_i), que representan las prioridades relativas de los factores dentro del juicio del experto.

$$W_i = \frac{GM_i}{\sum GM_i}$$

Donde:

W_i = Peso normalizado del i-ésimo factor.

GM_i = Media geométrica del i-ésimo factor.

$\sum GM_i$ = Suma de todas las medias geométricas de los factores.

- Cálculo de la suma ponderada: Se multiplicó la matriz original de comparaciones por el vector de pesos normalizados. Este paso genera un nuevo vector (suma ponderada) que sirve para evaluar la consistencia de los juicios.

- Obtención de cociente: Cada elemento del vector de suma ponderada se dividió entre su peso normalizado correspondiente, generando un conjunto de cocientes.

B. Verificación de consistencia por experto. La consistencia mide el grado de coherencia en los juicios del experto. Un experto es consistente si sus comparaciones no presentan contradicciones lógicas.

- Cálculo de $\lambda_{m\acute{a}x}$: Se obtiene promediando los criterios anteriores

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{\sum(\text{cocientes})}{n}$$

Donde:

$\lambda_{m\acute{a}x}$ = Autovalor máximo aproximado de la matriz de comparación pareada.

n = Número total de factores comparados.

- Índice de consistencia (CI): Es una medida intermedia calculada a partir del autovalor máximo de $\lambda_{\text{máx}}$ e indica cuánto se desvía la matriz del caso perfectamente consistente.

$$CI = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1}$$

Donde:

n = número de factores comparados

- Razón de consistencia (CR): Finalmente, se calculó este índice dividiendo el índice de consistencia entre el índice aleatorio de Saaty el cual depende de la cantidad de factores analizados.

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

Donde:

CR = Razón de consistencia

CI = Índice de consistencia

RI = Índice aleatorio (Valor igual a 1.12 para 5 factores)

Cabe mencionar que Saaty estableció un límite de 0.10 para la razón de consistencia (CR), es así que, si este supera dicho umbral, se pone en duda la validez de los juicios emitidos y valores por debajo indican un juicio aceptablemente consistente (Pant et al., 2022).

C. Consenso de expertos mediante AIJ. Una vez verificada la consistencia individual de cada experto, se integraron sus opiniones mediante el método de Agregación de Juicios Individuales (AIJ), recomendado por Saaty para obtener un consenso grupal.

Es así que, se combinaron las matrices de todos los expertos tomando la media geométrica de cada elemento correspondiente, lo cual preserva la reciprocidad y proporcionalidad entre los juicios individuales. Adicionalmente se calcularon los pesos

normalizados y la verificación de consistencia, generando el vector final de pesos que representa el consenso de los expertos sobre la importancia relativa de los factores de peligro.

Para la visualización de las matrices individuales por expertos y la matriz integrada de factores de peligro Ver Anexo A.

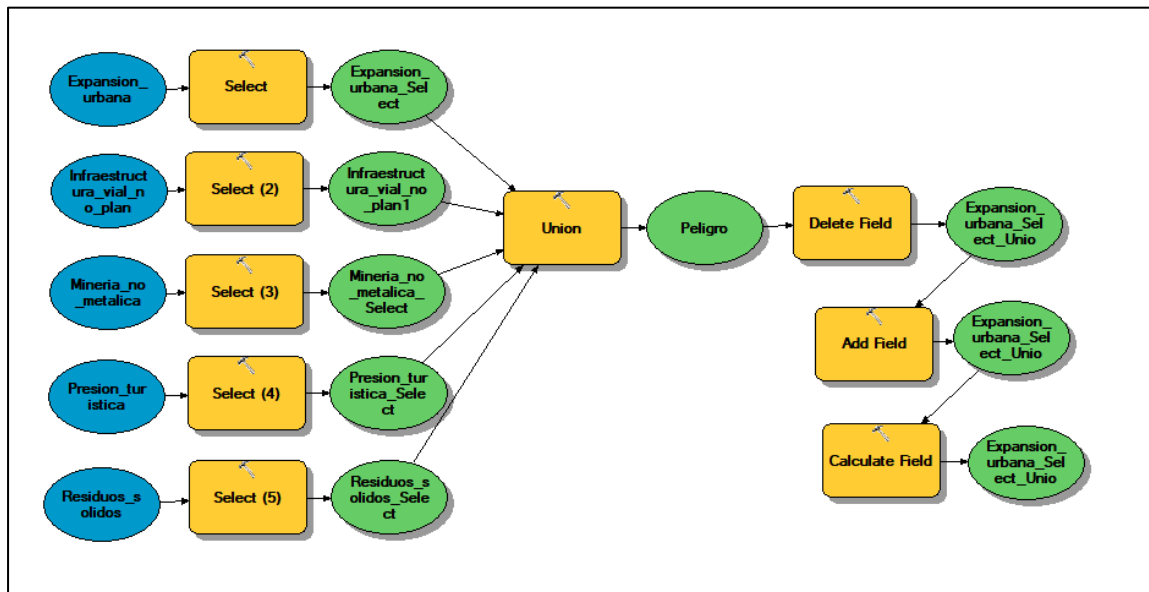
3.6.1.5. Estimación del peligro. El modelo de geoprocésamiento empleado para determinar la capa de peligro se muestra en la Figura 33. Los insumos utilizados corresponden a capas espaciales de cada factor de peligro en la dimensión antrópica: expansión urbana, infraestructura vial no planificada, minería no metálica, residuos sólidos y presión turística, cada una con su clasificación espacial en cuatro clases según su nivel de incidencia en el peligro al ecosistema Lomas de Mangomarca, reflejado en un puntaje del 1 al 4.

Cada capa incluye además el peso normalizado obtenido a partir del juicio de expertos mediante metodología AHP, aplicando la escala fundamental de Saaty.

El modelo integra los insumos a través de una operación de unión espacial, que consolida la información de los factores en una sola capa denominada peligro. Posteriormente, se ejecutaron procesos de eliminación de campos no requeridos, creación de un nuevo campo para alojar los resultados de la aplicación de la fórmula del peligro; y finalmente se realizó el cálculo del campo, donde se aplica la combinación lineal ponderada para determinar el valor del peligro final.

Figura 33

Modelo de geoprocresamiento para obtener la capa espacial de peligro y valores resultantes



El nivel de peligro se calculó mediante una suma ponderada de los factores antrópicos, donde a cada capa espacial se le asignó su peso normalizado derivado del AHP y su valor de clase según el grado de incidencia en el ecosistema Lomas de Mangomarca.

Matemáticamente, el peligro se expresa como:

$$P = (W_{EU} \times X_{EU}) + (W_{IV} \times X_{IV}) + (W_{MN} \times X_{MN}) + (W_{PT} \times X_{PT}) + (W_{RS} \times X_{RS})$$

Donde:

P = Nivel de peligro resultante

W_{EU} = Peso de expansión urbana

W_{IV} = Peso de infraestructura vial no planificada

W_{MN} = Peso de minería no metálica

W_{PT} = Peso de presión turística

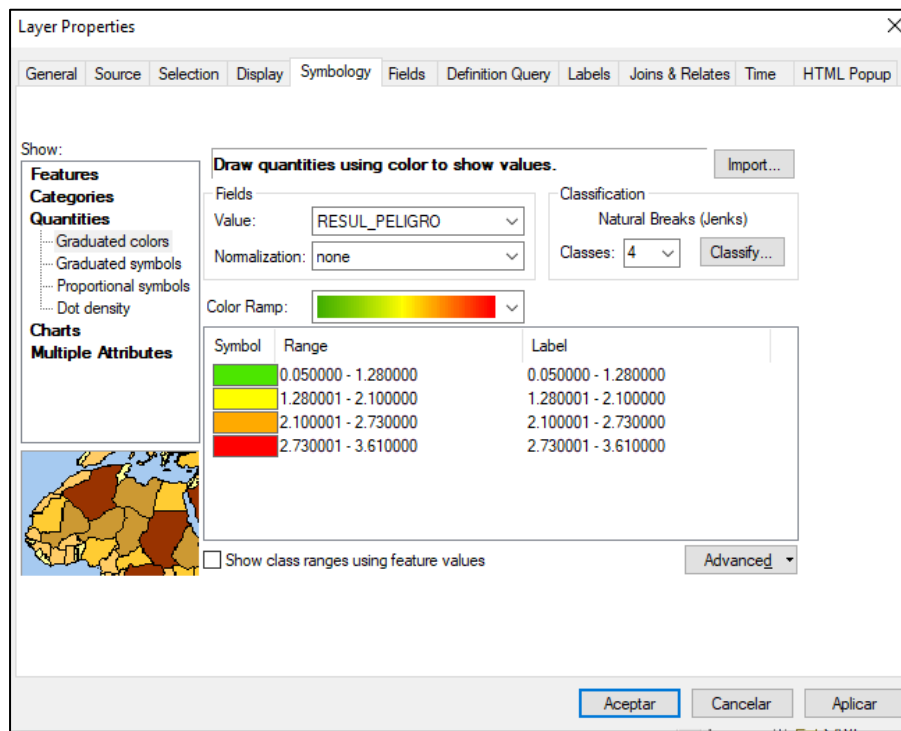
W_{RS} = Peso de residuos sólidos

$X_{EU}, X_{IV}, X_{MN}, X_{PT}, X_{RS}$: Valores de clase espacial (1 a 4) según incidencia en el peligro.

El resultado final es un número entre 0 (sin peligro) y 4 (peligro muy alto). En el presente estudio los valores observados fueron de 0,05 a 3,61 y para traducir estos valores en categorías comprensibles (bajo, moderado, alto y muy alto) se usó el método de “rupturas naturales” (Jenks) el cual establece donde están los cortes, agrupando las zonas con valores parecidos y separando las que son distintas, minimizando la variación dentro de cada clase y maximiza la diferencia entre clases.

Figura 34

Uso de método de Natural Breaks (Jenks) para definir la clasificación de niveles de peligro



3.6.2. *Etapa 2: Identificación y análisis de vulnerabilidad.*

3.6.2.1. Identificación de factores de vulnerabilidad. La identificación de los factores de vulnerabilidad se realizó a partir de una revisión bibliográfica sobre el área de estudio, complementada con un análisis espacial mediante observación de imágenes satelitales y cartografía base. Esta información inicial permitió reconocer patrones y presiones potenciales sobre el ecosistema de lomas. Posteriormente, se desarrolló un trabajo de campo exploratorio con el fin de validar y ampliar la información obtenida en gabinete, de este modo la identificación no se limitó al análisis documental, sino que incorporó evidencia empírica directa del territorio.

A continuación, se detallan los factores de vulnerabilidad identificados en Lomas de Mangamarca:

Tabla 15

Dimensiones de análisis de los factores de vulnerabilidad

Dimensión	Factor de vulnerabilidad
Ambiental	Estado de salud de la vegetación
	Potencial de captación de niebla
	Pendiente
Cultural	Sitios arqueológicos

A. Estado de salud de vegetación. En el área de estudio, el estado de salud de la vegetación constituye un factor de vulnerabilidad determinante, ya que condiciona la capacidad de las Lomas de Mangamarca para enfrentar los impactos antrópicos y mantener los procesos de regeneración natural. Durante el trabajo de campo diferencias notorias en la cobertura vegetal: en los sectores altos y menos intervenidos se conserva una vegetación densa y vigorosa, en áreas próximas a invasiones o intervenidas se observó vegetación degradada, con pérdida de cobertura.

La revisión de fuentes secundarias y observación en campo permitieron sustentar que el deterioro del estado de salud de la vegetación incrementa la vulnerabilidad del ecosistema, al reducir su capacidad de regeneración. En ese sentido, este factor refleja la fragilidad intrínseca del ecosistema antes presiones externas.

Figura 35

Degradación del estado de salud de la vegetación en las Lomas de Mangamarca



Nota. Comparación temporal entre 2019 (izquierda) y 2025 (derecha), donde se observa pérdida de vegetación por tránsito de turistas sin senderos definidos e invasiones en el sector.

Figura 36

Zona con buen estado de salud de la vegetación en las Lomas de Mangamarca

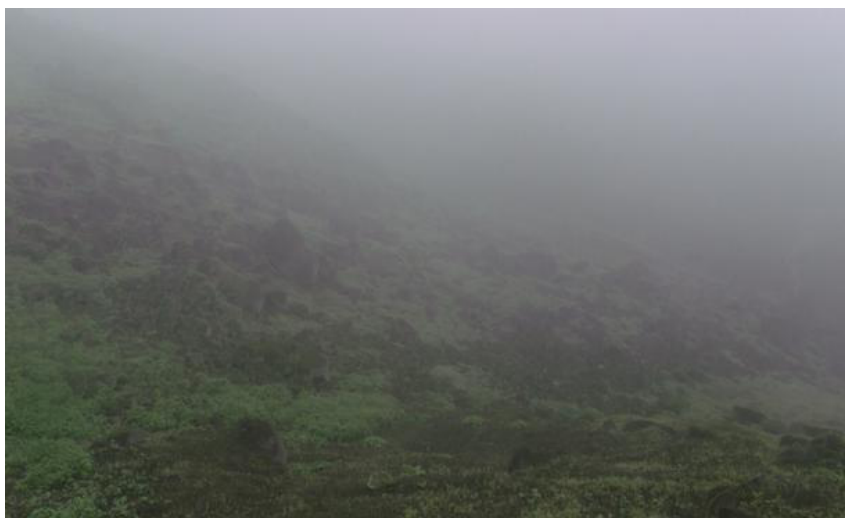


Nota. Cobertura vegetal densa y en buen estado de conservación en las Lomas de Mangamarca.

B. Potencial de captación de niebla. En las Lomas de Mangamarca, el potencial de captación de niebla constituye un factor de vulnerabilidad, ya que la dinámica ecológica de este ecosistema depende en gran medida de la humedad atmosférica proveniente de las neblinas costeras. Las especies vegetales presentes en este tipo de ecosistemas han desarrollado adaptaciones morfológicas para capturar el recurso hídrico de la niebla, por lo que una reducción en la frecuencia o intensidad de la niebla disminuye la capacidad de regeneración de la cobertura vegetal e incluso la existencia de brote vegetación significativa en temporada húmeda.

Figura 37

Presencia de niebla en las Lomas de Mangamarca con diferente densidad



Nota. Tomado de la Asociación Lomas de Mangamarca (2020).

De este modo, la presencia de neblina se convierte en un factor importante en la vulnerabilidad del ecosistema, al aportar resiliencia frente a presiones antrópicas. Una zona con más disponibilidad hídrica atmosférica (niebla) puede captar más recurso hídrico para la vegetación y por consecuencia tiene más capacidad de regeneración incrementando su resiliencia y reduciendo su vulnerabilidad. Por el contrario, aquellas áreas con bajo potencial

de captación de niebla presentar menor aporte hídrico y, por ende, una mayor vulnerabilidad a la degradación del ecosistema.

C. Pendiente. Lomas de Mangamarca, tal como se muestra en la Figura 38, se observa el predominio de pendientes pronunciadas a lo largo de su superficie. Este factor topográfico constituye un elemento clave dentro del análisis de la vulnerabilidad ambiental del ecosistema, ya que las mayores pendientes incrementan la susceptibilidad a procesos erosivos y reducen la capacidad de regeneración de la cobertura vegetal frente a las alteraciones generadas por los factores de peligro de origen antrópico.

La pendiente actúa como un amplificador de la vulnerabilidad del ecosistema, al favorecer la pérdida del suelo y la inestabilidad del sustrato, lo que dificulta la retención de humedad y nutrientes esenciales para el restablecimiento de la vegetación. Según Summers et al. (2018), los ecosistemas ubicados en zonas de fuerte pendiente presentan una menor capacidad de regeneración ante perturbaciones humanas. De manera complementaria, (Gastauer et al., 2022) señalan que las pendientes pronunciadas obstaculizan el proceso de revegetación, debido a la escasa retención del suelo y la dificultad para el desarrollo de raíces.

Figura 38*Pendiente en Lomas de Mangamarca*

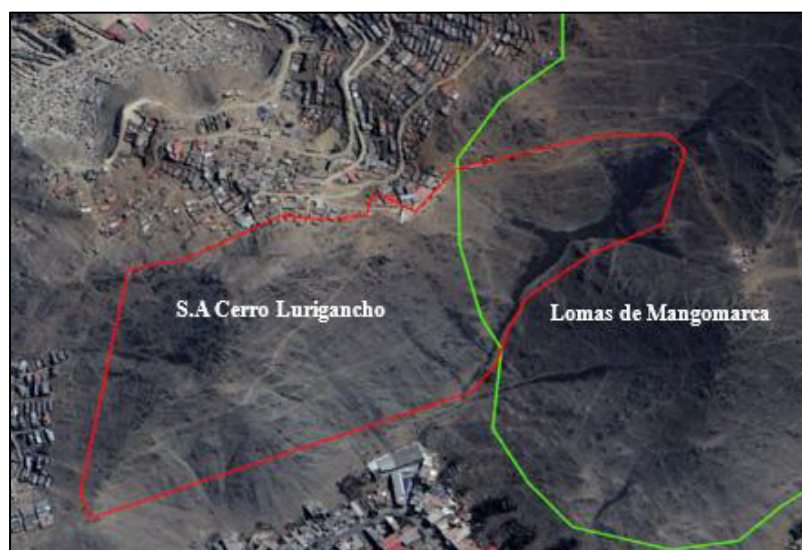
Nota. La imagen muestra que Lomas de Mangamarca tiene zonas accesibles y zonas con pendiente pronunciada. *Fuente:* El Peruano.

D. Sitios arqueológicos. En las Lomas de Mangamarca se encuentra cuatro sitios arqueológicos, dos de manera total y los otros 2 de forma parcial. Estos bienes culturales, además de constituir un valor histórico y patrimonial, representan un factor de vulnerabilidad en el ámbito cultural, ya que su fragilidad y exposición a presiones antrópicas generan conflictos entre la conservación del patrimonio y la expansión urbana.

El Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho, constituye un conjunto de estructuras en la cima y laderas del cerro, con plataformas de piedra, explanadas y pozos asociados a conos de deyección. Frente a procesos de huaqueo y lotización ilegal, fue protegido en el año 2022 mediante la Resolución Directoral N° 000017-2022-DGPA/MC, cuya vigencia fue prorrogada en el año 2025 (Resolución N°000077-2025-DGPA-VMPCIC/MC). Pese a contar actualmente con intangibilidad legal hasta 2027, sigue siendo un sitio de alta vulnerabilidad por la constante presión de asentamientos humanos en sus alrededores.

Figura 39

Vista satelital del Sitio arqueológico Cerro Lurigancho



Nota. La imagen muestra el área del Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho (rojo) que se superpone parcialmente a las Lomas de Mangamarca (verde).

Figura 40

Presión urbana sobre el área que colinda al Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho

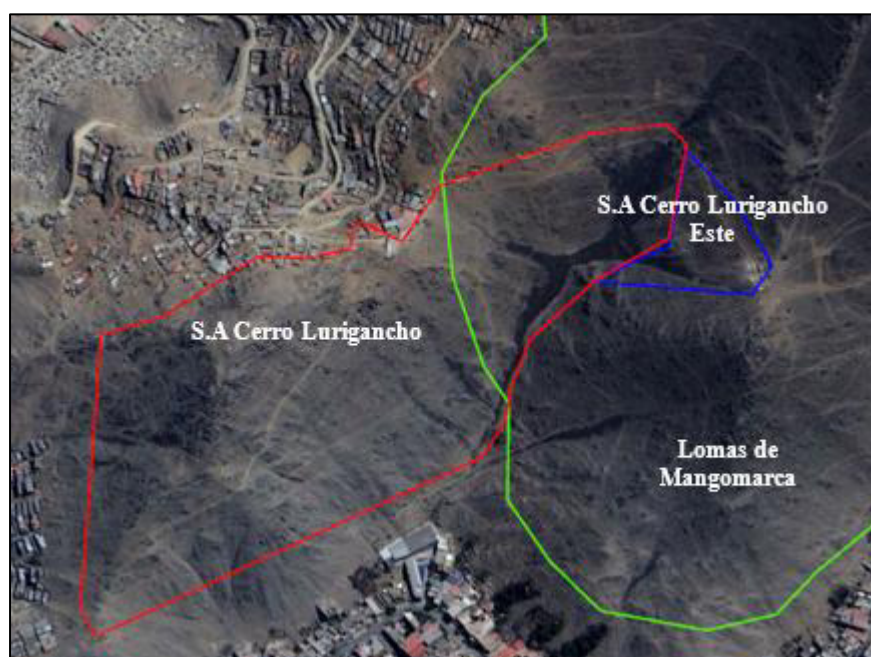


Nota. Estructuras precarias colocadas colindantes al Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho.

El Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho Este por su parte, fue declarado en Protección Provisional mediante la Resolución Directoral N°000092-2023-DGPA/MC, delimitando un área intangible de 10.663,50 m² y un perímetro de 517,86 m. Las inspecciones registraron restos de cerámica, alineamientos de piedra y muros prehispánicos, aunque también se identificaron amenazas de asentamientos y excavaciones. Al no haberse prorrogado la resolución en 2025, el sitio quedó sin cobertura legal activa, lo que incrementa su vulnerabilidad frente a la expansión urbana.

Figura 41

Vista satelital del Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho Este



Nota. La imagen muestra el área del Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho (rojo) y el área del Sitio Arqueológico Cerro Lurigancho Este (azul).

