



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA
CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023**

**Línea de investigación:
Procesamiento digital de imágenes y señales**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor

Altamiza Chávez, Edwards Jesús

Asesor

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

ORCID: 0009-0002-3618-9100

Jurado

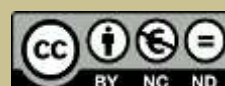
Zamora Talaverano, Noe Zabino

Rojas Leon, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026



"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%	10%	2%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	revistas.up.ac.pa	1%
	Fuente de Internet	
2	repositorio.ana.gob.pe	1%
	Fuente de Internet	
3	repositorio.uptc.edu.co	1%
	Fuente de Internet	
4	repositorio.uandina.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
5	repositorio.unfv.edu.pe	1%
	Fuente de Internet	
6	www.coursehero.com	<1%
	Fuente de Internet	
7	www.slideshare.net	<1%
	Fuente de Internet	
8	issuu.com	<1%
	Fuente de Internet	
9	cienciadigital.org	<1%
	Fuente de Internet	
10	talentos.ueb.edu.ec	<1%
	Fuente de Internet	
11	hdl.handle.net	<1%
	Fuente de Internet	



Universidad Nacional
Federico Villarreal



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023

Línea de investigación:

Procesamiento digital de imágenes y señales

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Geógrafo

Autor

Altamiza Chávez, Edwards Jesús

Asesor

Gonzales Alarcón, Angelino Oscar

ORCID: 0009-0002-3618-9100

Jurado:

Zamora Talaverano, Noe Zabino

Rojas Leon, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026

Dedicatoria

A mis padres, Exaltación Altamiza y Máxima Chávez, pilares de mi vida, por su amor incondicional, su fe silenciosa en mí y por enseñarme que el verdadero apoyo se da sin condiciones, con el corazón alegre, los brazos abiertos y la mirada siempre alentadora.

A mis hermanos, Karina, Dalila y Gustavo, por ser guías en mi camino, ejemplos de esfuerzo, sabiduría y constancia. Su presencia ha sido mi impulso constante, mi refugio en los días difíciles y mi inspiración para seguir soñando con firmeza.

Este trabajo es también reflejo de todo lo que me han enseñado: perseverancia, esfuerzo y compromiso. A ellos, mi más profunda gratitud.

Agradecimientos

A mi alma máter, la Universidad Nacional Federico Villarreal, por haberme acogido durante mi preparación universitaria, además de brindarme las herramientas académicas necesarias para mi desarrollo profesional. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido fundamental en este camino.

Al Ing. Angelino Oscar Gonzales Alarcón, mi asesor, por su constante amabilidad, orientación y compromiso. Su guía ha sido clave en cada etapa de este trabajo, y su confianza en mi capacidad, un impulso invaluable.

A todos mis familiares y amigos, por estar presentes con sus palabras de aliento, sus consejos sinceros y su apoyo incondicional. Su compañía ha sido mi sostén emocional y mi fuente de motivación en los momentos más exigentes.

INDICE

Resumen	13
Abstract	14
I. INTRODUCCIÓN	15
1.1 Formulación del problema	17
1.1.1 Problema principal	17
1.1.2 Problemas específicos	17
1.2 Antecedentes	17
1.2.1 Antecedentes nacionales	17
1.2.2 Antecedentes internacionales	20
1.3 Objetivos	29
1.3.1 Objetivo General	29
1.3.2 Objetivos específicos.....	29
1.4 Justificación.....	29
1.5 Hipótesis.....	30
1.5.1 Hipótesis general	30
II. MARCO TEÓRICO	31
2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación	31
2.1.1 Análisis multitemporal	31
2.1.2 Uso de suelo	31
2.1.3 Teledetección.....	32
2.1.4 Imágenes satelitales	32
2.1.5 Metodología Corine Land Cover.....	32