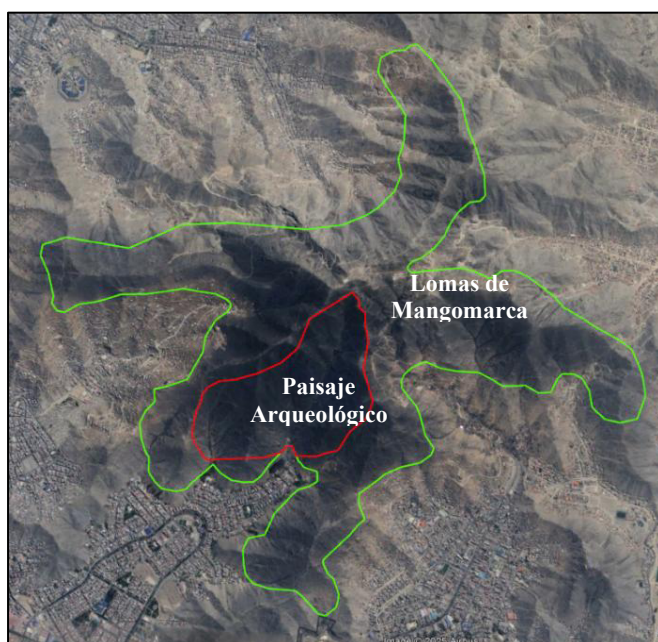
Figura 42*Evidencia arqueológica y sus amenazas antrópicas*

Nota. En la imagen se aprecian los alineamientos de piedras y muros prehispánicos (líneas rojas) y hacia arriba se muestran las invasiones ubicadas dentro del sitio arqueológico y excedente de excavaciones realizadas. (círculo azul). Tomado del Informe de inspección N° 005-2023-LAMS/DCS/DGDP/VMPCIC/MC.

El Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca constituye un complejo cultural estrechamente asociado al ecosistema de loma costera, con evidencias de terrazas agrícolas, corrales y recintos circulares y cuadrangulares, además de refugios adaptados a cavidades naturales. Se han registrado manifestaciones de arte rupestre y la presencia de canteras de molineras con bloques líticos dentados y circulares (rocas de molino), lo cual refleja su importancia productiva prehispánica. Sin embargo, enfrenta intentos de invasión y movimientos de tierra ilegales, lo que motivó su protección en 2023 (Resolución Directoral N°000088-2023-DGPA/MC) y su prórroga en 2025 (Resolución N°000216-2025-DGPA-VMPCIC/MC).

Figura 43

Vista satelital de Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca



Nota. En la imagen se muestra de color rojo el área del Paisaje Arqueológico y de color verde el área de Lomas de Mangamarca, evidenciando una superposición total.

Figura 44

Rocas de molino ubicadas en el Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca



Nota. Estas rocas son conocidas como molino o batanes.

Figura 45

Taffonis y geoformas ubicadas dentro del Paisaje Arqueológico Lomas de Mangamarca



Nota. Fotografías tomadas de la Asociación Lomas de Mangamarca.

Finalmente, la Zona Arqueológica Monumental Pedreros, fue incorporada al Patrimonio Cultural de la Nación en el año 2000 (Resolución N°565/INC), con delimitaciones actualizadas en 2006 y 2010. Aunque se trata de un sitio protegido legalmente, actualmente enfrenta amenazas por construcciones precarias, corrales y muros de ladrillo en su área intangible, situaciones que han derivado en procesos sancionadores por parte del MINCUL.

Figura 46

Vista satelital de la Zona Arqueológica Monumental Pedreros



Nota. En la imagen se muestra de color rojo la Zona Arqueológica Monumental Pedreros y de color verde el área de Lomas de Mangamarca, evidenciando una superposición parcial.

3.6.2.2. Sistematización espacial de factores de vulnerabilidad. En esta etapa se realizó procesamiento de imagen satelital y modelo de elevación digital DEM, así como también la elaboración de modelos de geoprocésamiento para obtener información espacial de cada factor de vulnerabilidad, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 16

Tabla de métodos usados para la sistematización espacial de factores de vulnerabilidad

Dimensión	Factor de peligro	Método de sistematización	Entidad
Ambiental	Estado de salud de la vegetación	Procesamiento de imagen satelital (índice SAVI)	Vector (polígono)
Ambiental	Potencial de captación de niebla	Procesamiento de DEM	Vector (polígono)
Ambiental	Pendiente	Modelos de geoprocésamiento	Vector (polígono)
Cultural	Sitios arqueológicos	Procesamiento de DEM	Vector (polígono)
		Compilación de data espacial de MINCUL	Vector (polígono)
		Digitalización	

A. Procesamiento de imagen satelital. El factor estado de salud de la vegetación fue sistematizado a partir del uso de una imagen satelital Sentinel-2, ya que presenta una resolución espacial de 10 m en las bandas infrarrojo cercano (NIR) y rojo, necesarias para el cálculo del índice SAVI, por lo que esta resolución permite obtener un mejor detalle para la evaluación del estado de salud de la vegetación.

Figura 47

Resolución espacial de bandas de imagen Sentinel-2

Banda Sentinel 2	Longitud de onda central (μm)	Resolución espacial (m)
Banda 1 - Aerosol	0.443	60
Banda 2 - Azul	0.490	10
Banda 3 - Verde	0.560	10
Banda 4 - Rojo	0.665	10
Banda 5 - Borde Rojo Vegetación 1	0.705	20
Banda 6 - Borde Rojo Vegetación 2	0.740	20
Banda 7 - Borde Rojo Vegetación 3	0.783	20
Banda 8 - Infrarrojo cercano (NIR) 1	0.842	10
Banda 8A - Infrarrojo cercano (NIR) 2	0.865	20
Banda 9 - Vapor de agua	0.945	60
Banda 10 - Cirros	1.375	20
Banda 11 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 1	1.610	20
Banda 12 - Infrarrojo de onda corta (SWIR) 2	2.190	20

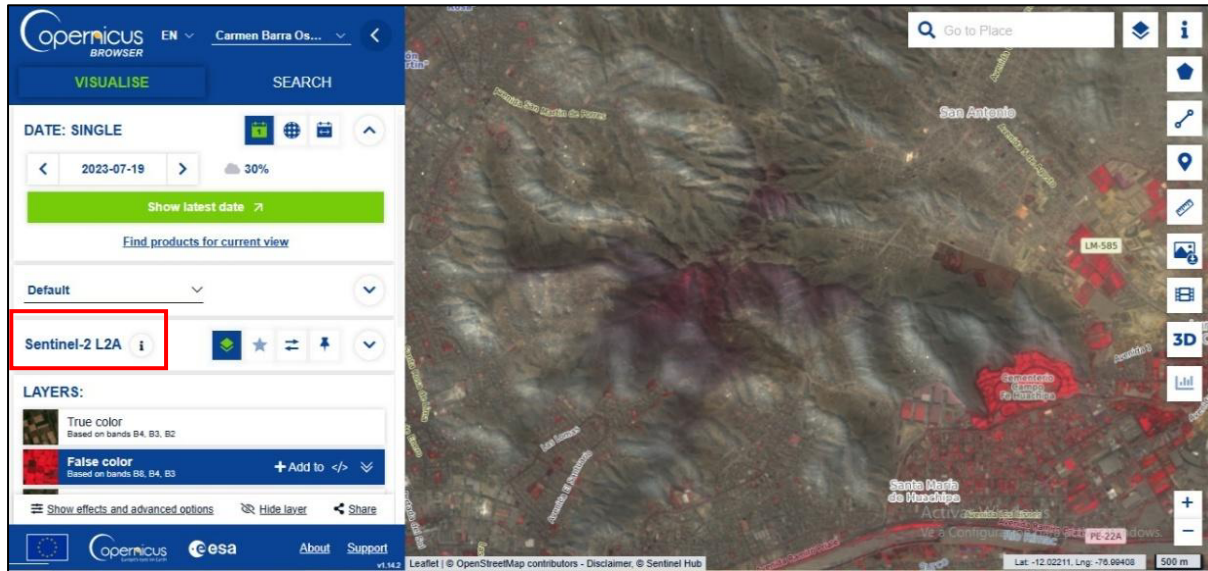
Nota. Tomado de “Sentinel-2” por Instituto Cartográfico Valenciano, s.f.

Luego de la elección del tipo de imagen a usar, se realizó la descarga de la plataforma de Copernicus (<https://browser.dataspace.copernicus.eu/>), seleccionando la imagen Sentinel-2 L2A que según la European Space Agency (ESA, 2016) este producto corresponde a imágenes corregidas atmosféricamente, ortorrectificadas y clasificadas como reflectancia de superficie (Bottom-of-Atmosphere, BOA).

Figura 48

Resolución espacial de bandas de imagen Sentinel-2

c

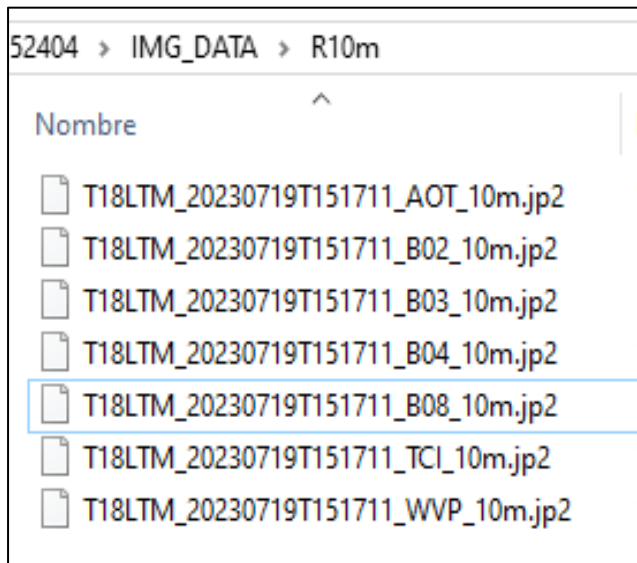


Nota. En la imagen se observa que se descargó el producto Sentinel 2-L2A.

La imagen utilizada corresponde al 19 de julio del 2023, seleccionada tras evaluar distintas escenas y optar por aquella que presentaba menor porcentaje de nubosidad en el área de estudio, garantizando así su idoneidad para el análisis.

Figura 49

Bandas espectrales de la imagen Sentinel-2 descargada



Al descargar la imagen satelital, las bandas se encontraban con formato JP2, por lo cual se optó por pasar a formato GeoTIFF las bandas NIR y ROJO con el fin de optimizar la compatibilidad y el procesamiento en entornos SIG.

Figura 50

Conversión de formato de bandas de JP2 a GeoTIFF

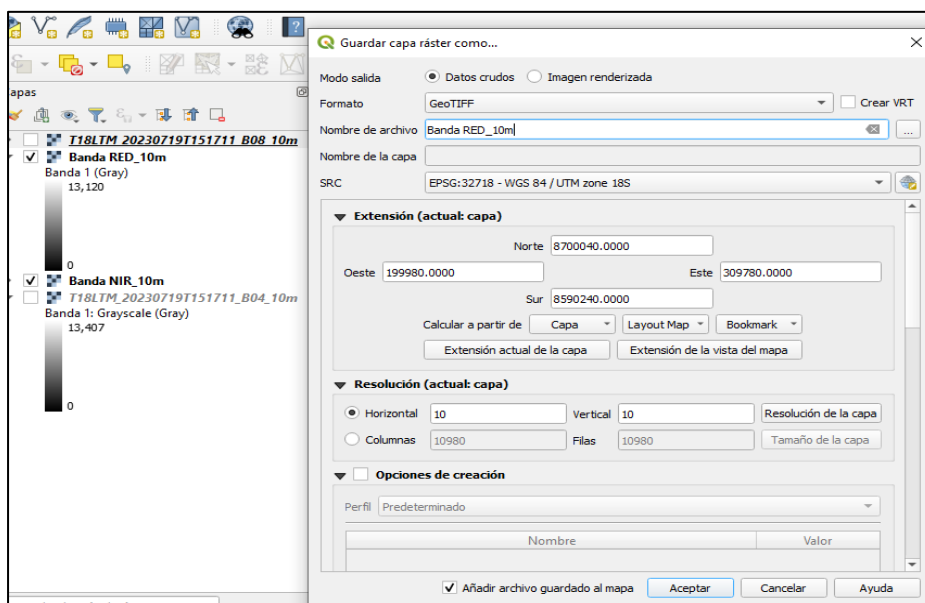
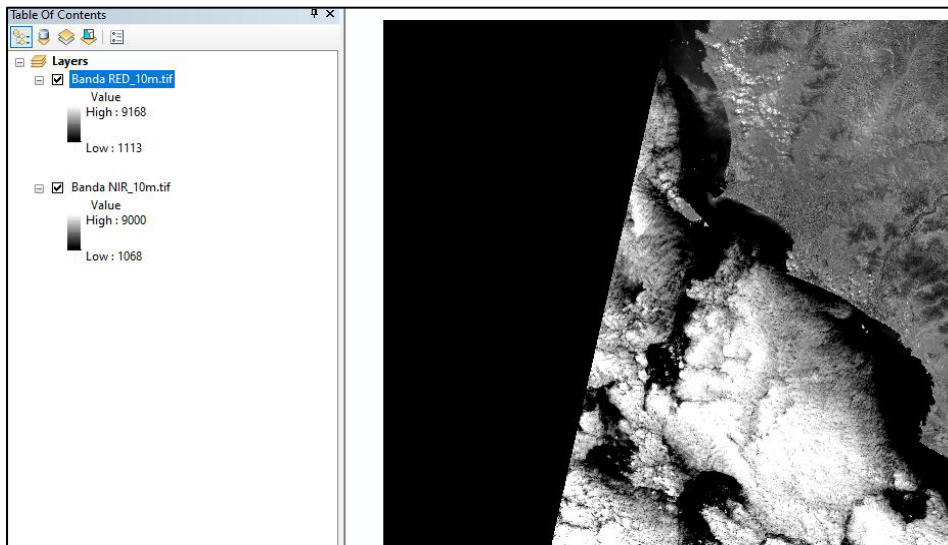


Figura 51

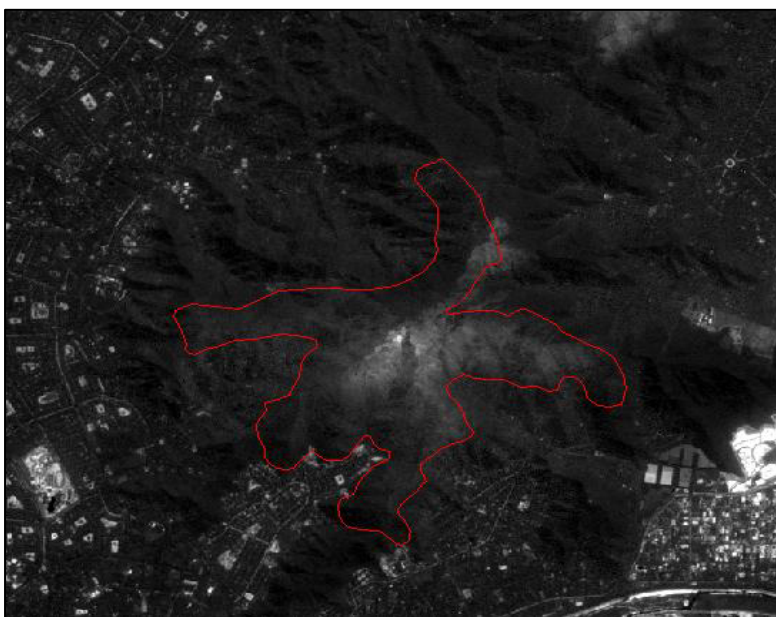
Bandas NIR y Rojo en formato GeoTIFF



Posteriormente, las bandas fueron cortadas al área de interés definida para el presente estudio, con el propósito de optimizar el procesamiento y concentrar el análisis únicamente en el espacio territorial relevante.

Figura 52

Corte de bandas en base al área de análisis de la investigación



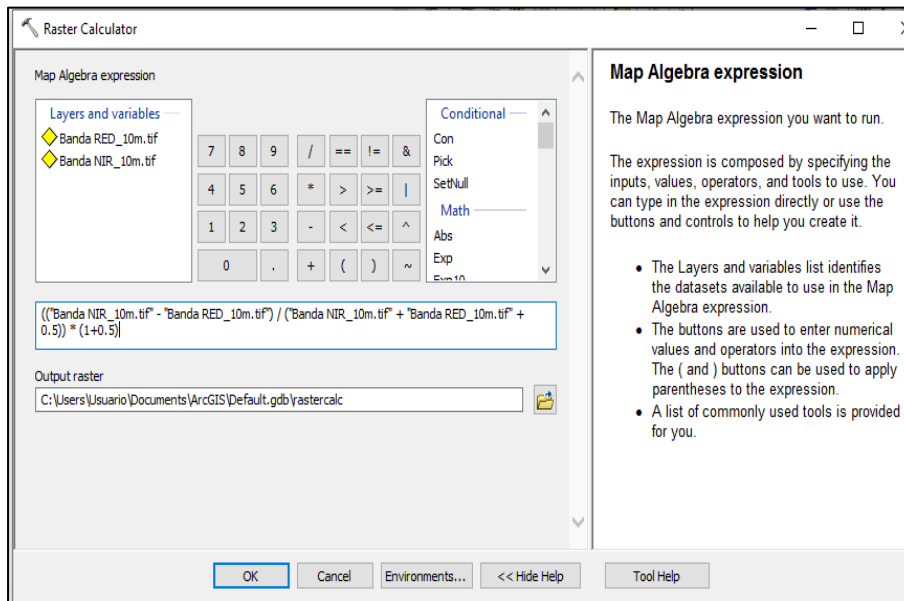
Para el cálculo del índice SAVI se utilizó la herramienta Ráster calculator, aplicando la siguiente ecuación:

$$SAVI = \left(\frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} \right) * (1 + L)$$

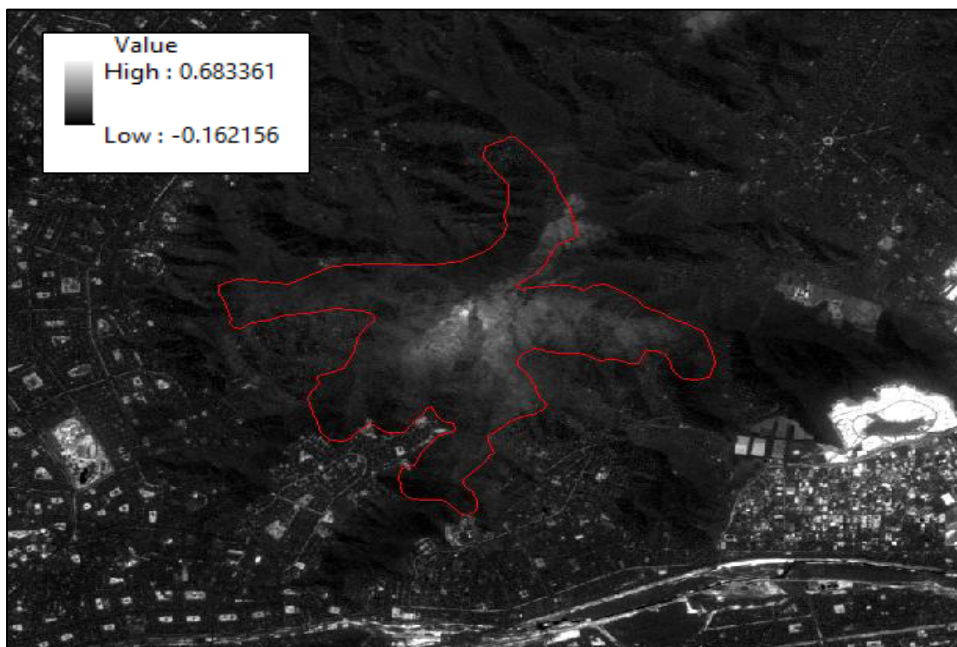
Donde NIR es la banda infrarrojo cercano, Rojo la banda roja y L el factor de corrección del efecto del suelo, cuyo valor fue establecido en 0,5.

Figura 53

Aplicación de la fórmula del índice SAVI en la herramienta Ráster calculator

**Figura 54**

Resultado del índice SAVI en el área de estudio



Nota. En la imagen se observa el resultado del índice SAVI y de color rojo el área el límite de Lomas de Mangomarca.

Una vez obtenido el ráster resultante del índice SAVI, se procedió a su reclasificación tomando como referencia la propuesta metodológica de Cartaya et al. (2014), la cual establece cinco clases: áreas no vegetales, tierra desnuda, vegetación dispersa, vegetación abierta y vegetación cerrada.

Sin embargo, al contrastar estos intervalos con la interpretación visual de la imagen en composición RGB del área de estudio, se evidenció que los valores originales no representaban con exactitud los componentes observados en las Lomas de Mangamarca. Por esta razón, se realizó un ajuste de los rangos del índice SAVI, adecuándose a las condiciones específicas del ecosistema local, con el apoyo de la herramienta Reclasifyfy.

Figura 55

Uso de herramienta Reclasifyfy para la adaptación de rangos del índice SAVI en Lomas de Mangamarca.

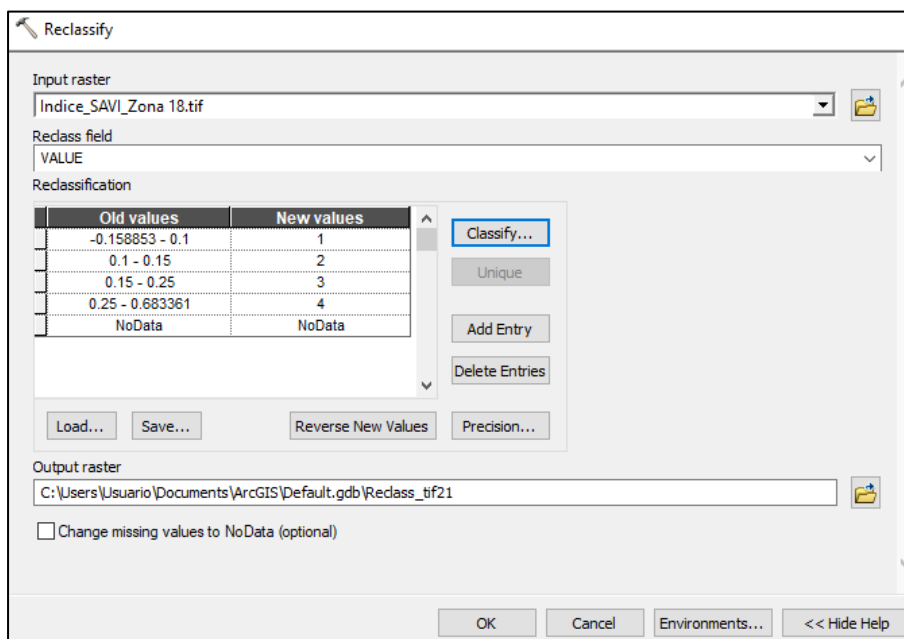


Tabla 17

Rangos del índice SAVI adaptados al ecosistema Lomas de Mangamarca

Clase	Rangos SAVI ajustados – Lomas de Mangamarca	Estado de salud de vegetación
1	-0,1 – 0,1	Suelo desnudo /sin vegetación
2	> 0,1 – 0,15	Vegetación rala o dispersa
3	> 0,15 – 0,25	Vegetación de cobertura media
4	> 0,25	Vegetación densa y saludable

Nota. La clasificación de referencia corresponde a Cartaya et al. (2014). Los rangos fueron ajustados para adecuarse a las condiciones del ecosistema de Lomas de Mangamarca.

Una vez clasificado los niveles del índice SAVI se procedió a vectorizar con la herramienta Raster to polygon obteniéndose el factor de vulnerabilidad estado de salud de la vegetación debidamente espacializado y vectorizado en una capa con 4 clases.

B. Procesamiento de modelo de elevación digital (DEM). El factor pendiente fue sistematizado a partir del procesamiento de DEM, por lo cual se descargó un modelo de elevación digital DEM ALOS PALSAR desde la plataforma ASF Data Search Vertex correspondiente al código ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940_RT1. Se seleccionó el productor Hi-Res Terrain Corrected (RTC), con resolución espacial de 12,5 m, el cual según NASA EarthData (2025) es un producto listo para el análisis ya que incluye correcciones geométricas y radiométricas, eliminando las distorsiones causadas por el barrido lateral del radar.

Figura 56

Descarga de DEM ALOS PALSAR (producto Hi-Res Terrain Corrected)

The screenshot shows the ASF Data Search Vertex interface. At the top, there is a search bar with 'ALOS PALSAR' entered. Below the search bar is a map showing a geographical area with a red polygon highlighting a specific region. The map includes a scale bar and a zoom control. Below the map, there is a list of search results. The entry 'ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940_RT1 - 273.02 MB Hi-Res Terrain Corrected' is highlighted with a red box. The interface also includes a 'Descargas' section with a list of files and their sizes, and a 'Limpiar' button at the bottom.

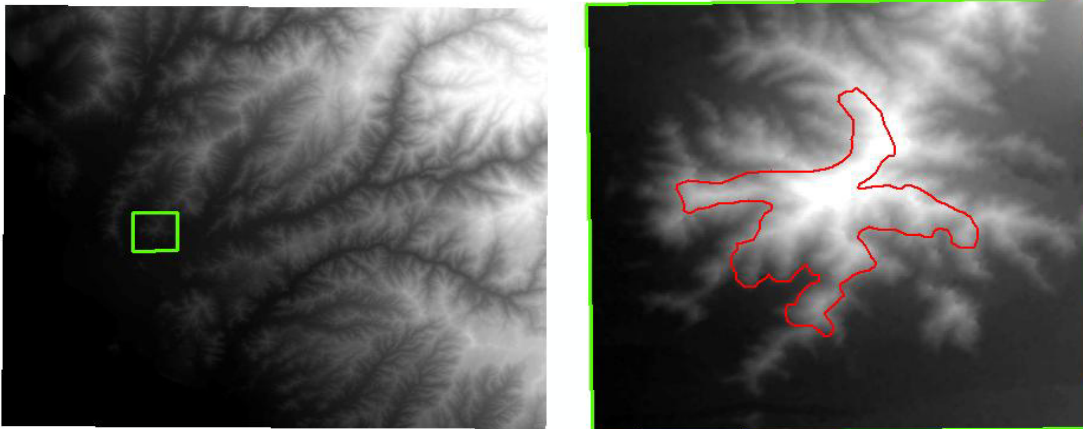
ID	Fecha	Acciones
ALPSRS275483850	March 27, 2011, 15:11:55Z	0/2
ALPSRS274753850	March 22, 2011, 15:05:35Z	0/2

ID	Tamaño	Producto	Acciones
ALPSRP272496940-L1	445.21 MB	Level 1.1 Complex	📄 ☁️ ✕
ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940_RT1	273.02 MB	Hi-Res Terrain Corrected	📄 ✓ ✕
ALPSRP272496940-L1	188.06 MB	Level 1.5 Image	📄 ☁️ ✕
ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940_RT2	53.71 MB	Low-Res Terrain Corrected	📄 ☁️ ✕
ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940	4.93 MB		📄 ☁️ ✕

El DEM fue llevado al software GIS y debido al tamaño amplio de la escena se procedió a generar un polígono que cubra el área de estudio para que facilite el análisis.

Figura 57

Escena de DEM ALOS PALSAR escogida

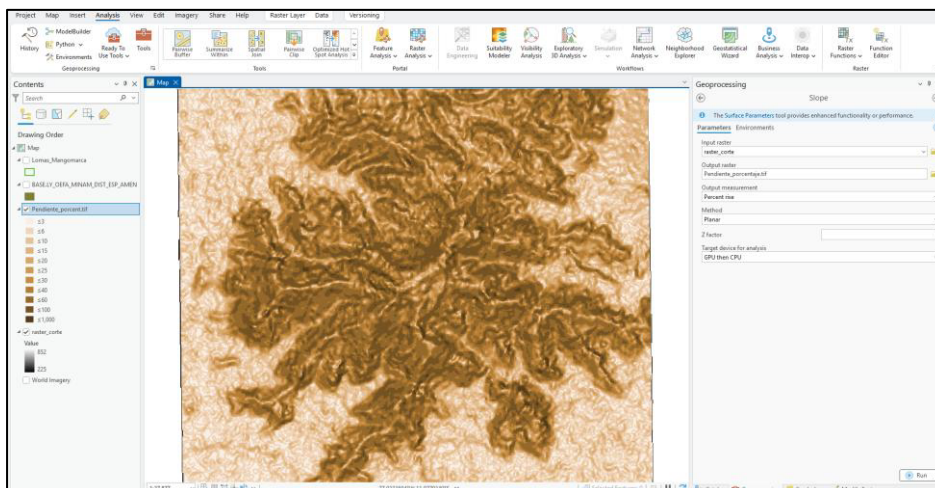


Nota. A la izquierda se observa la escena total del DEM ALOS PALSAR y a la derecha el corte realizado en base al área de estudio.

Luego, se usó la herramienta Slope la cual calcula la inclinación máxima de cambio de elevación entre cada celda del DEM y sus celdas vecinas inmediatas (ventana de 3x3), permitiendo obtener la pendiente del área de estudio en formato ráster, la cual posteriormente fue vectorizada.

Figura 58

Uso de herramienta Slope para determinar la pendiente en el área de estudio

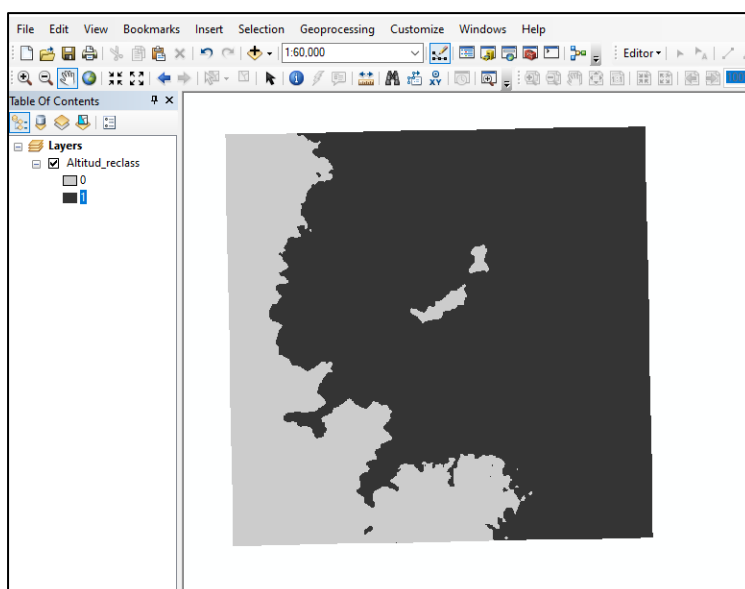


C. Procesamiento de DEM y modelos de geoprocamiento. El espacialización del factor potencial de captación de niebla fue elaborada a partir de la integración de la información de altitud, pendiente y orientación de laderas, obtenida mediante el procesamiento de un modelo de elevación digital. Para ello, se utilizó un DEM Alos Palsar (código ALPSRP272496940-AP_27249_FBS_F6940_RT1), correspondiente al producto Hi-Res Terrain Corrected (RTC), con una resolución espacial de 12,5 m, La integración de estos insumos se realizó mediante un modelo de geoprocamiento, que permitió generar la capa espacial del potencial de captación de niebla en el área de estudio.

- **Altitud:** Se adoptó el intervalo altitudinal 300-800 m.s.n.m., considerado como el rango de máxima condensación según Esenarro et al.(2025). Este umbral altitudinal se utilizó como criterio primario para filtrar el modelo digital de elevación y generar la máscara de potencial de niebla, que posteriormente se refinó mediante la incorporación de variables orográficas.

Figura 59

Identificación de zonas con altitud óptima para captación de niebla

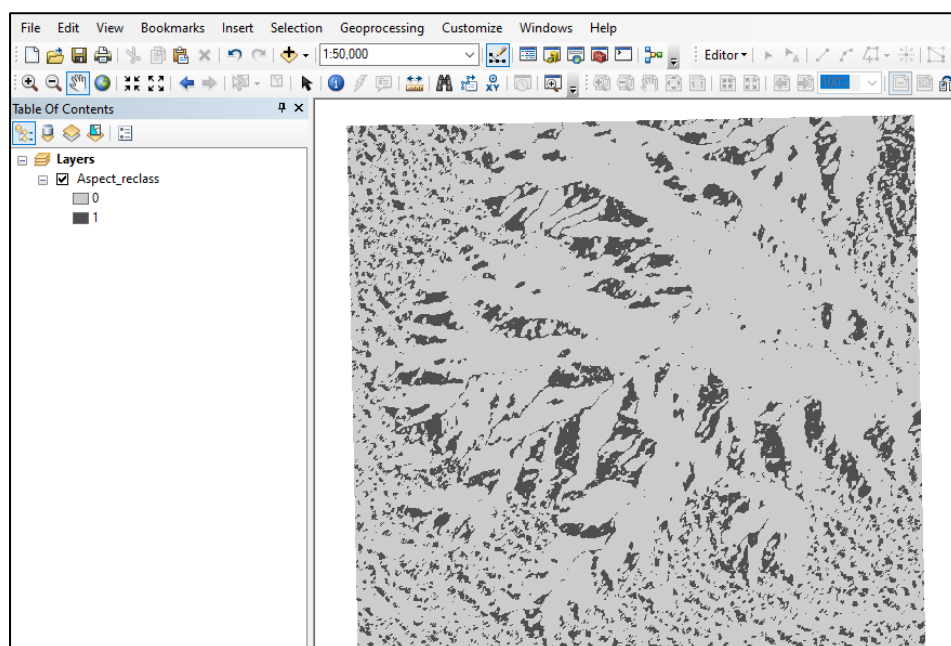


Nota. De color negro se muestra la zona con altitud óptima (300-800 m.s.n.m.) para potencial captación de niebla.

- Orientación de laderas: La orientación óptima para la captación de niebla en lomas de Lima se concentra en laderas suroeste y oeste, por su exposición directa a la advección de niebla desde el océano. Esenarro et al . (2025) identifican las laderas suroeste como las de mayor recepción de niebla. De manera complementaria, en el tilandsial de Piedra Campana ubicada en Lima, Aponte y Flores (2013) muestran mayores valores en parcelas orientadas al mar y evidencian máximos de actividad fenológica en la zona oeste, lo que respalda operativamente la inclusión de las orientaciones O y SO dentro del modelo de potencial captación de niebla en este estudio.

Figura 60

Identificación de orientación de ladera óptima para captación de niebla.



Nota. De color gris oscuro se muestra la zona con orientación óptima para potencial captación de niebla.

- Pendiente: García (2017) indica que las pendientes suaves o ligeramente ascendentes resultan más favorables para la captación de niebla. En cambio, las laderas muy empinadas o

los acantilados aumentan el componente vertical del viento, lo que disminuye la eficiencia del proceso.

Así también, la pendiente permite saber cuan inclinada es la ladera, lo cual influye en la forma en la que se deposita la niebla. Las laderas con pendientes suaves o moderadas favorecen un mejor depósito de agua de niebla y una mejor absorción en el suelo.

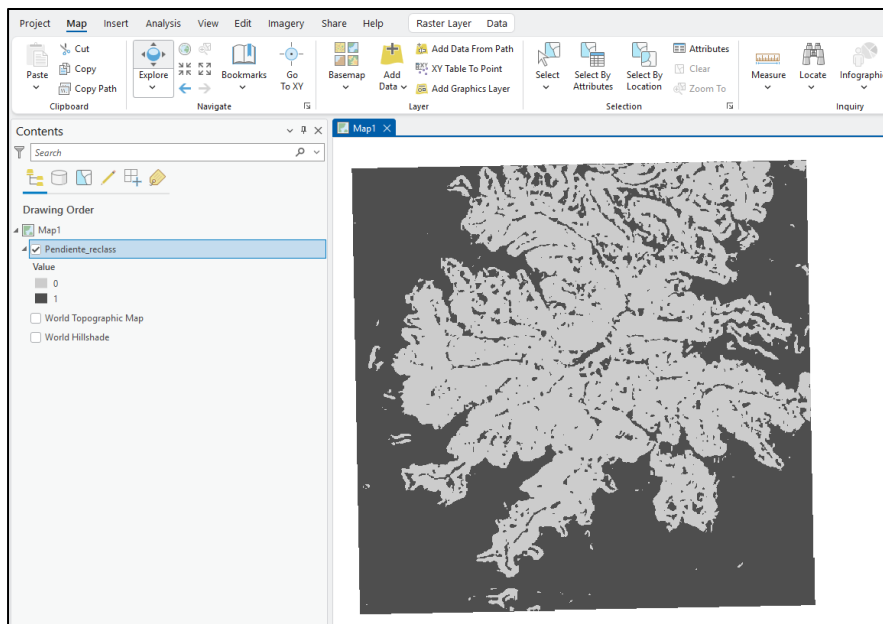
El Reglamento de Clasificación de Tierras por su capacidad de uso mayor de (MIDAGRI, 2022), clasifica las pendientes de la siguiente manera:

Tabla 18

Clasificación de pendiente según MIDAGRI (2022)

Pendiente (%)	Denominación
0 – 4	Plana a ligeramente inclinada
4 – 8	Moderadamente inclinada
8 - 15	Fuertemente inclinada
15 - 25	Moderadamente empinada
25 - 50	Empinada
50 - 75	Muy empinada
> 75	Extremadamente empinada

Debido a ello, se consideró como rango óptimo para captación de niebla a aquellas laderas con inclinaciones entre 0 % y 25, ya que considera a las pendientes planas y moderadamente empinadas.

Figura 61*Pendiente óptima para captación de niebla*

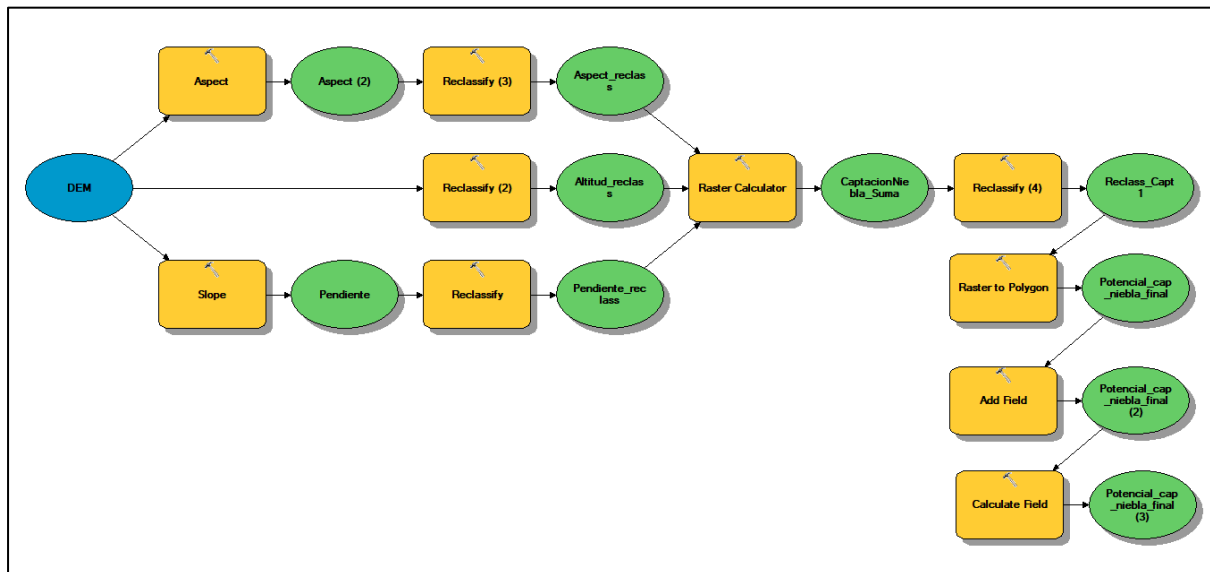
Nota. De color gris oscuro se muestra la zona con pendiente óptima para potencial captación de niebla.

Finalmente, las zonas con potencial de captación de niebla fueron determinadas a través de la implementación de un modelo de geoprocésamiento que integró los insumos de altitud, pendiente y orientación, derivadas de un modelo de elevación digital. Cada insumo del modelo fue reclasificado según los rangos óptimos identificados en la literatura, asignando el valor 1 a las condiciones favorables y 0 a las no favorables.

Posteriormente, las capas reclasificadas fueron superpuestas mediante una operación de suma de ráster, de modo que los valores resultantes reflejan la coincidencia espacial de condiciones propias para la condensación de niebla. Finalmente, el ráster obtenido fue reclasificado en cuatro clases de potencial (muy alto, alto, moderado y bajo), permitiendo representar gradualmente las áreas más aptas para la captación de niebla.

Figura 62

Modelo de geoprocresamiento para determinar zonas con potencial captación de niebla



3.6.2.3. Análisis de factores de vulnerabilidad

A. Análisis de factores de la dimensión ambiental. Se analizaron los factores de estado de salud de vegetación, potencial de captación de niebla y pendiente.

- Estado de salud de la vegetación: Una vez clasificado los niveles del índice SAVI, se procedió a su conversión de formato ráster a vector mediante la herramienta Raster to polygon, obteniéndose el factor de vulnerabilidad “estado de salud de la vegetación” debidamente espacializado. Este factor se estructuró en 4 clases, de acuerdo con su incidencia en la vulnerabilidad ambiental.

Las áreas con suelo desnudo o con escasa cobertura vegetal fueron consideradas de alta vulnerabilidad, debido a su menor capacidad de amortiguamiento frente a perturbaciones y su alta susceptibilidad a procesos de erosión o degradación por actividades humanas. Por el contrario, las zonas con vegetación densa y saludable fueron catalogadas como de baja vulnerabilidad, ya que presentan una mayor capacidad de resistencia y recuperación ante

peligros antrópicos, actuando como una barrera natural que estabiliza el suelo y mitiga los impactos.

Ver Anexo J (Mapa de distribución espacial de las clases del factor estado de salud de vegetación).

Tabla 19

Tabla de clases del factor estado de salud de la vegetación

Clase	Rangos SAVI ajustados	Nivel de incidencia en la vulnerabilidad	Puntaje
Suelo desnudo /sin vegetación	-0,1 – 0,1	Muy alta	4
Vegetación rala o dispersa	> 0,1 – 0,15	Alta	3
Vegetación de cobertura media	> 0,15 – 0,25	Moderada	2
Vegetación densa y saludable	> 0,25	Baja	1

Nota. La clasificación de referencia corresponde a Cartaya et al. (2014). Los rangos fueron ajustados para adecuarse a las condiciones del ecosistema de Lomas de Mangomarca.

- **Potencial captación de niebla:** El análisis de este factor se realizó mediante la integración de altitud, orientación y pendiente derivadas de un modelo de elevación digital (DEM Alos Palsar, 12,5 m). Cada variable fue reclasificada de acuerdo con los rangos óptimos identificados en la literatura, asignando valor 1 a las condiciones favorables y 0 a las no favorables. Posteriormente las capas fueron superpuestas mediante una operación de suma ráster, obteniéndose valores entre 0 y 3 que representan el grado de cumplimiento simultáneo de las condiciones óptimas. Dichos valores se reclasificaron en 4 clases (muy alto, alto, moderado y bajo) e interpretaron inversamente en términos de vulnerabilidad, considerando que las zonas con mayor potencial de captación de niebla presentan menor vulnerabilidad frente a la degradación del ecosistema.

Ver Anexo K (Mapa de distribución espacial de las clases del factor potencial de captación de niebla).

Tabla 20

Tabla de clases del factor potencial de captación de niebla

Clase	Justificación	Nivel de incidencia en la vulnerabilidad	Puntaje
Muy alto potencial de captación de niebla	Orientación, pendiente y altitud óptima. Máximo cumplimiento de condiciones topográficas favorables que potencian la condensación de niebla y disponibilidad de humedad.	Baja	1
Alto potencial de captación de niebla	Cumple 2 condiciones óptimas. Mantiene condiciones favorables parciales para la captación de niebla.	Moderada	2
Moderado potencial de captación de niebla	Presenta solo una condición favorable, limitando la retención de humedad y la capacidad de regeneración de vegetación	Alta	3
Bajo potencial de captación de niebla	No reúne condiciones topográficas propicias para la condensación de niebla.	Muy alta	4

- **Pendiente:** Para el análisis del factor pendiente dentro de la dimensión ambiental, se empleó la clasificación establecida en el Decreto Supremo N°005-2022-MIDAGRI, correspondiente al Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor, la cual fue adaptada en 4 clases con el fin de mantener uniformidad con la escala aplicada en los demás factores de vulnerabilidad.