2.1.6	Matrices de transición	33
2.1.7	Sistema de información geográfica	34
2.2	Marco Conceptual	35
2.2.1	Análisis multitemporal	35
2.2.2	Análisis multitemporal de cambio de uso de suelos	35
2.3	Marco legal	36
2.3.1	Constitución política del Perú	36
2.3.2	Ley General del ambiente – Ley N.º 28611	36
2.3.3	Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales – Ley N.º 26821	37
2.3.4	Ley de Recursos Hídricos – Ley N.º 29338	37
2.3.5	Decreto Legislativo N.º 1013	37
2.3.6	Ley del Instituto Geográfico Nacional – Ley N.º 27292.....	37
2.3.7	Decreto Supremo N.º 005-2018-JUS.....	37
III.	MÉTODO.....	38
3.1	Enfoque de la investigación	38
3.2	Tipo y alcance de la investigación	38
3.3	Diseño de investigación	38
3.4	Ámbito temporal y espacial	38
3.4.1	Ubicación.....	38
3.4.2	Demarcación política.....	39
3.4.3	Limites administrativos	40
3.4.4	Vías de comunicación.....	41

3.4.5 Red hidrográfica	42
3.4.6 Unidad hidrográfica	44
3.4.7 Geología.....	45
3.4.8 Geomorfología.....	46
3.4.9 Clasificación climática	48
3.4.10 Cobertura vegetal.....	49
3.4.11 Escenario de riesgo por inundación.....	51
3.4.12 Escenario riesgo por movimiento de masa	52
3.5 Variables	54
3.5.1 Variable dependiente	54
3.5.2 Variable independiente	54
3.6 Población y muestra.....	56
3.6.1 Población.....	56
3.6.2 Muestra.....	56
3.7 Temporalidad.....	56
3.8 Instrumentos.....	56
3.9 Procedimientos.....	56
3.10 Tratamiento de información en el entorno Google Engine.....	58
3.11 Procesamiento en el entorno ArcGIS.....	68
3.12 Análisis de datos	77
IV. RESULTADOS.....	81
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	117
5.1 Evaluación de la precisión de la clasificación supervisada	117

5.2 Dinámica multitemporal del uso de suelo (2016–2023)	118
5.3 Implicancias ambientales y territoriales	119
5.4 Limitaciones del estudio y recomendaciones metodológicas	119
VI. CONCLUSIONES	121
VII. RECOMENDACIONES.....	122
VIII. REFERENCIAS	123
IX. ANEXOS	128
Anexo A: Fichas de campo	129
Anexo B: Panel Fotográfico.....	144
Anexo C: Matriz de Consistencia.....	149
Anexo D: Mapas temáticos	151

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geográfica	39
Tabla 2. Distritos ubicados en la cuenca del río Huarmey	40
Tabla 3. Distancias entre distritos de la cuenca del río Huarmey (Km)	42
Tabla 4. Unidades hidrográficas de la cuenca del río Huarmey	44
Tabla 5. Unidades geológicas de la cuenca del río Huarmey	45
Tabla 6. Unidades geomorfológicas de la cuenca del río Huarmey	47
Tabla 7. Clasificación climática de la cuenca del río Huarmey.....	48
Tabla 8 Cobertura vegetal de la cuenca del río Huarmey	50
Tabla 9. Operacionalización de variables	55
Tabla 10. Sistema de clasificación Corine Land Cover	69
Tabla 11. Matriz de tabulación cruzada.....	77
Tabla 12. Matriz de confusión	79
Tabla 13. Índice de precisión.....	79
Tabla 14. Índice de precisión por clase.....	80
Tabla 15. Ubicación aleatoria de los puntos de validación.....	81
Tabla 16. Matriz de confusión para el uso de suelo año 2016.....	83
Tabla 17. índice de precisión general para el uso de suelo año 2016	83
Tabla 18. Índice de precisión por clase para el uso de suelo año 2016	84
Tabla 19. Matriz de confusión para el uso de suelo año 2023	86
Tabla 20. Índice de precisión general para el uso de suelo año2023	86
Tabla 21. Índice de precisión por clase para el uso de suelo año 2023	87
Tabla 22. Resultados de la clasificación uso de suelos 2016.....	89