Las pendientes más pronunciadas presentan mayor vulnerabilidad ambiental al asociarse con procesos erosivos, pérdida de suelo y menor capacidad de regeneración vegetal según Summers et al. (2018) y Gastauer et al. (2022). En cambio, las pendientes suaves fueron consideradas de baja vulnerabilidad, al ofrecer condiciones más estables para el mantenimiento y recuperación de la cobertura vegetal.

Ver Anexo L (Mapa de distribución espacial de las clases del factor pendiente).

Tabla 21

Tabla de clases del factor pendiente

Clase	Rangos de pendiente (%)	Nivel de incidencia en la vulnerabilidad	Puntaje
Pendientes bajas	0 - 8	Baja	1
Pendientes medias	>8 - 15	Moderada	2
Pendientes altas	>15 - 50	Alta	3
Pendientes muy altas	> 50	Muy alta	4

B. Análisis de factores de la dimensión cultural. Se analizó el único factor identificado en esta dimensión cultural.

- **Sitios arqueológicos:** Este factor considera la vulnerabilidad cultural asociada a los bienes patrimoniales presentes en Lomas de Mangamarca. Para su análisis se adoptó el esquema núcleo + zona de amortiguamiento, conforme a las Directrices Operacionales del Patrimonio Mundial (UNESCO, 2025), que recomiendan establecer buffers zone o zona de protección circundante para brindar una defensa adicional frente a presiones externas. Este enfoque también es reconocido por el Reglamento de Intervenciones Arqueológicas aprobado por el Decreto Supremo N°011-2022-MINCUL, que reconoce la necesidad de definir áreas de protección para gestión de bienes arqueológicos.

La definición de los rangos de distancia se basó en precedentes nacionales y observaciones locales. El anillo de 0-50 m se adoptó como cinturón de protección inmediato por analogía con la práctica operativa aplicable al Qhapac Ñam, que propone considerar un áreas de amortiguamiento no menor a 50 m a cada lado de sus bordes (MINCUL, 2023). Los anillos 50-100 m y 100-300 (o 100-200 m, según la proximidad urbana) fueron determinados considerando la presión antrópica observada en campo y a través de la cartografía obtenida.

Aunque el núcleo o área del sitio arqueológico cuenta con protección legal, constituye el sector más vulnerable frente a impactos directos como vandalismos e invasiones. En consecuencia, la vulnerabilidad disminuye progresivamente con la distancia al sitio.

Ver Anexo M (Mapa de distribución espacial de las clases del factor sitios arqueológicos).

Tabla 22

Tabla de clases del factor sitios arqueológicos

Clase	Distancia al borde del sitio arqueológico (m)	Descripción	Nivel de incidencia en la vulnerabilidad cultural	Puntaje
Área del sitio arqueológico	-	Área patrimonial reconocida oficialmente por su valor cultural.	Muy alta	4
Cinturón de amortiguamiento	0 – 50	Cualquier alteración genera pérdida directa. Franja de resguardo inmediato recomendado por el (MINCUL, 2022)	Alta	3
Franja próxima	>50 – 100	Área de contorno cercano donde persisten presiones antrópicas.	Moderada	2
Franja externa	>100 – 300 o >100 – 200	Zona periférica de influencia reducida o nula.	Baja	1

3.6.2.4. Asignación de pesos de factores de vulnerabilidad mediante AHP: La ponderación de los factores de vulnerabilidad se realizó mediante el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP), siguiendo la escala de Saaty, a partir de matrices de comparación pareada completadas por siete expertos. Se empleó la escala fundamental de Saaty (1, 3, 5, 7, 9 y sus recíprocos), que expresa la intensidad de preferencia de un factor sobre otro en términos de su contribución a la vulnerabilidad del ecosistema.

Cada experto evaluó, en primer lugar, los factores de la dimensión ambiental, completando una matriz pareada 3x3, de la cual se derivaron los pesos relativos mediante los cálculos de media geométrica, normalización y verificación de consistencia, según el procedimiento descrito por Saaty.

Tabla 23

Tabla de estructura de matriz pareada de factores de vulnerabilidad ambiental

	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla
Estado de salud de la vegetación	1		
Pendiente		1	
Potencial de captación de niebla			1

Nota. Las matrices son recíprocas y representan la unidad en la diagonal.

Una vez verificada la consistencia individual de los juicios, se integraron mediante el método de Agregación de Juicios Individuales (AIJ), tomando la media geométrica de los valores correspondientes en cada posición de la matriz, obteniendo así los pesos finales consensuados

En una segunda etapa, los expertos realizaron una matriz pareada de 2x2 para comparar la dimensión ambiental frente a la dimensión cultural, con el propósito de establecer su peso relativo dentro de la vulnerabilidad total del ecosistema.

Tabla 24

Tabla de estructura de matriz pareada de dimensiones de vulnerabilidad

Dimensión	Ambiental	Cultural
Ambiental	1	
Cultural		1

Nota. Las matrices son recíprocas y representan la unidad en la diagonal.

La obtención de los pesos, verificación de consistencia y la integración mediante AII siguieron el mismo procedimiento previamente descrito.

Los resultados de esta etapa permitieron establecer el peso global de cada dimensión, con lo cual se integraron los resultados parciales en la matriz final de vulnerabilidad del ecosistema Lomas de Mangamarca.

Las matrices elaboradas para determinar la vulnerabilidad del ecosistema se observan en el Anexo B y C.

3.6.2.5. Estimación de la vulnerabilidad

A. Estimación de vulnerabilidad ambiental. El modelo de geoprocesamiento utilizado para determinar la capa de vulnerabilidad ambiental se muestra en la Figura 62. Los insumos corresponden a las capas espaciales de potencial de captación de niebla, estado de salud de vegetación y pendiente del terreno, las cuales fueron clasificadas según su grado de incidencia en la vulnerabilidad del ecosistema de estudio.

Cada factor cuenta con su peso normalizado, obtenido a partir del juicio de expertos mediante la metodología Analytic Hierarchy Process (AHP). El modelo integra los factores mediante una operación precedida por la unión espacial de las capas, la depuración de campos no relevantes y la creación de un campo de resultados.

Matemáticamente, la vulnerabilidad ambiental se expresa como:

$$VA = (W_{EV} \times X_{EV}) + (W_P \times X_P) + (W_{PCN} \times X_{PCN})$$

Donde:

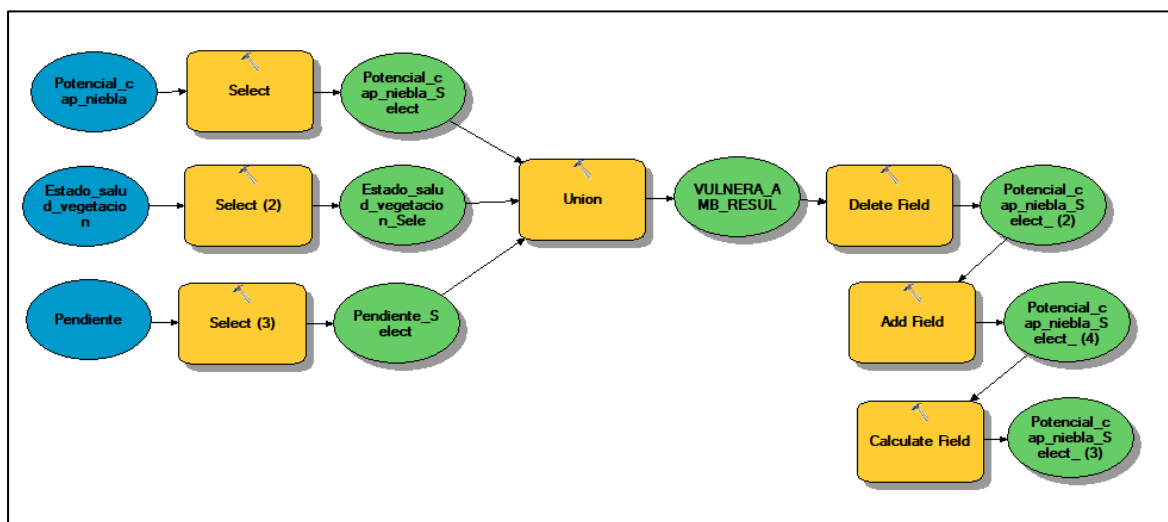
VA: Vulnerabilidad ambiental

W_{EV} , W_P , W_{PCN} : Pesos normalizados de cada factor (estado de salud de la vegetación, pendiente y potencial de captación de niebla, respectivamente).

X_{EV} , X_{EV} , W_{EV} : Valores de clase espacial (1 al 4) según su nivel de incidencia.

Figura 63

Modelo de geoprocresamiento para determinar la vulnerabilidad ambiental de Lomas de Mangomarca



B. Estimación de vulnerabilidad cultural. La vulnerabilidad cultural se determinó a partir de un único factor, correspondiente al valor cultural del ecosistema, el cual representa los sitios arqueológicos presentes en el área de estudio.

Dado que solo se consideró un factor dentro de esta estimación, su peso relativo se estableció en 1, pues representa el 100% de la contribución de la dimensión cultural a la vulnerabilidad del ecosistema.

El cálculo se expresa mediante la relación:

$$VC = (W_C \times X_C)$$

Donde:

VC: Vulnerabilidad cultural.

W_C: Pesos del factor cultural “sitios arqueológicos”.

X_c: Valor de clase espacial (1 al 4) según su nivel de incidencia.

C. Integración final de la vulnerabilidad del ecosistema. Finalmente, la vulnerabilidad final del ecosistema (V) se obtuvo mediante la integración ponderada de las dimensiones ambiental y cultural. Cada dimensión fue ponderada en función de su importancia relativa dentro del sistema de evaluación, determinada mediante la metodología AHP.

El modelo de geoprocesamiento combinó las capas de vulnerabilidad ambiental y cultural mediante una suma ponderada, generando la capa final de la vulnerabilidad del ecosistema, expresada como:

$$V = (W_A \times V_A) + (W_C \times V_C)$$

Donde:

V: Vulnerabilidad total del ecosistema.

W_A: Peso asignado a la dimensión ambiental.

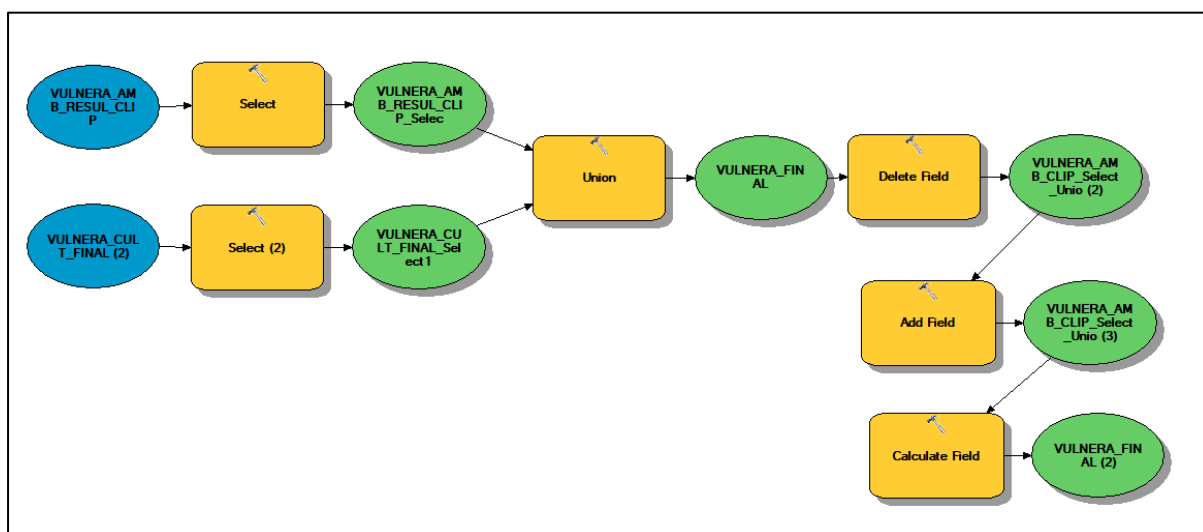
W_C: Peso asignado a la dimensión cultural.

V_A, V_C: Valores espaciales de vulnerabilidad ambiental y cultural.

En este estudio, los pesos derivados del análisis AHP fueron 0.80 para la dimensión ambiental y 0.20 para la dimensión cultural.

Figura 64

Modelo de geoprocresamiento para determinar la vulnerabilidad de Lomas de Mangamarca



Los niveles de vulnerabilidad fueron determinados a partir del método de Jenks, por su capacidad de agrupar valores similares y separar grupos distintos en distribuciones asimétricas, mejorando la legibilidad de “hotspots”.

3.6.3. Etapa 3: Estimación del riesgo ambiental

El modelo de geoprocresamiento empleado para determinar el riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca se desarrolló con el objetivo de integrar las capas resultantes de peligro y vulnerabilidad del ecosistema. Este modelo tuvo como finalidad estimar las zonas del territorio con mayor probabilidad de afectación ambiental frente a la presencia de factores antrópicos, considerando simultáneamente la exposición del ecosistema y su grado de susceptibilidad.

Ambas capas fueron previamente estandarizadas en una escala común y posteriormente combinadas mediante una suma ponderada, donde los pesos asignados a cada componente se determinaron a través del método Analytic Hierarchy Process (AHP). Según el juicio de expertos, se estableció una mayor influencia del peligro (0,76) frente a la vulnerabilidad (0,24),

lo cual refleja la predominancia de la intensidad de los factores antrópicos en la configuración del riesgo ambiental del área de estudio.

El cálculo matemático del riesgo ambiental se expresa como:

$$R = (W_p \times P) + (W_v \times V)$$

Donde:

R: Riesgo ambiental resultante.

W_p: Peso asignado al peligro (0,76).

W_v: Peso asignado a la vulnerabilidad (0,24).

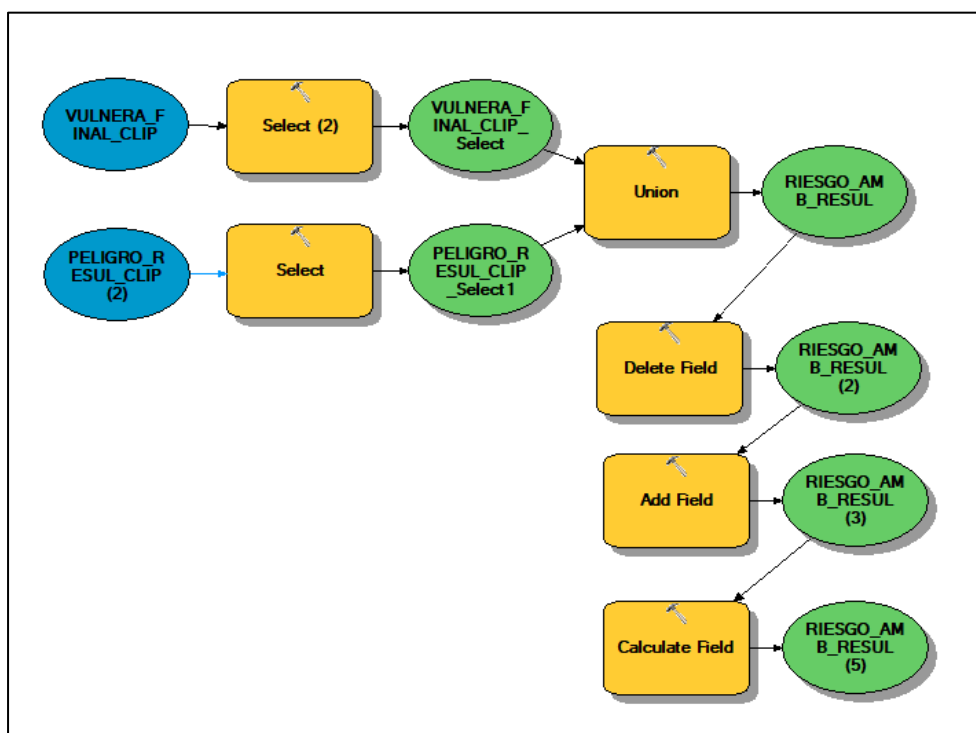
P: Valor espacial del peligro.

V: Valor espacial de la vulnerabilidad del ecosistema.

El resultado final fue una capa espacial del riesgo ambiental, cuyos valores se clasificaron en rangos de bajo, moderado, alto y muy alto mediante el método de rupturas naturales (Jenks), permitiendo identificar las zonas más críticas para la gestión ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca.

Figura 65

Modelo de geoprocésamiento para determinar el riesgo ambiental de Lomas de Mangamarca



3.6.4. Etapa 4: Planteamiento de mecanismos para reducir el riesgo ambiental

En esta etapa se formularon mecanismos orientados a disminuir los niveles de riesgo ambiental identificados en las Lomas de Mangamarca. Las propuestas se estructuraron según los factores de peligro antrópico evaluados (expansión urbana, infraestructura vial no planificada, minería no metálica, presión turística y residuos sólidos). Para cada factor se definieron objetivos específicos y medidas concretas que buscan prevenir, mitigar o corregir la afectación sobre el ecosistema, considerando su fragilidad ecológica y las condiciones actuales de ocupación y uso del territorio.

En el caso de la expansión urbana, se plantearon mecanismos de contención mediante la instalación de hitos, casetas de control y la implementación de programas de educación ambiental comunitaria, debido a que los resultados evidenciaron pérdida de cobertura vegetal y avance de nuevas ocupaciones informales en los límites del ecosistema. Para la

infraestructura vial no planificada, se planteó a evaluación ambiental previa de las vías existentes y la restricción vial no planificada, se planteó la evaluación ambiental previa de las vías existentes y el retiro progresivo de vías que favorezcan la expansión urbana hacia el interior del ecosistema.

Respecto a la minería no metálica, se definió la necesidad de acciones periódicas de fiscalización ambiental frente a zonas con canteras ilegales que favorecen la degradación mediante remoción del suelo. En relación con los residuos sólidos, se propusieron intervenciones diferenciadas según el ámbito afectado, que incluyen educación ambiental en las zonas pobladas, retiro de actividades incompatibles y fiscalización sanitaria, debido a la acumulación de residuos sólidos.

Para la presión turística, se establecieron mecanismos de gestión del uso recreativo, tales como la capacitación de pobladores para funciones de guardaloma, la implementación de voluntarios ambientales, la regulación del aforo, la señalización de senderos y la habilitación de zonas de uso restringido. Estas medidas responden a los sectores donde el análisis identificó mayor degradación por tránsito no controlado.

Finalmente, se incorporaron acciones de restauración y fortalecimiento de la resiliencia ecológica, como la revegetación con especies nativas en zonas degradadas y la protección de áreas con alto potencial de captación de niebla, elementos fundamentales para recuperar la funcionalidad ambiental del ecosistema.

En conjunto, esta etapa permitió convertir los resultados del modelo de riesgo en mecanismos operativos, priorizados y territorialmente focalizados, que orienten intervenciones concretas destinadas a disminuir las condiciones de riesgo ambiental en las Lomas de Mangomarca.

3.7. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó mediante la organización, depuración y tratamiento estadístico y espacial de las variables generadas en el modelo de geoprocésamiento. Los pasos principales incluyeron:

- Sistematización espacial de factores de peligro y vulnerabilidad de Lomas de Mangamarca, mediante imágenes de Google Earth, Imágenes satelitales Sentinel y DEM Alos Palsar y su respectiva estandarización de campos.
- Clasificación de clases espaciales para cada factor de peligro y vulnerabilidad, estableciendo criterios.
- Normalización de pesos obtenidos por AHP y aplicación de combinación lineal ponderada para generar mapas de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental.
- Clasificación de niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental mediante el método de rupturas naturales (Jenks) para obtener categorías cualitativas (bajo, moderado, alto y muy alto).
- Elaboración de tablas de áreas (ha) en los respectivos niveles de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental.

3.8. Consideraciones éticas

El presente estudio se desarrolló bajo los principios de ética ambiental y académica procurando minimizar cualquier impacto sobre el ecosistema Lomas de Mangamarca. Durante el recojo de información en campo, se evitó cualquier alteración de la flora, suelo o hábitat. Se utilizaron únicamente fuentes confiables, incluyendo imágenes satelitales, registros oficiales, estudios precedentes, citados correctamente según normas APA.

La totalidad del análisis y procesamiento de datos se realizó con transparencia, documentando fórmulas, ponderaciones y procedimientos, asegurando la reproducibilidad y la integridad científica del estudio.

Finalmente, el trabajo de investigación se realizó siguiendo las directrices académicas de la Universidad Nacional Federico Villarreal-UNFV para la elaboración de tesis de la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo-FIGAE.

IV. RESULTADOS

4.1. Factores de peligro en las Lomas de Mangamarca

Se identificaron cinco factores pertenecientes a la dimensión antrópica: expansión urbana, infraestructura vial no planificada, minería no metálica, presión turística y residuos sólidos. Cada factor fue ponderado mediante el método AHP, obteniéndose pesos normalizados que reflejan su contribución relativa en la generación del peligro (Tabla 25). La expansión urbana obtuvo el mayor peso (0,52), seguida de la infraestructura vial no planificada (0,28), lo que evidencia que ambos constituyen las presiones con mayor influencia sobre el ecosistema.

Tabla 25

Pesos de factores de peligro obtenidos mediante AHP

Factores de peligro	Peso
Expansión urbana	0,52
Infraestructura vial no planificada	0,28
Minería no metálica	0,11
Presión turística	0,05
Residuos sólidos	0,04
Suma	1,00

Asimismo, cada factor fue estructurado en clases según su nivel de incidencia en el peligro, expresado a través de distancias a áreas afectadas (Tabla 26). Los valores de clase se asignaron en una escala de 1 a 4, donde 4 representa la condición de mayor peligro. Esta clasificación permitió diferenciar la intensidad del impacto o posible afectación según proximidad a invasiones, vías informales, canteras, circuitos turísticos y focos de residuos.

Tabla 26*Clases asignadas a los factores de peligro*

Clases del factor expansión urbana		
Clase	Distancia a las invasiones (m)	Puntaje
Ocupación actual	-	4
Frente contiguo inmediato	0 - 50	3
Frente próximo	>50 - 150	2
Frente lejano	>150	1
Clases del factor infraestructura vial no planificada		
Clase	Distancia al borde de la vía (m)	Puntaje
Área ocupada por la vía	Huella de vía	4
Efecto de borde inmediato	0 – 10	3
Dentro del resguardo mínimo	>10 - 91	2
Fuera del resguardo mínimo	> 91	1
Clases del factor minería no metálica		
Clase	Distancia a cantera (m)	Puntaje
Área ocupada de la cantera	-	4
Borde inmediato de la cantera	0 - 100	3
Franja próxima	>100 – 300	2
Franja lejana	>300	1
Clases del factor presión turística		
Clase	Distancia a sendero formal (m)	Puntaje
Huella del circuito	-	4
Frente inmediato por pisoteo	0– 3	3
Frente cercano	3 - 100	2
Franja amortiguadora	>100 - 150	1
Clases del factor residuos sólidos		
Clase	Distancia al área directa del foco de residuos (m)	Puntaje
Área directa del foco de residuos	-	4
Borde inmediato	0-30	3
Franja próxima	>30 -70	2
Franja lejana	> 70	1

Posteriormente, los valores de clase y los pesos AHP fueron integrados mediante combinación lineal ponderada, obteniéndose un valor numérico del peligro (donde 0 significa peligro bajo y 4 peligro muy alto), que se clasificó en cuatro niveles (bajo, moderado, alto y muy alto) mediante el método de rupturas naturales (Jenks).

El mapa resultante (Ver Anexo N) muestra la distribución espacial del peligro, identificando las áreas con mayor concentración de presiones antrópicas. Para complementar la información espacial, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 27) que indica la superficie (ha) y el porcentaje del total de cada nivel de peligro, facilitando la cuantificación de las zonas críticas y la planificación de medidas de control.

Tabla 27

Superficie según nivel de peligro (ha)

Nivel	Área (ha)	%
Muy alto	15,90	3,08
Alto	110,92	21,49
Moderado	174,36	33,78
Bajo	214,92	41,65
Total	516,10	100,00

4.2. Factores de la vulnerabilidad de las Lomas de Mangamarca

La vulnerabilidad del ecosistema de las Lomas de Mangamarca fue determinada a partir de dos dimensiones: ambiental y cultural. La dimensión ambiental incluyó tres factores (estado de salud de la vegetación, potencial de captación de niebla y pendiente del terreno), mientras que la dimensión cultural estuvo representada por la presencia de sitios arqueológicos. Cada factor fue ponderado mediante el método AHP, obteniéndose pesos normalizados que reflejan su contribución relativa dentro de su correspondiente dimensión (Tablas 28 y 29).

En la dimensión ambiental, el estado de salud de la vegetación obtuvo el mayor peso (0,44), seguido del potencial de captación de niebla (0,42), lo que indica que ambos constituyen los elementos que más influyen en la susceptibilidad del ecosistema. En la dimensión cultural, los sitios arqueológicos alcanzaron un peso de 1,00 al tratarse de un único factor.

Tabla 28*Pesos de factores de vulnerabilidad ambiental obtenidos mediante AHP*

Factores de vulnerabilidad ambiental	Peso
Estado de salud de la vegetación	0,44
Potencial de captación de niebla	0,42
Pendiente	0,14
Suma	1,00

Tabla 29*Pesos de factores de vulnerabilidad cultural*

Factores de vulnerabilidad cultural	Peso
Sitios arqueológicos	1,00
Suma	1,00

Finalmente, las dimensiones ambiental y cultural fueron integradas mediante un segundo proceso AHP, obteniéndose pesos de 0,80 y 0,20, respectivamente (Tabla 30), lo cual evidencia que la vulnerabilidad está dominada principalmente por aspectos ambientales sin dejar de considerar la importancia patrimonial del territorio.

Tabla 30*Pesos de dimensiones de vulnerabilidad obtenidos mediante AHP*

Dimensiones de vulnerabilidad	Peso
Ambiental	0,80
Cultural	0,20
Suma	1,00

Asimismo, cada factor fue estructurado en clases según su nivel de incidencia en la vulnerabilidad (Tabla 31). Los valores de clase se asignaron en una escala de 1 a 4, donde 4 representa la condición de mayor vulnerabilidad, permitiendo diferenciar la susceptibilidad del ecosistema según intensidad de cada factor.

Tabla 31*Clases asignadas a los factores de vulnerabilidad*

Clases del factor estado de salud de la vegetación		
Clase	Rangos SAVI ajustados)	Puntaje
Suelo desnudo /sin vegetación	-0,1 – 0,1	4
Vegetación rala o dispersa	> 0,1 – 0,15	3
Vegetación de cobertura media	> 0,15 – 0,25	2
Vegetación densa y saludable	> 0,25	1
Clases del factor pendiente		
Clase	Rangos de pendiente (%)	Puntaje
Pendientes bajas	0 - 8	1
Pendientes medias	>8 - 15	2
Pendientes altas	>15 - 50	3
Pendientes muy altas	> 50	4
Clases del factor potencial de captación de niebla		
Clase	Nivel de incidencia en la vulnerabilidad	Puntaje
Muy alto potencial de captación de niebla	Baja	1
Alto potencial de captación de niebla	Moderada	2
Moderado potencial de captación de niebla	Alta	3
Bajo potencial de captación de niebla	Muy alta	4
Clases del factor sitios arqueológicos		
Clase	Distancia al borde del sitio arqueológico (m)	Puntaje
Área del sitio arqueológico	-	4
Cinturón de amortiguamiento	0 – 50	3
Franja próxima	>50 – 100	2
Franja externa	>100 – 300 o >100 – 200	1

Los valores de las capas de vulnerabilidad fueron integrados mediante combinación lineal ponderada, obteniéndose un valor de vulnerabilidad a nivel del ecosistema. Posteriormente, este valor fue clasificado en cuatro niveles (bajo, moderado, alto y muy alto) utilizando el método de rupturas naturales (Jenks), con el fin de facilitar la interpretación y distinguir las zonas más sensibles del territorio.

El mapa resultante (Ver Anexo Ñ) muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad, evidenciando las áreas más sensibles del ecosistema. Para complementar la información espacial, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 32) con la superficie (ha) y porcentaje del total de cada nivel de vulnerabilidad, lo que permite identificar las zonas críticas para la gestión ambiental.

Tabla 32

Superficie según nivel de vulnerabilidad (ha)

Nivel	Área (ha)	%
Muy alto	112,61	21,82
Alto	312,41	60,53
Moderado	84,45	16,36
Bajo	6,64	1,29
Total	516,10	100,00

4.3. Nivel de riesgo ambiental en las Lomas de Mangamarca

El riesgo ambiental se calculó integrando el nivel de peligro y a vulnerabilidad del ecosistema, ponderadas según los valores obtenidos mediante AHP (Peligro =0,76 y vulnerabilidad = 0,24). La combinación lineal ponderada permitió obtener los valores numéricos del riesgo ambiental, el cual fue clasificado en cuatro niveles (bajo, moderado, alto y muy alto) mediante el método de rupturas naturales (Jenks), para facilitar la interpretación y la planificación de medidas de mitigación.

Tabla 33

Pesos de peligro y vulnerabilidad obtenidos mediante AHP

Análisis	Peso
Peligro	0,76
Vulnerabilidad	0,24
Suma	1,00

El mapa resultante (Ver Anexo O) evidencia la distribución espacial del riesgo ambiental, destacando las áreas más expuestas a impactos antrópicos y con menor capacidad de resiliencia. Para complementar la información espacial, se elaboró un cuadro resumen (Tabla 34) indicando la superficie (ha) y el porcentaje del total de cada nivel de riesgo ambiental, permitiendo identificar las zonas prioritarias para la gestión ambiental.

Tabla 34

Superficie según nivel de riesgo ambiental(ha)

Nivel	Área (ha)	%
Muy alto	27,72	5,37
Alto	98,78	19,14
Moderado	125,61	24,34
Bajo	263,98	51,15
Total	516,10	100,00

4.4. Mecanismos para reducir el riesgo ambiental en Lomas de Mangamarca

Dado que los valores del riesgo ambiental resultaron fuertemente influenciados por el componente de peligro (peso AHP: peligro=0,76; vulnerabilidad = 0,24), las medidas prioritarias se orientan a la reducción de las presiones antrópicas identificadas como principales impulsores del riesgo en Lomas de Mangamarca. Adicionalmente, se incluyen acciones de restauración y fortalecimiento de la resiliencia en sectores con alta vulnerabilidad, aunque hayan tenido menor incidencia en el cálculo de riesgo ambiental.

Tabla 35

Matriz de propuestas

Factor	Objetivo específico	Medida propuesta
Expansión urbana	Contener la pérdida de cobertura y la fragmentación.	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de hitos y casetas de control para salvaguardar los límites establecidos por SERFOR. • Educación ambiental para implementación de barreras comunitarias y evitar futuras invasiones. • Retiro progresivo de vías que facilitan la expansión urbana hacia el interior del ecosistema, priorizando aquellas que generan fragmentación.
Infraestructura vial no planificada	Minimizar la erosión y fragmentación por vías.	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación estricta previa: Cada vía que se mantenga debe tener un estudio ambiental completo que justifique su permanencia.
Minería no metálica	Eliminar la extracción ilegal y reducir impactos de canteras.	<ul style="list-style-type: none"> • Fiscalización periódica y clausura de sitios ilegales, mediante trabajo articulado de OEFA, SERFOR y la Policía Nacional del Perú (PNP).
Residuos sólidos	Reducir contaminación local.	<p>AA.HH Los Sauces: Programa de educación ambiental.</p> <p>Quebrada Viscachera: Desalojo de la invasión del criadero de cerdos. Fiscalización periódica por parte de SENASA y DIGESA.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Programa de capacitación a pobladores aledaños para ejercer funciones remuneradas de guardaloma. • Programa de voluntariados ambientales en alianza estratégica con universidades.
Presión turística	Evitar degradación por uso recreativo no regulado.	<ul style="list-style-type: none"> • Implementar zonas de uso restringido. • Repotenciar la señalización y senderos turísticos. • Regulación de aforo mediante programa de turismo sostenible.
Restauración y resiliencia	Aumentar capacidad de recuperación	<ul style="list-style-type: none"> • Programa de revegetación con especies nativas en áreas degradadas. • Protección de zonas con alto potencial de captación de niebla.
Sitios arqueológicos	Conservar el patrimonio cultural	<ul style="list-style-type: none"> • Determinar zona de amortiguamiento a los sitios arqueológicos. • Señalización y control de acceso. • Sensibilización comunitaria.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La presente investigación tuvo como propósito determinar el nivel de riesgo ambiental del ecosistema Lomas de Mangamarca, integrando el método de Análisis Jerárquico de Procesos (AHP) y los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para evaluar de manera ponderada los factores de peligro antrópico y las condiciones de vulnerabilidad del ecosistema. La metodología permitió jerarquizar los factores de acuerdo con su influencia relativa y representar espacialmente las zonas críticas, en concordancia con las tendencias metodológicas observadas en estudios nacionales e internacionales que aplican enfoques multicriterio asistidos por SIG para la gestión del riesgo ambiental.

A nivel internacional, los estudios de Cruz y Rodríguez (2024) y Oshneck et al. (2024) demuestran la efectividad del análisis multicriterio combinado con SIG en la delimitación de áreas de riesgo. Ambos integran múltiples capas temáticas con ponderaciones específicas según la importancia de cada variable, procedimiento metodológico que guarda similitud con el aplicado en esta investigación. En el caso de Cruz y Rodríguez, el riesgo por inundación fue determinado mediante la superposición ponderada de factores como pendiente, drenaje, precipitación, mientras que Oshneck priorizó factores climáticos y edáficos en la evaluación de riesgo de sequía utilizando el AHP. En ambos casos, el uso de este método permitió estructurar jerárquicamente los criterios y asignar pesos cuantitativos basados en el juicio de experto, coincidiendo con el proceso aplicado en Mangamarca.

No obstante, una diferencia relevante radica en la naturaleza de los factores analizados. Mientras los estudios internacionales se enfocaron principalmente en componentes de origen natural (precipitación, suelo, viento, temperatura), este trabajo aborda factores antrópicos que reflejan presiones directas sobre el ecosistema, como la minería no metálica, la expansión urbana, vías no planificadas, residuos sólidos y presión turística. Esta diferencia constituye un

aporte significativo, al aplicar el modelo AHP-SIG en un contexto árido-costero donde predominan las presiones humanas, un escenario poco explorado en la literatura internacional.

En el contexto nacional, los estudios de Jaramillo (2022) y Loayza y Mamani (2021) presentan coincidencias metodológicas con la presente investigación, al aplicar el método AHP y los SIG para la evaluación del riesgo ambiental y la localización de áreas críticas. Jaramillo (2022) determinó el riesgo ambiental en el distrito de Chala a partir de factores de peligro relacionados a la disponibilidad de agua potable, alcantarillado, red eléctrica, entre otros, los cuales fueron estandarizados mediante lógica difusa y ponderados con AHP para reflejar su relevancia en la configuración espacial del riesgo, generando una zonificación diferenciada. De manera semejante, en Mangamarca se aplicó la superposición ponderada de capas vectoriales para identificar sectores con distintos niveles de riesgo ambiental, integrando criterios de presión antrópica y de vulnerabilidad del ecosistema.

En el caso de Lomas de Mangamarca, las zonas críticas de riesgo ambiental (niveles alto y muy alto) representan aproximadamente el 25% del área total, concentrándose cerca de canteras, vías no planificadas y zonas de expansión urbana donde se registran las mayores presiones antrópicas. Si bien el análisis integró tanto los factores de peligro como de vulnerabilidad, la ponderación final otorgó mayor influencia al peligro (0,76) frente a la vulnerabilidad (0,24), debido al carácter activo y transformador del peligro, mientras que la vulnerabilidad actúa como un componente pasivo el cual condiciona la capacidad de respuesta del ecosistema. Esto explica la similitud espacial entre el mapa de riesgo ambiental y el de peligro. No obstante, la vulnerabilidad permitió refinar la delimitación de áreas sensibles desde una perspectiva ambiental y cultural.

Finalmente, la aplicación del modelo AHP-SIG permitió jerarquizar factores y representar la criticidad territorial, constituyendo una herramienta técnica útil para la gestión ambiental y la planificación sostenible en ecosistemas áridos-costeros.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. El riesgo ambiental determinado en las Lomas de Mangamarca evidencia una distribución espacial heterogénea, donde el 51,15 % del área corresponde a riesgo bajo, el 24,34 % a riesgo moderado, el 19,14 % a riesgo alto y el 5,37 % a riesgo muy alto. Las zonas clasificadas con riesgo alto y muy alto (24,51 %) se localizan principalmente en sectores afectados por expansión urbana, canteras de minería no metálica y vías no planificadas. Asimismo, el análisis integrado mediante AHP-SIG permitió identificar que el componente de peligro ejerce una influencia predominante (0,76) sobre la vulnerabilidad (0,24), evidenciando la fuerte incidencia de las presiones antrópicas en la configuración del riesgo ambiental del ecosistema.
- 6.2. El análisis de peligro determinó que el 41,64 % del área presenta un nivel bajo, el 33,78 % un nivel moderado, el 21,49 % un nivel alto y el 3,08 % un nivel muy alto. Los niveles alto y muy alto (24,57 % del área total) se concentran principalmente en sectores afectados por expansión urbana, infraestructura vial no planificada y minería no metálica. Asimismo, los factores con mayor influencia fueron la expansión urbana (0,52) y la infraestructura vial no planificada (0,28), seguidos por la minería no metálica (0,11), la presión turística (0,05) y los residuos sólidos (0,04). Estos resultados evidencian que el peligro ambiental se encuentra asociado principalmente a procesos antrópicos activos y transformadores del territorio vinculados al crecimiento urbano desordenado y a las actividades extractivas.
- 6.3. El análisis de vulnerabilidad determinó que el 1,29 % del área presenta un nivel bajo, el 16,36 % un nivel moderado, el 60,53 % un nivel alto y el 21,82 % un nivel muy alto. Los niveles alto y muy alto, que representan el 82,35 % del área de estudio, se concentran principalmente en sectores con escasa cobertura vegetal, pendientes pronunciadas y bajo potencial de captación de niebla, así como en áreas arqueológicas expuestas a presiones antrópicas. Asimismo, la dimensión ambiental presentó la mayor influencia en la

vulnerabilidad del ecosistema (0,80), mientras que la dimensión cultural (0,20) complementó el análisis al incorporar el valor patrimonial de los sitios arqueológicos presentes en las Lomas de Mangamarca.

- 6.4. La integración ponderada del peligro y la vulnerabilidad permitió estimar el riesgo ambiental total, obteniéndose una distribución de 51,15 % de riesgo bajo, 24,34 % de riesgo moderado, 19,14 % de riesgo alto y 5,37 % de riesgo muy alto. Los niveles alto y muy alto (24,51 % del área total) resultan de la coincidencia espacial entre mayores presiones antrópicas y las condiciones ecológicas más frágiles, validando la coherencia del modelo AHP-SIG. El mayor peso asignado al peligro (0,76) responde a su carácter activo y transformador, mientras que la vulnerabilidad actúa como componente pasivo el cual condiciona la capacidad de respuesta del ecosistema frente a peligros.
- 6.5. Las medidas prioritarias para reducir el riesgo ambiental deben centrarse en la gestión de los factores de peligro más incidentes: expansión urbana e infraestructura vial no planificada. Es así que, se propone complementar estas acciones con programas de restauración ecológica y fortalecimiento de la resiliencia, que incluyan la instalación de hitos y casetas de control para salvaguardar los límites establecidos por SERFOR, programas de educación ambiental para promover barreras comunitarias y prevenir futuras invasiones, revegetación con especies nativas en taludes degradados, evaluación estricta y uso restringido de vías, así como el control y señalización de senderos turísticos y la fiscalización de áreas invadidas, especialmente aquellas afectadas por la acumulación de residuos sólidos y actividades informales como minería no metálica y criadero de cerdos.

VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Realizar monitoreos para la actualización de la información espacial con frecuencia semestral o anual, priorizando las zonas con riesgo ambiental alto y muy alto y donde coinciden la expansión urbana, vías informales y canteras. Estos monitoreos deben incluir la verificación de nuevos frentes de invasiones, ampliación de canteras y apertura de caminos, con el fin de activar intervenciones tempranas.
- 7.2. Implementar mecanismos de control territorial específicos para los factores de mayor peso, tales como: instalación de hitos, casetas de vigilancia, retiro progresivo de vías, señalización oficial del perímetro autorizado, fiscalización conjunta para clausura de canteras y programas de ordenamiento y limpieza de puntos críticos de residuos sólidos.
- 7.3. Implementar programas de restauración ecológica, mediante revegetación con especies nativas, manejo de pendientes y protección de áreas con potencial de captación de niebla. Paralelamente, establecer zonas de amortiguamiento a las áreas de los sitios arqueológicos para asegurar la protección cultural, incluyendo señalización, control de acceso y sensibilización comunitaria.
- 7.4. Realizar revisiones periódicas del modelo AHP-SIG, ajustando los pesos y criterios según los cambios en las presiones antrópicas o en las condiciones de vulnerabilidad, para garantizar que las estimaciones de peligro, vulnerabilidad y riesgo ambiental reflejen de manera precisa la dinámica del ecosistema y continúen siendo una herramienta confiable para la toma de decisiones.

VIII. REFERENCIAS

- Alomía, C. (5 de abril de 2023). SJL: denuncian que traficantes de terreno invadieron 400 hectáreas de lomas de Mangamarca. *La República*. <https://larepublica.pe/sociedad/2023/04/05/sjl-denuncian-que-trafficantes-de-terreno-invadieron-400-hectareas-de-lomas-de-mangamarca-142010>
- Aponte, H. y Flores, J. (2013). Densidad y distribución espacial de *Tillandsia latifolia* en el Tillandsial de Piedra Campana (Lima, Perú). *Ecología Aplicada*, 12(1), 35-43. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9601873>
- Arakaki, M., Arana, C., Cano, A., Faundez, L., Gardner, M., Hechenleiter, J. H. y Whaley, O. (2021). Seeing through the clouds – Mapping desert fog oasis ecosystems using 20 years of MODIS imagery over Peru and Chile. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102468>
- Arana, C. y Salinas, L. (2007). Fragilidad de los ecosistemas de lomas costeras del Perú central. *Dilloniana*, 5(1), 32-35. <https://www.researchgate.net/publication/308947903>
- Asociación Española de Normalización [UNE]. (2008). *Análisis y evaluación del riesgo ambiental*. AENOR. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0040747>
- Bedoya, J. y Herrera, Y. (2021). *Identificación y evaluación de riesgos ambientales generados por las actividades de laboratorios en la Universidad Santo Tomás-Sede Villavicencio-Aguas Claras*. [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. Repositorio Institucional USTA. <http://hdl.handle.net/11634/35275>
- Bose, A., Bera, D., Roy, I., Saha, N., y Roy, S. (2021). Urban waterlogging risk as an undervalued environmental challenge: An integrated MCDA-GIS based modeling

approach. *Environmental Challenges*, 4, 100194.
<https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100194>

Canova, C. y Sánchez, J. (2023). *Evaluación del riesgo ambiental generado por el derrame de petróleo ocurrido en el litoral marino costero de Ventanilla - Callao 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN.
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/35025>

Carhuaz, L. y Olarte, E. (2021). *Evaluación de riesgos ambientales en la laguna de Paca debido a las descargas de las aguas residuales - Jauja 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/10526>

Cartaya, S., Zurita, S., Rodríguez, E. y Montalvo, V. (2014). Comparación de técnicas para determinar cobertura vegetal y usos de la tierra en áreas de interés ecológico, Manabí, Ecuador. *Revista UD y la Geomática*, 5-11. <https://doi.org/10.14483/23448407.7883>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED]. (2015). *Manual para la evaluación de riesgos originados por fenómenos naturales*. Lima: Autor. https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

Centro Nacional de Planeamiento Estratégico [CEPLAN]. (2022). *Modernización y ampliación de la infraestructura vial*. Observatorio CEPLAN.
https://observatorio.ceplan.gob.pe/ficha/o4_moq

Comisión Económica para América Latina y el Caribe [CEPAL]. (2001). *Vulnerabilidad y medio ambiente*. Santiago de Chile: Autor.
https://www.buyteknet.info/fileshare/data/ana_pla_sis_amb/Vul_medio%20ambiente.pdf

- Cruz, C. y Rodríguez, L. (2024). *Aplicación de análisis multicriterio para la determinación del riesgo por inundación utilizando el software ArcGIS Pro, en el municipio de Ibagué, Tolima*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65439>
- Delgado, J., Arroyo, N., Arévalo, J., y Fernández-Palacios, J. (2007). Efectos de borde de las carreteras sobre la temperatura, la luz, la cobertura y la altura del dosel en bosques de laurisilva y pino (Tenerife, Islas Canarias). *Landscape and Urban Planning*, 81(4), 328–340. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.01.005>
- Departamento Nacional de Planeación. (2017). *Innovación - Expansión urbana ordenada (Kit de ordenamiento territorial VI.0)*. <https://portalterritorial.dnp.gov.co/KitOT/Content/uploads/Cartilla%20Expansion.pdf>
- El Comercio. (16 de febrero de 2021). *SJL: La destrucción de las lomas de Mangamarca en imágenes*. El Comercio. <https://elcomercio.pe/lima/sjl-la-destruccion-de-las-lomas-de-mangamarca-en-imagenes-municipalidad-de-lima-municipalidad-de-san-juan-de-lurigancho-noticia/>
- El Peruano. (31 de enero de 2021). Las lomas son los últimos pulmones verdes de las ciudades costeras. *El Peruano*. <https://www.elperuano.pe/noticia/114446-las-lomas-son-los-ultimos-pulmones-verdes-de-las-ciudades-costeras>
- EOS Data Analytics. (7 de noviembre de 2023). *Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI)*. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndwi/>
- EOS Data Analytics. (7 de noviembre de 2023). *NDMI: Índice de Humedad de Diferencia Normalizada*. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndmi/>

- Environmental Protection Agency [EPA]. (26 de septiembre de 2024). *Criteria for the definition of solid waste and solid and hazardous waste exclusions*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/hw/criteria-definition-solid-waste-and-solid-and-hazardous-waste-exclusions>
- Esenarro, D., Vásquez, P., Ramos, P., Acosta, A. y Gutierrez, L. (2025). Green belt as a strategy to counter urban expansion in Lomas del Paraíso, Lima—Peru. *Forests*, 16(8), 1-37. <https://doi.org/10.3390/f16081310>
- European Space Agency. (2016). *Sentinel-2 Level 2A product definition document*. <https://step.esa.int/thirdparties/sen2cor/2.3.1/%5BL2A-PDD%5D%20S2-PDGS-MPC-L2A-PDD%20%5B14.2%5D.pdf>
- Figuroa, M. (2011). *Evaluación preliminar de riesgos medioambientales de faenas mineras abandonadas/paralizadas mediante SIG en la II región de Antofagasta, Chile*. [Tesis de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/100401>
- García, F. (16 de septiembre de 2020). *Lomas costeras: Un paraíso por proteger*. Clima de Cambios PUCP. <https://www.pucp.edu.pe/climadecambios/noticias/lomas-costeras-un-paraiso-por-proteger/>
- Gastauer, M., Capichoni, J., Junio, S., Souza, R., Boaneres, D., Frois, C. y Godinho, P. (2022). Revegetación en laderas tropicales empinadas tras proyectos mineros y de infraestructura: retos y soluciones. *Sustainability*, 14(24). <https://doi.org/10.3390/su142417003>
- Jaramillo, J. (2022). *Evaluación del riesgo ambiental en el marco del ordenamiento territorial en Chala - Arequipa*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5837>

- Jeehwan, B., y Ryu, Y. (2021). The magnitude and causes of edge effects on soil organic carbon stocks within and across urban to rural forest patches. *Landscape and Urban Planning*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104223>
- Kostrakiewicz, K., Gmyrek, K. y Pliszko, A. (2022). The effect of the distance from a path on abiotic conditions and vascular plant species in the undergrowth of urban forests and parks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9). <https://doi.org/10.3390/ijerph19095621>
- Krejčí, J. y Stoklasa, J. (2018). Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean. *Expert Systems with Applications*, 114, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.060>
- Lausch, Á., Bastian, O., Klotz, S., Leitão, P., Jung, A. R., Schaepman, M. y Knapp, S. (2018). Understanding and assessing vegetation health by in situ species and remote-sensing approaches. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(8), 1799-1809. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13025>
- León, Y. O., Marqués, M., Pérez, M., Santos, J. A., y Lao, Y. O. (2016). *Procedimiento para la selección de la comunidad de expertos con técnicas multicriterio*. Ciencias Holguín, 22(1), 1-17. <https://www.redalyc.org/pdf/1815/181543577003.pdf>
- Lin, Y., Hoover, J., Beene, D., Erdei, E., y Liu, Z. (2020). Environmental risk mapping of potential abandoned uranium mine contamination on the Navajo Nation, USA, using a GIS-based multi-criteria decision analysis approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 30542–30557. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09257-3>
- Loayza, V. y Mamani, G. (2021). *Análisis multicriterio en sistemas de información geográfica (SIG) para la ubicación de un relleno sanitario en la provincia de San Román - Puno*.

[Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio Universidad Peruana Unión. <https://hdl.handle.net/20.500.12840/5134>

Martinez, R. (2017). *Evaluación de riesgos por inundaciones, en el barrio bajo del distrito de Yuracyacu, provincia de Rioja, región San Martín*. [Tesis de posgrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/1975>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego [MIDAGRI]. (2022). *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (D.S. N.º 005-2022-AG). Anexo IV: Guía de clasificación de los parámetros edáficos*. <https://dar.org.pe/wp-content/uploads/2022/04/2060758-1-1.pdf>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2011). *Guía de evaluación de riesgos ambientales*. Autor. <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/guia-evaluacion-riesgos-ambientales>

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2018). *Definiciones conceptuales de los ecosistemas del Perú*. Sistema Nacional de Información Ambiental. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/definiciones_ecosistemas_peru.pdf

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2019). *Memoria descriptiva del Mapa Nacional de Áreas Degradadas en Ecosistemas Terrestres*. Autor. <http://repositoriodigital.minam.gob.pe/xmlui/handle/123456789/653>

Ministerio de Cultura [MINCUL]. (2022). *Anexo 1 del Decreto Supremo N.º 011-2022-MC – Reglamento de Intervenciones Arqueológicas*. *Diario Oficial El Peruano*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/3903498/DS%20011-2022-MC%20-%20ANEXO%201.pdf.pdf?v=1670024549>

- Ministerio de Cultura [MINCUL]. (2023). *Guía de identificación y registro del Qhapaq Ñan*.
<https://qhapaqnan.cultura.pe/sites/default/files/mi/archivo/GuiaIdentificacionRegistrosCamino2023.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Energía. (2022). *Estudio de Impacto Ambiental JM Canteras*.
<https://www.ambienteyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/07/EIA-JM-CANTERAS-2022.pdf>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2018). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/otras/Glosario%20de%20Terminos%20Uso%20Frecuente%20-%20Enero%202018.pdf
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones [MTC]. (2018). *Manual de carreteras: Diseño geométrico*.
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf
- Municipalidad Metropolitana de Lima [MML]. (2019). *Expediente Técnico Propuesta de Área de Conservación Regional “Sistema de Lomas de Lima”*.
<https://smia.munlima.gob.pe/documentos-publicacion/detalle/329>
- Municipalidad Provincial de Carhuaz. (2014). *Mejoramiento de trocha carrozable en Carhuaz*. Deomunicarhuaz. <https://deomunicarhuaz.blogspot.com/2014/>
- Muñoz, M., López, R., Zubieta, F., Tipiani, F., Cornelio, F. y Uribe, M. (2023). *Control estructural de la Superunidad Santa Rosa y su relación con la mineralización de las Pegmatitas de la Zona de Mangamarca*. Sociedad Geológica del Perú. www.sgp.org.pe

NASA EarthData. (8 de agosto de 2025). *ALOS PALSAR RTC Project*.
<https://www.earthdata.nasa.gov/data/projects/alos-palsar-rtc-project>

Nasir, A., Ebeiyamba, O., Odiji, C., Ahmad, B., Kopteer, E., Abdullahi, S. y Amodu, P. (2024). Analysis of dumpsites and their potential health risks to residents of Jahi District, Federal Capital Territory (FCT), Nigeria. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 23, 1020-1031. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.23.2.2425>

Number Analytics. (13 de junio de 2025). *Vegetation health in satellite meteorology*.
<https://www.numberanalytics.com/blog/ultimate-guide-vegetation-health-satellite-meteorology>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s.f.). *Relación entre pendiente y erosión*.
https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6707s/x6707s04.htm

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). *Atlas internacional de nubes*.
<https://cloudatlas.wmo.int/en/home.html>

Organización Mundial del Turismo [OMT]. (2019). *Overtourism'? Understanding and managing urban tourism growth beyond perceptions*.
<https://doi.org/10.18111/9789284420629>

Oshneck, M., Makomborero, M. y Hove, J. (2024). A geographic information system and analytic hierarchy process drought risk analysis approach in arid south-western Zimbabwe: Prospects for informed resilience building. *Nature-Based Solutions*, 6(3).
<https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100149>

- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN]. (2016). *Reporte de análisis económico sectorial: El sector minero no metálico en el Perú*. Gerencia de Políticas y Análisis Económico. https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/RAES/RAES-Mineria-Diciembre-2016-GPAE-OS.pdf
- Pant, S., Kumar, A., Ram, M., Klochkov, Y. y Kumar, H. (2022). Consistency indices in analytic hierarchy process: A review. *Mathematics*, 10. <https://doi.org/10.3390/math10081206>
- Pinche, C. (2015). Captación de agua de niebla en lomas de la costa peruana. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 11(2), 49-54. <https://www.revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/760>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2018). *Retos y oportunidades en la conservación de las Lomas de Lima Metropolitana*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/pe/Brochure_24PP_FIN_AL.pdf
- Real Academia Española [RAE]. (2001). *Diccionario de la lengua española*. <https://www.rae.es/drae2001/degradaci%C3%B3n>
- Rodríguez, M. (2022). Riesgo ambiental por contaminación de hidrocarburos en la comunidad de Corapata, distrito de Cusi Puno. *Revista de Investigaciones*, 11(3), 177-192. <https://doi.org/10.26788/ri.v11i3.3601>
- Sánchez, J. (2018). *Expansión urbana en la degradación de las lomas de Mangamarca en la asociación ecoturística, San Juan de Lurigancho*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19944>

- Schuster, J. P., Vich, G. y Guash, C. (2024). Expansión urbana más allá del límite urbano: un análisis de Santiago de Chile desde la planificación urbana y sus contradicciones normativas territoriales. *EURE*, 50(150), 1-22. <https://doi.org/10.7764/eure.50.150.08>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2014). *Ficha técnica de campo ecosistema frágil Lomas Mangamarca*. <https://juanchipanablog.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/estudio-de-campo.pdf>
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2015). *Guía de Flora de las Lomas de Lima* (1.a ed.). Autor. <https://repositorio.serfor.gob.pe/handle/SERFOR/484>
- Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas por el Estado [SERNANP] y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]. (2022). *Valoración económica de las Lomas de Lima*. https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/migration/pe/PE_PNUD_Valoracion-economica-de-las-lomas.pdf
- Space4Water. (2019). *Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. <https://space4water.org/taxonomy/term/1242>
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA]. (22 de agosto de 2021). Minería y tráfico de terrenos: Lomas de Mangamarca es destruida con maquinaria pesada. *Actualidad Ambiental*. <https://www.actualidadambiental.pe/sector-de-lomas-de-mangamarca-es-destruido-con-maquinaria-pesada/>
- Sociedad Peruana de Derecho Ambiental [SPDA]. (2023). Invasiones y turismo no planificados: dos principales amenazas de Lomas de Paraíso. *Actualidad Ambiental*. <https://www.actualidadambiental.pe/video-invasiones-y-turismo-no-planificado-dos-principales-amenazas-de-lomas-de-paraíso/>

- Summers, R., Masukawa, J. y Hartman, B. (2018). The influence of slope on vegetation recovery following nonnative grazer removal on Santa Rosa Island, California. *Western North American Naturalist*, 78(4), 787-798.
https://scholarsarchive.byu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2396&context=wnan&utm_source
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO]. (2025). *Operational Guidelines for the Implementation of the World Heritage Convention*. <https://whc.unesco.org/en/guidelines>
- U.S. Fish and Wildlife Service. (2014). *Ecological effects of ground disturbance and roads on plants and recommended buffer distances, with emphasis on the Uinta Basin, Utah*. Utah Ecological Services Field Office. https://downloads.regulations.gov/FWS-R6-ES-2019-0029-0030/attachment_114.pdf
- United States Geological Survey [USGS]. (s.f.). *Landsat Soil Adjusted Vegetation Index*. <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-soil-adjusted-vegetation-index>
- Vargas, N. (2017). *Implementación de biomodelos estimativos de la calidad ecosistémica en el nevado del Cocuy al año 2030 producto del retroceso glaciar*. [Tesis de pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Biblioteca UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/25624>
- Yepes, V. (27 de noviembre de 2018). *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process, AHP)*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/11/27/proceso-analitico-jerarquico-ahp/>

IX. ANEXOS

Anexo A: Matrices pareadas de factores de peligro

EXPERTO 1: José Luis Rosales									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	3.00	5.00	9.00	9.00	4.14	0.52	2.77	5.36
Infraestructura vial no planificada	0.33	1.00	3.00	5.00	9.00	2.14	0.27	1.38	5.17
Minería no metálica	0.20	0.33	1.00	3.00	5.00	1.00	0.12	0.65	5.18
Presión turística	0.11	0.20	0.33	1.00	5.00	0.52	0.06	0.35	5.47
Residuos sólidos	0.11	0.11	0.20	0.20	1.00	0.22	0.03	0.15	5.59
Suma						8.02	1.00		

λ_{max}	5.355
CI	0.089
CR	0.079
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 2: Willington Ortiz									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	1.00	5.00	7.00	7.00	3.00	0.42	2.22	5.33
Infraestructura vial no planificada	1.00	1.00	3.00	5.00	5.00	2.37	0.33	1.71	5.21
Minería no metálica	0.20	0.33	1.00	5.00	5.00	1.11	0.15	0.85	5.55
Presión turística	0.14	0.20	0.20	1.00	3.00	0.44	0.06	0.34	5.47
Residuos sólidos	0.14	0.20	0.20	0.33	1.00	0.29	0.04	0.22	5.45
Suma						7.21	1.00		

λ_{max}	5.402
CI	0.100
CR	0.090
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 3: Jorman Cabello									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	3.00	7.00	9.00	7.00	4.21	0.51	2.79	5.49
Infraestructura vial no planificada	0.33	1.00	5.00	9.00	7.00	2.54	0.31	1.63	5.34
Minería no metálica	0.14	0.20	1.00	5.00	3.00	0.84	0.10	0.55	5.38
Presión turística	0.11	0.11	0.20	1.00	0.33	0.24	0.03	0.16	5.44
Residuos sólidos	0.14	0.14	0.33	3.00	1.00	0.46	0.06	0.29	5.29
Suma						8.29	1.00		

λ_{max}	5.387
CI	0.097
CR	0.086
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 4: Roobert Jimenez									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	3.00	7.00	9.00	5.00	3.94	0.50	2.75	5.47
Infraestructura vial no planificada	0.33	1.00	5.00	7.00	5.00	2.26	0.29	1.56	5.41
Minería no metálica	0.14	0.20	1.00	5.00	3.00	0.84	0.11	0.60	5.57
Presión turística	0.11	0.14	0.20	1.00	0.33	0.25	0.03	0.17	5.34
Residuos sólidos	0.20	0.20	0.33	3.00	1.00	0.53	0.07	0.36	5.34
Suma						7.81	1.00		

λ_{max}	5.427
CI	0.107
CR	0.095
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 5: María Miyasiro									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	3.00	7.00	9.00	9.00	4.43	0.51	2.77	5.41
Infraestructura vial no planificada	0.33	1.00	7.00	9.00	9.00	2.85	0.33	1.77	5.37
Minería no metálica	0.14	0.14	1.00	3.00	3.00	0.71	0.08	0.43	5.27
Presión turística	0.11	0.11	0.33	1.00	1.00	0.33	0.04	0.20	5.14
Residuos sólidos	0.11	0.11	0.33	1.00	1.00	0.33	0.04	0.20	5.14
Suma						8.66	1.00		

λ_{max}	5.266
CI	0.066
CR	0.059
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 6: Yovita Barzola									
	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	5.00	7.00	9.00	9.00	4.90	0.58	3.23	5.53
Infraestructura vial no planificada	0.20	1.00	3.00	5.00	7.00	1.84	0.22	1.16	5.30
Minería no metálica	0.14	0.33	1.00	3.00	5.00	0.93	0.11	0.59	5.26
Presión turística	0.11	0.20	0.33	1.00	3.00	0.47	0.06	0.29	5.25
Residuos sólidos	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	0.25	0.03	0.17	5.53
Suma						8.40	1.00		

λ_{max}	5.374
CI	0.094
CR	0.084
n	5.000
RI	1.120

EXPERTO 7: Paula Monero Zapata

	Expansión urbana	Infraestructura vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	5.00	7.00	7.00	9.00	4.66	0.57	3.19	5.60
Infraestructura vial no planificada	0.20	1.00	3.00	5.00	7.00	1.84	0.22	1.20	5.34
Minería no metálica	0.14	0.33	1.00	3.00	5.00	0.93	0.11	0.61	5.30
Presión turística	0.14	0.20	0.33	1.00	3.00	0.49	0.06	0.32	5.29
Residuos sólidos	0.11	0.14	0.20	0.33	1.00	0.25	0.03	0.17	5.45
					Suma	8.18	1.00		

λ_{max}	5.397
CI	0.099
CR	0.089
n	5.000
RI	1.120

MATRIZ DEL GRUPO (AIJ) – media geométrica celda a celda

	Expansión urbana	Infraestructura a vial no planificada	Minería no metálica	Presión turística	Residuos sólidos	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Expansión urbana	1.00	2.97	6.36	8.38	7.70	4.14	0.52	2.77	5.34
Infraestructura vial no planificada	0.34	1.00	3.92	6.21	6.83	2.24	0.28	1.46	5.22
Minería no metálica	0.16	0.26	1.00	3.73	4.02	0.90	0.11	0.60	5.32
Presión turística	0.12	0.16	0.27	1.00	1.47	0.38	0.05	0.24	5.15
Residuos sólidos	0.13	0.15	0.25	0.68	1.00	0.32	0.04	0.21	5.24
					Suma	7.97	1.00		

λ_{max}	5.397
CI	0.099
CR	0.089
n	5.000
RI	1.120

Anexo B: Matrices pareadas de factores de vulnerabilidad (dimensión ambiental)

EXPERTO 1: José Luis Rosales							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	5.00	1.00	1.71	0.45	1.36	3.00
Pendiente	0.20	1.00	0.20	0.34	0.09	0.27	3.00
Potencial de captación de niebla	1.00	5.00	1.00	1.71	0.45	1.36	3.00
Suma				3.76	1.00		

λ_{max}	3.00
CI	0.00
CR	0.00
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 2: Willington Ortiz							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	7.00	5.00	3.27	0.73	2.24	3.06
Pendiente	0.14	1.00	0.33	0.36	0.08	0.25	3.06
Potencial de captación de niebla	0.20	3.00	1.00	0.84	0.19	0.58	3.06
Suma				4.48	1.00		

λ_{max}	3.06
CI	0.03
CR	0.06
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 3: Jorman Cabello							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	5.00	1.00	1.71	0.48	1.46	3.03
Pendiente	0.20	1.00	0.33	0.41	0.11	0.35	3.03
Potencial de captación de niebla	1.00	3.00	1.00	1.44	0.41	1.23	3.03
Suma				3.56	1.00		

λ_{max}	3.03
CI	0.01
CR	0.03
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 4: Roobert Jimenez							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	0.33	0.20	0.41	0.10	0.32	3.04
Pendiente	3.00	1.00	0.33	1.00	0.26	0.78	3.04
Potencial de captación de niebla	5.00	3.00	1.00	2.47	0.64	1.94	3.04
	Suma			3.87	1.00		

λ_{max}	3.04
CI	0.02
CR	0.03
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 5: María Miyasiro							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	3.00	3.00	2.08	0.60	1.80	3.00
Pendiente	0.33	1.00	1.00	0.69	0.20	0.60	3.00
Potencial de captación de niebla	0.33	1.00	1.00	0.69	0.20	0.60	3.00
	Suma			3.47	1.00		

λ_{max}	3.00
CI	0.00
CR	0.00
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 6: Yovita Barzola							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	5.00	1.00	1.71	0.48	1.46	3.03
Pendiente	0.20	1.00	0.33	0.41	0.11	0.35	3.03
Potencial de captación de niebla	1.00	3.00	1.00	1.44	0.41	1.23	3.03
	Suma			3.56	1.00		

λ_{max}	3.04
CI	0.01
CR	0.03
n	3.00
RI	0.58

EXPERTO 7: Paula Moreno							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	5.00	0.33	1.19	0.33	0.99	3.03
Pendiente	0.20	1.00	0.20	0.34	0.09	0.28	2.91
Potencial de captación de niebla	3.00	3.00	1.00	2.08	0.58	1.85	3.20
Suma				3.61	1.00		

λ_{max}	3.05
CI	0.02
CR	0.04
n	3.00
RI	0.58

MATRIZ DEL GRUPO (AIJ)							
	Estado de salud de la vegetación	Pendiente	Potencial de captación de niebla	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Estado de salud de la vegetación	1.00	3.31	1.00	1.49	0.44	1.32	2.98
Pendiente	0.30	1.00	0.34	0.47	0.14	0.41	2.98
Potencial de captación de niebla	1.00	2.76	1.00	1.40	0.42	1.24	2.98
Suma				3.36	1.00		

λ_{max}	3.00
CI	0.00
CR	0.00
n	3.00
RI	0.58

Anexo C: Matrices pareadas de dimensiones de vulnerabilidad.

EXPERTO 1: Jose Luis Rosales						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 2: Willington Ortiz						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 3: Jorman Cabello						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 4: Roobert Jimenez						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 5: María Miyasiro						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	2.00
Cultural	1.00	1.00	1.00	0.50	1.00	2.00
Suma			2.00	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 6: Yovita Barzola						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 7: Paula Moreno Zapata						
	Ambiental	Social	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Cultural	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{\max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

MATRIZ DEL GRUPO (AIJ)						
	Ambiental	Cultural	Media geométrica	peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Ambiental	1.00	3.97	1.99	0.80	1.60	2
Cultural	0.25	1.00	0.50	0.20	0.40	2
Suma			2.49	1.00		

λ_{\max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

Anexo D: Matrices pareadas de peligro vs vulnerabilidad

EXPERTO 1: José Luis Rosales						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 2: Willington Ortiz						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 3: Jorman Cabello						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 4: Roobert Jimenez						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	5.00	2.24	0.83	1.67	2.00
Vulnerabilidad	0.20	1.00	0.45	0.17	0.33	2.00
Suma			2.68	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 5: María Miyasiro						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

EXPERTO 6: Yovita Barzola						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

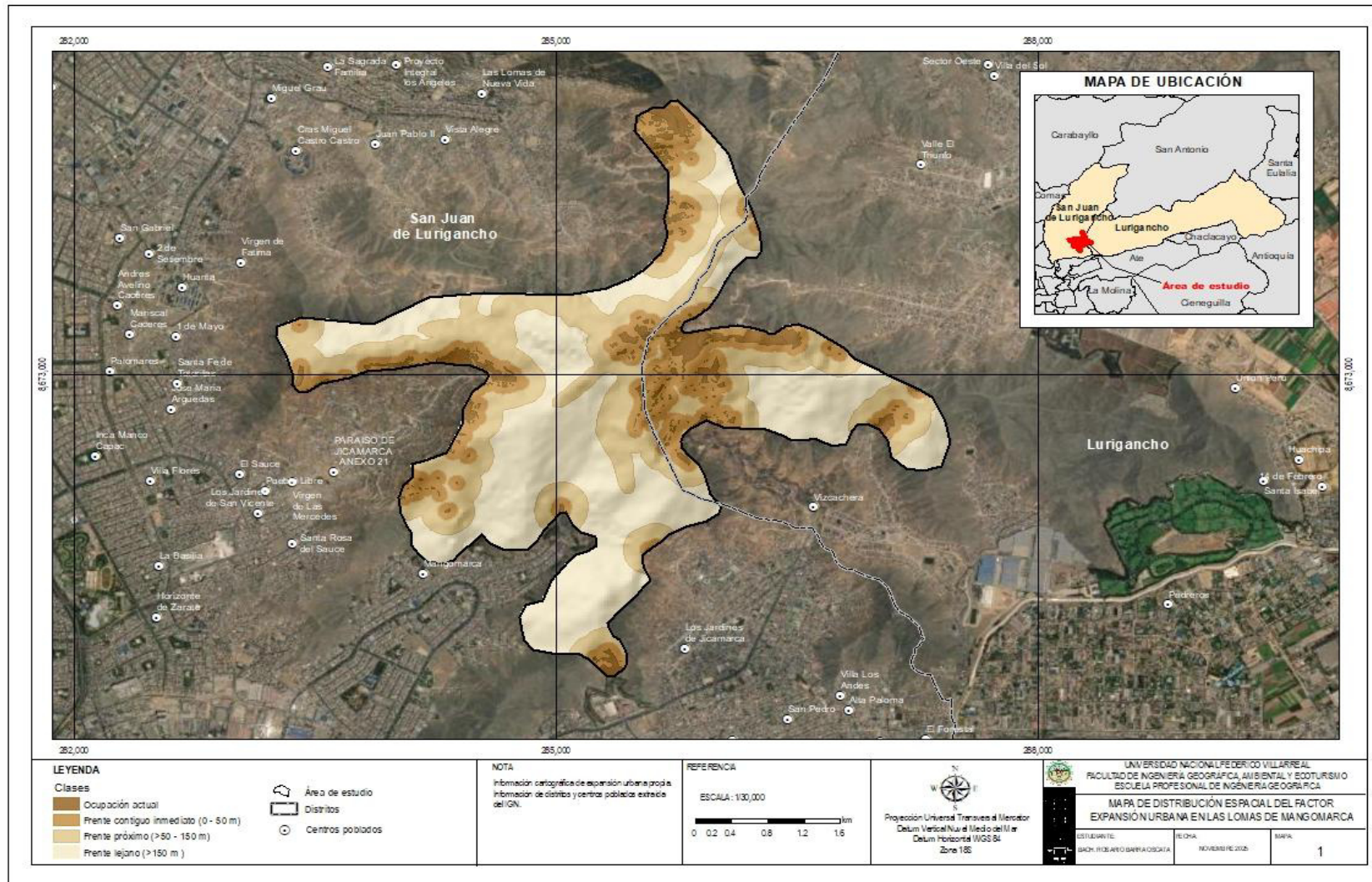
EXPERTO 7: Paula Moreno Zapata						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	Peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.00	1.73	0.75	1.50	2.00
Vulnerabilidad	0.33	1.00	0.58	0.25	0.50	2.00
Suma			2.31	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

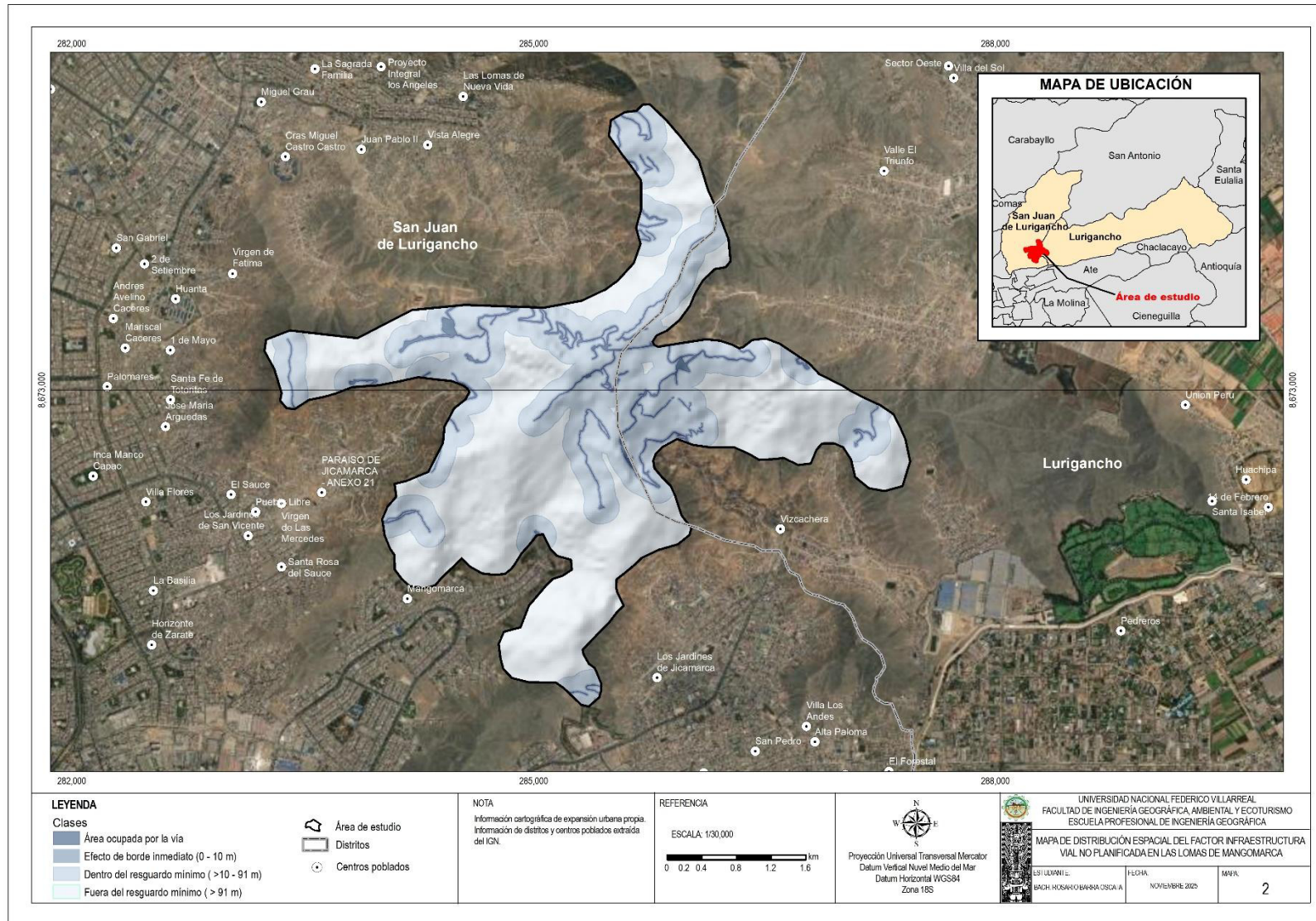
MATRIZ DEL GRUPO (AIJ)						
	Peligro	Vulnerabilidad	Media geométrica	peso normalizado	Suma ponderada	Cociente
Peligro	1.00	3.23	1.80	0.76	1.5	2
Vulnerabilidad	0.31	1.00	0.56	0.24	0.5	2
Suma			2.35	1.00		

λ_{max}	2.00
CI	0.00
CR	0.00
n	2.00
RI	0.00

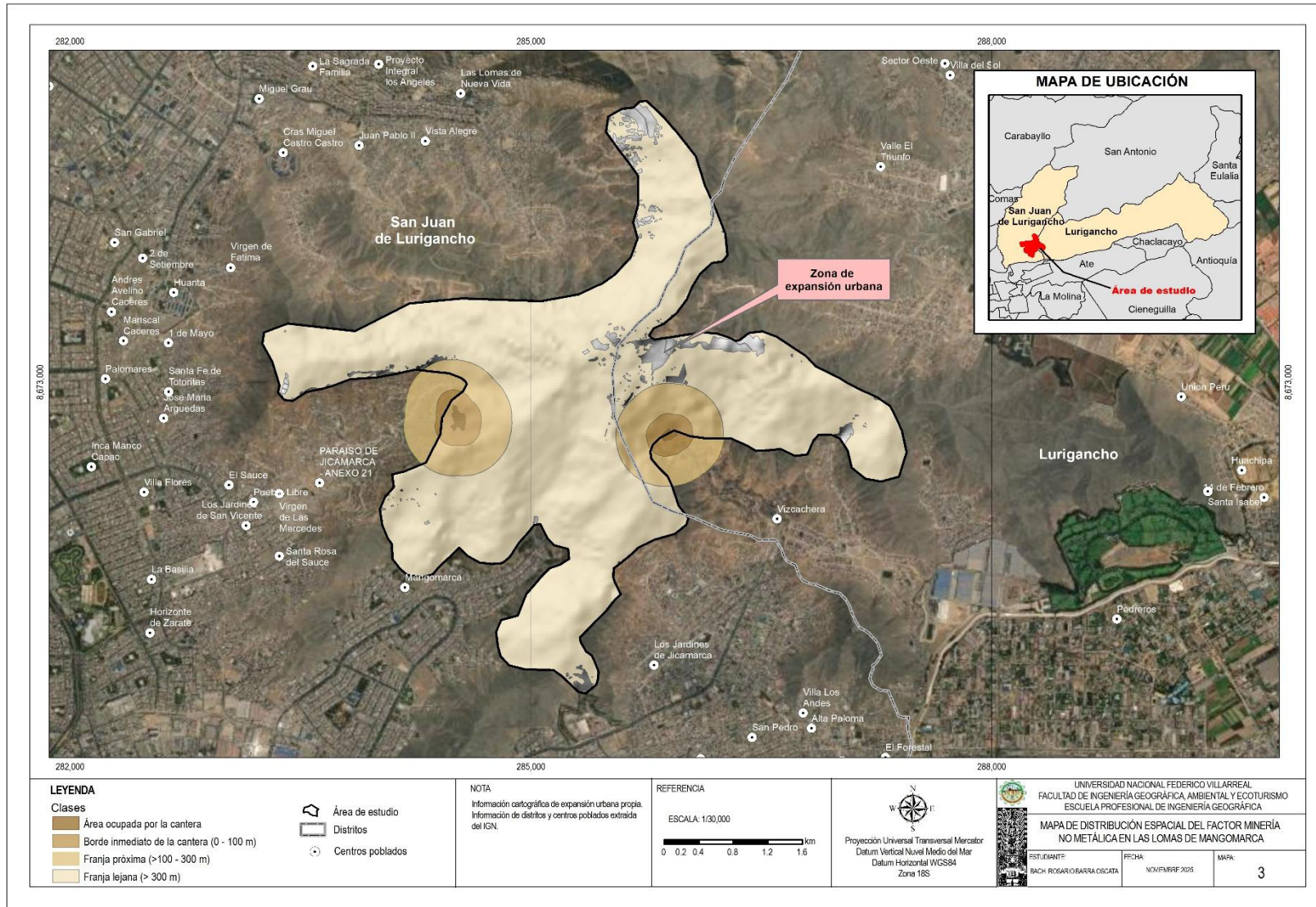
Anexo E: Mapa de distribución espacial del factor expansión urbana



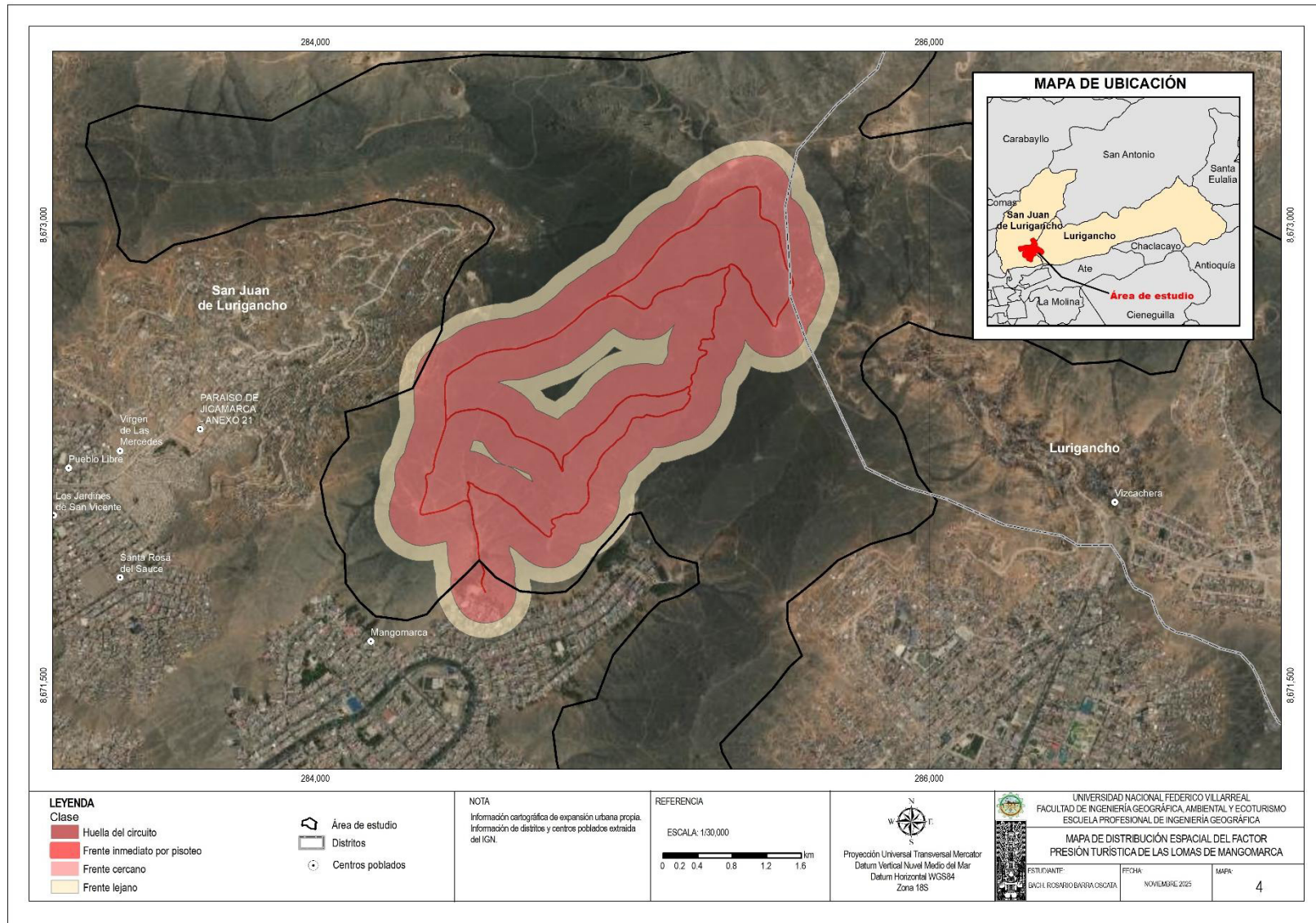
Anexo F: Mapa de distribución espacial del factor infraestructura vial no planificada



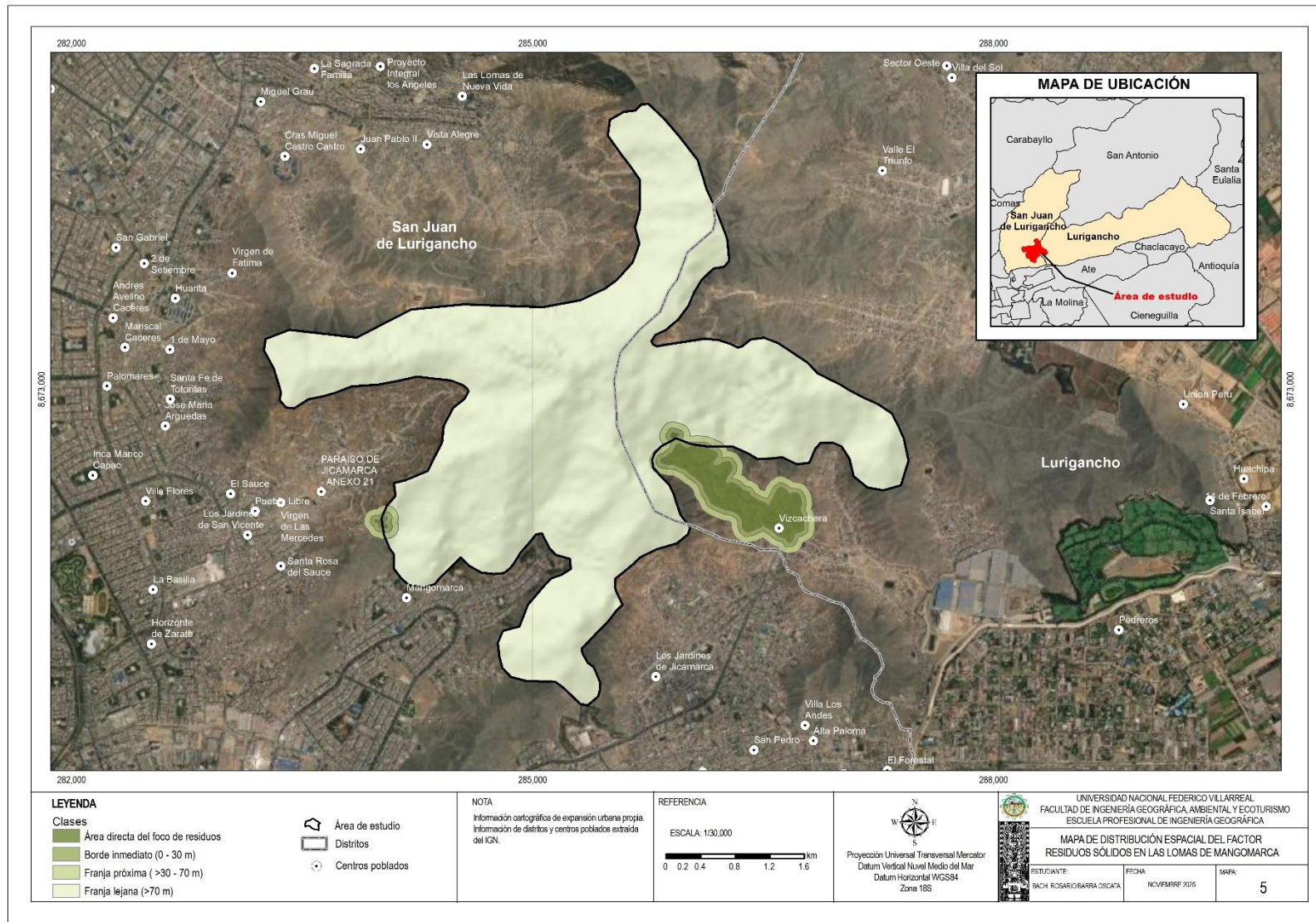
Anexo G: Mapa de distribución espacial del factor minería no metálica



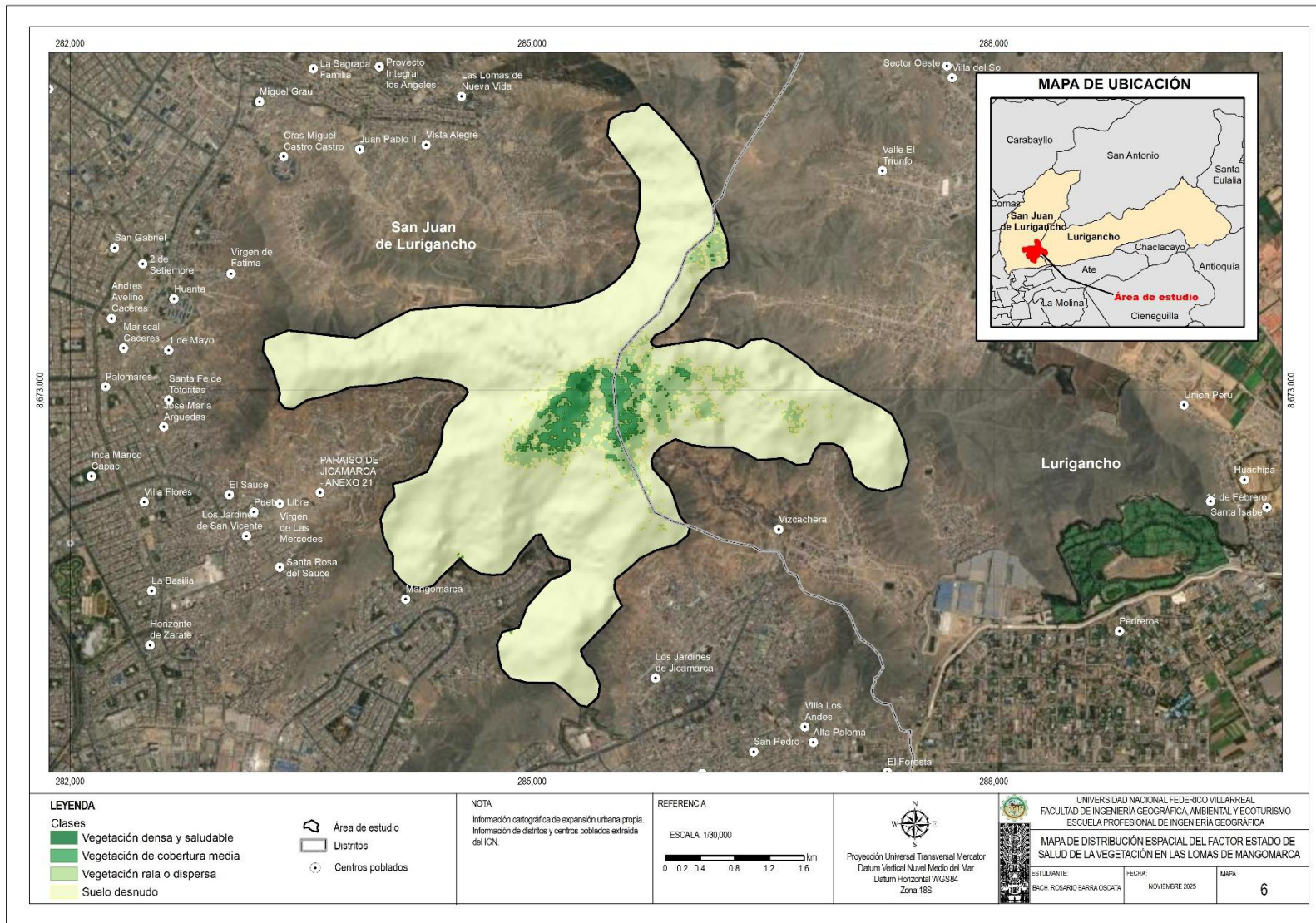
Anexo H: Mapa de distribución espacial del factor presión turística



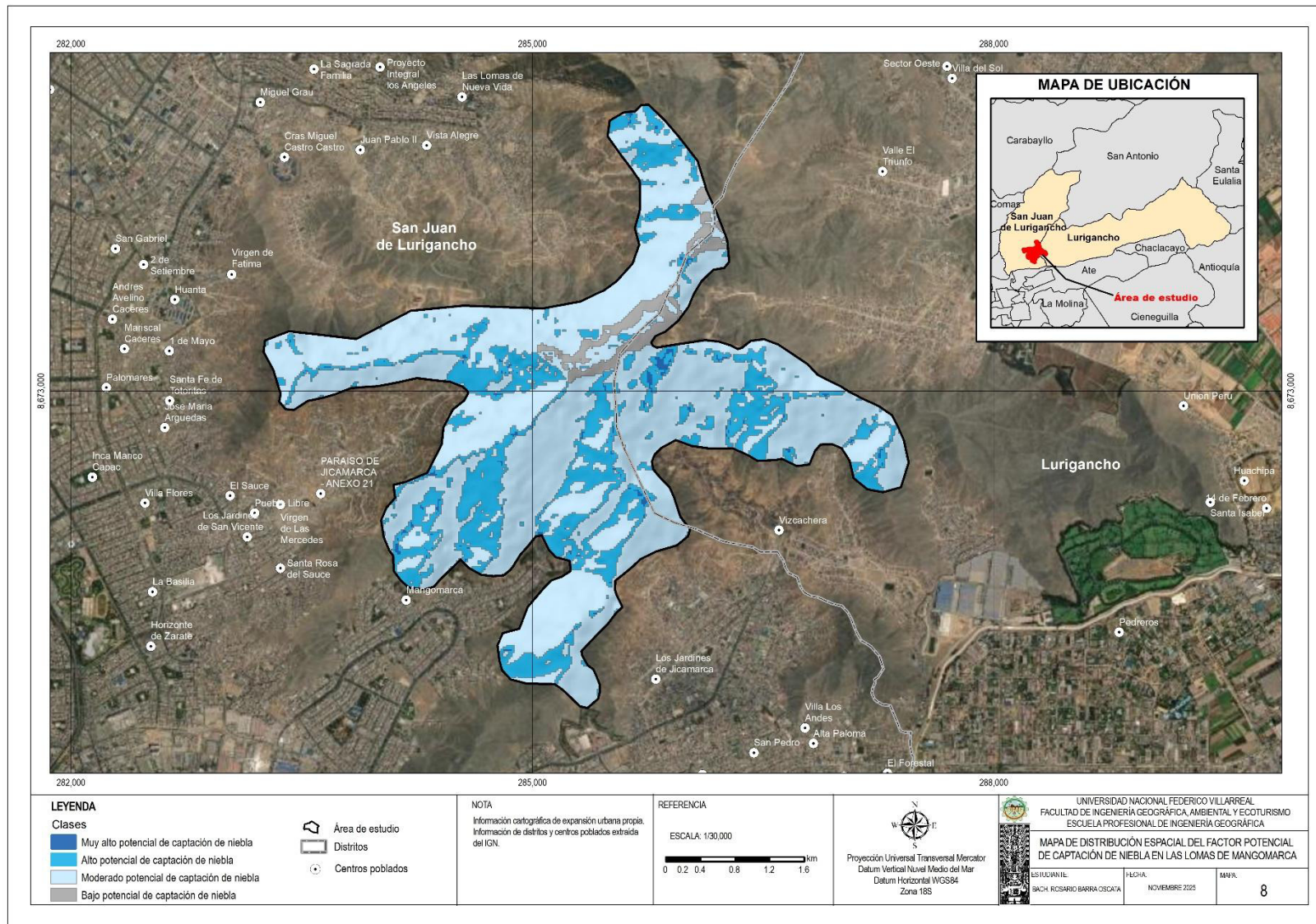
Anexo I: Mapa de distribución espacial del factor residuos sólidos



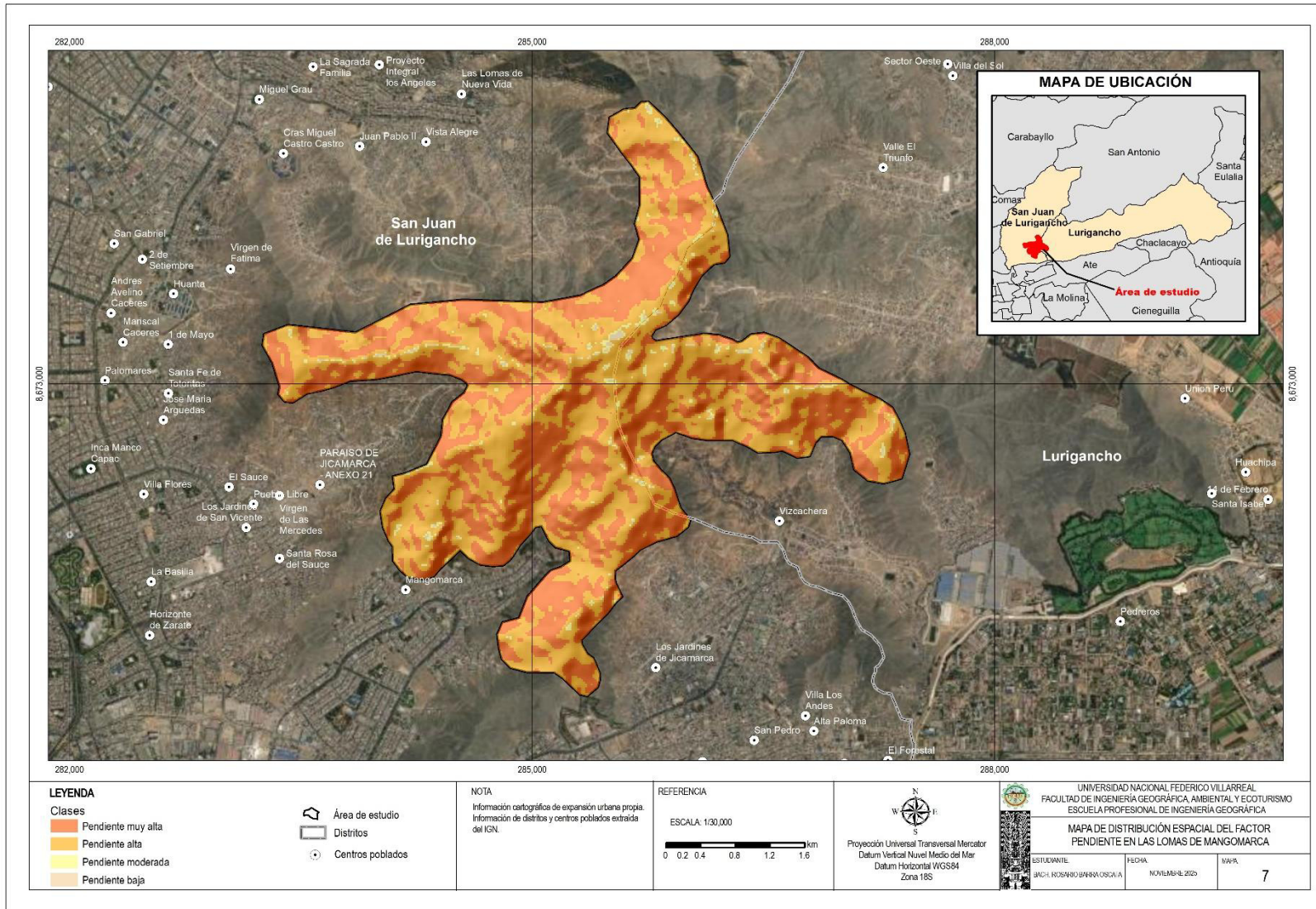
Anexo J: Mapa de distribución espacial del factor estado de salud de vegetación



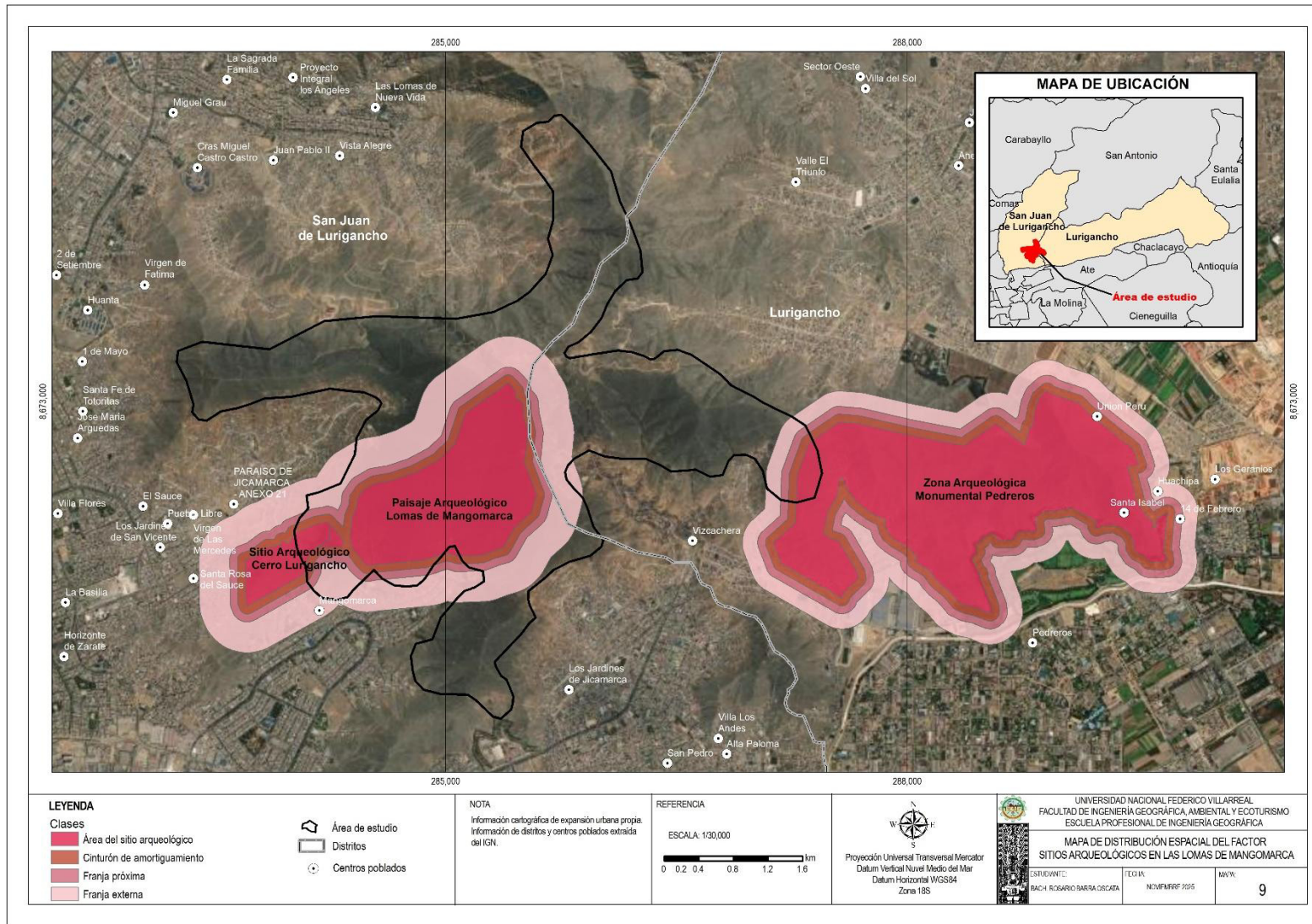
Anexo K: Mapa de distribución espacial del factor potencial de captación de niebla



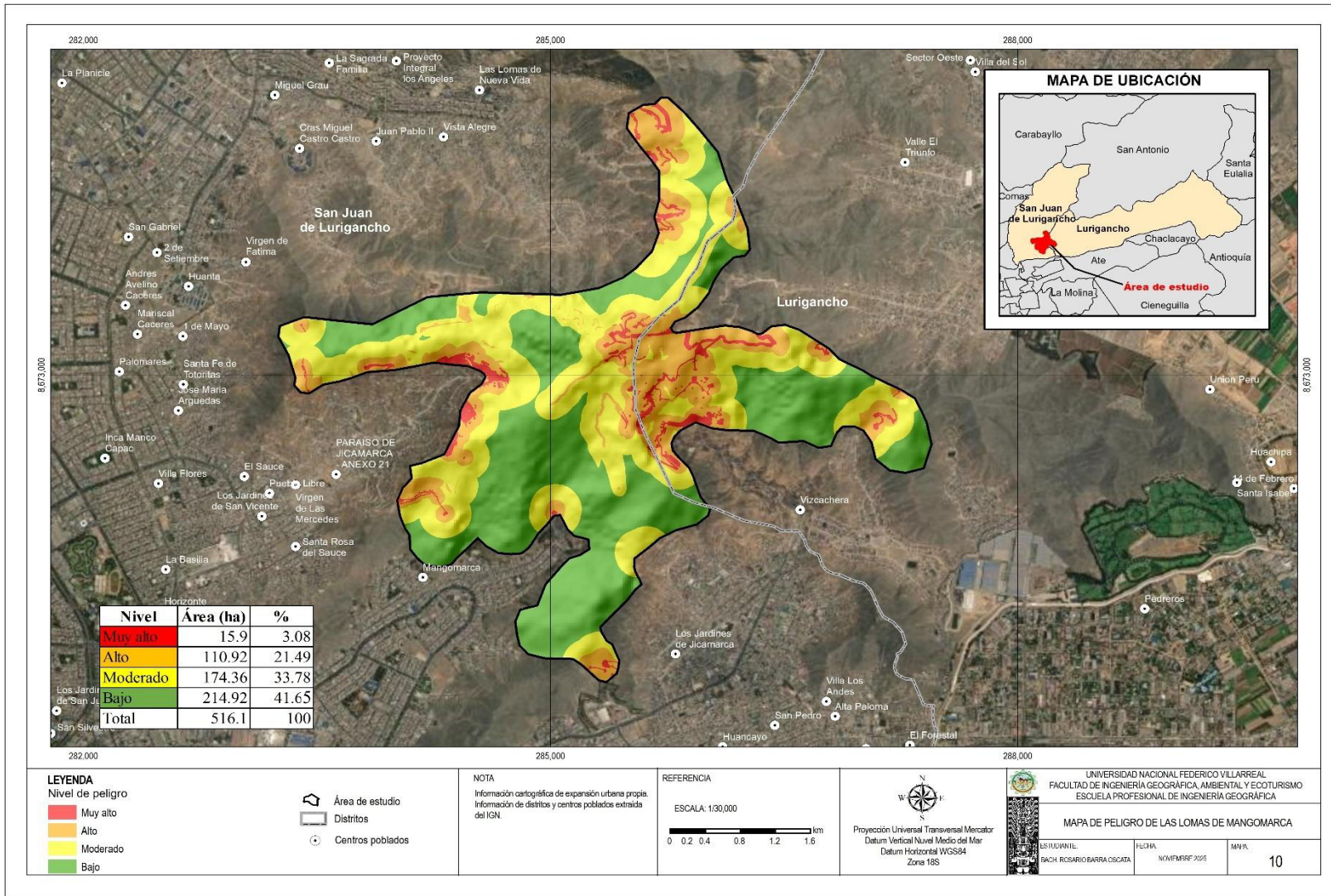
Anexo L: Mapa de distribución espacial del factor pendiente



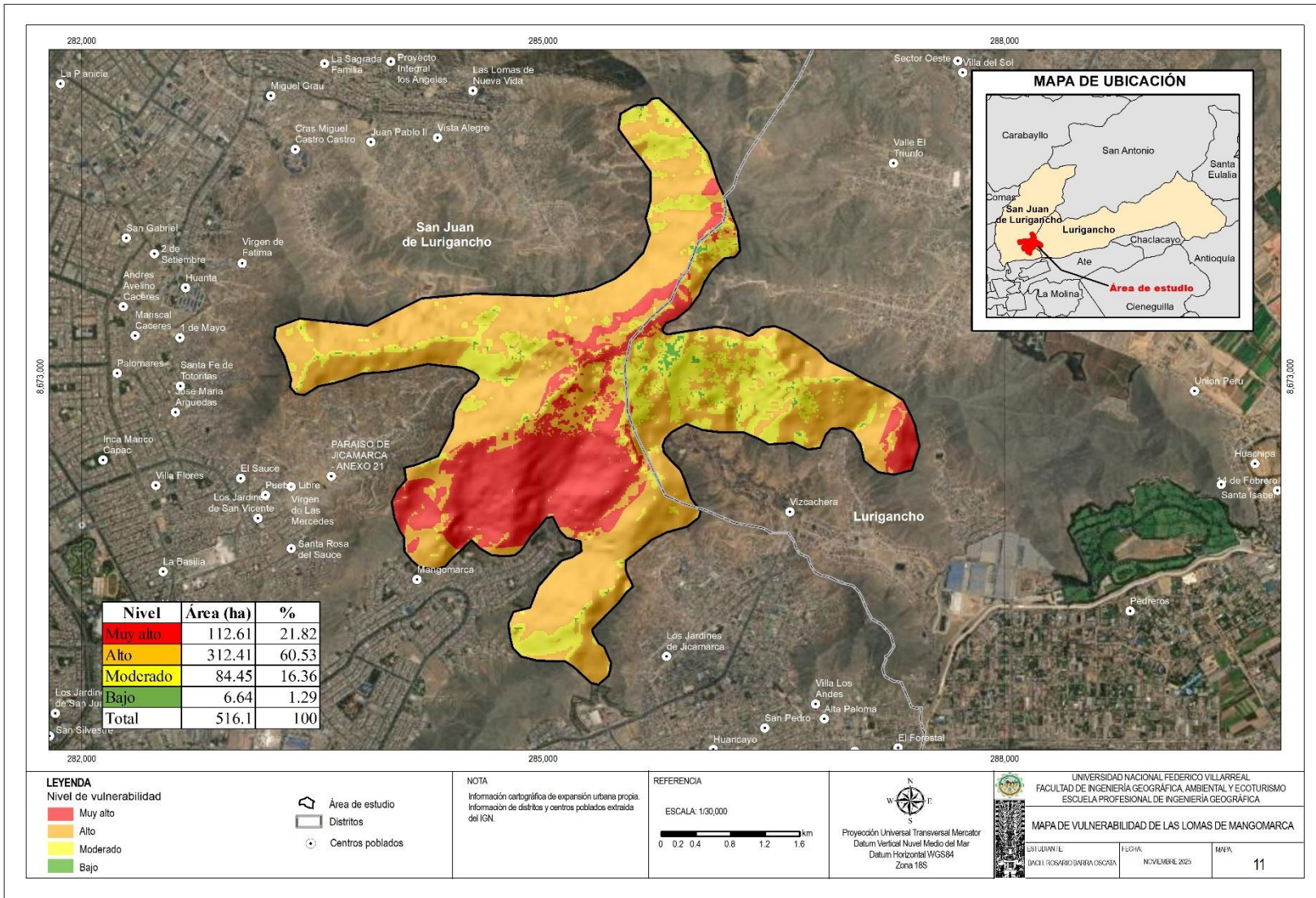
Anexo M: Mapa de distribución espacial del factor sitios arqueológicos



Anexo N: Mapa de peligro de Lomas de Mangomarca



Anexo Ñ: Mapa de vulnerabilidad de Lomas de Mangomarca



Anexo O: Mapa de riesgo ambiental de Lomas de Mangomarca