Tabla 23. Resultados de la clasificación uso de suelos 2017.....	91
Tabla 24. Resultados de la clasificación uso de suelos 2018.....	93
Tabla 25. Resultados de la clasificación uso de suelos 2019.....	95
Tabla 26. Resultados de la clasificación uso de suelos 2020.....	97
Tabla 27. Resultados de la clasificación uso de suelo 2021	99
Tabla 28. Resultados de la clasificación uso de suelos 2022.....	101
Tabla 29. Resultados de la clasificación de uso de suelo 2023	103
Tabla 30. Estructura establecida para matriz de transición.....	106
Tabla 31. Estimación de pérdidas de cobertura de suelo por clase (2016-2023).....	107
Tabla 32. Estimación de ganancias de cobertura de suelo por clase (2016-2023)	107
Tabla 33. Dinámica multitemporal de las coberturas del suelo: ganancias, pérdidas y cambios netos (2016-2023)	108
Tabla 34. Variación porcentual de las coberturas del suelo: ganancias, pérdidas y cambios netos (2016-2023).....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización territorial de la cuenca del río Huarmey	39
Figura 2. Localización política de la cuenca del río Huarmey	40
Figura 3. Localización administrativa de la cuenca del río Huarmey.....	41
Figura 4. Vías de comunicación de la cuenca del río Huarmey.....	42
Figura 5. Red hidrográfica de la cuenca del río Huarmey	43
Figura 6. Unidades hidrográficas de la cuenca del río Huarmey	45
Figura 7. Unidades geológicas de la cuenca del río Huarmey	46
Figura 8. Unidades geomorfológicas de la cuenca del río Huarmey	47
Figura 9. Categorización climática de la cuenca del río Huarmey	49
Figura 1.0 Cobertura vegetal de la cuenca del río Huarmey.....	50
Figura 11. Escenario de riesgos por inundación de la cuenca del río Huarmey	52
Figura 12. Escenario de riesgos por movimiento de masa de la cuenca del río Huarmey.....	53
Figura 13. Esquema Metodológico	57
Figura 14. Código de extracción de la colección de imágenes satelitales Sentinel	59
Figura 15. Importación del Shapefile de la cuenca del río Huarmey.....	59
Figura 16. Algoritmo de filtrado mediante un objeto tipo geometría	60
Figura 17. Algoritmo de filtrado mediante un rango de fechas	60
Figura 18. Algoritmo de filtrado mediante la utilización de la metadata de la representación satelital	61
Figura 19. Código de reducción de las imágenes satelitales.....	61
Figura 20. Código de elaboración del mosaico.....	62
Figura 21. Código establecido para la generación del NDVI	63

Figura 22. Código establecido para la generación del NDWI	64
Figura 23. Código establecido para la generación del SAVI.....	65
Figura 24. Código para la generación de datos especiales por cada año	66
Figura 25. Código para la exportación de datos a la carpeta Google Drive	67
Figura 26. Reclasificación del ráster NDVI en función a sus valores resultantes	70
Figura 27. Vectorización del ráster NDVI en función a sus valores resultantes	71
Figura 28. Ubicación de puntos de control	72
Figura 29. Interfaz del formulario de la App Survey 123.....	73
Figura 30. Interfaz de vuelo y drone DJI MINI 2 usado en las tomas aéreas.....	74
Figura 31. Ficha técnica de campo propuesto.....	74
Figura 32. Mapa de ubicación- Formato de presentación de los mapas de uso de suelo.....	75
Figura 33. Resultados de la clasificación del uso de suelo 2016	90
Figura 34. Resultado de la clasificación del uso de suelo 2017.....	92
Figura 35. Resultado de la clasificación del uso de suelo 2018.....	94
Figura 36. Resultado de la clasificación de uso de suelo 2019.....	96
Figura 37. Resultado de la clasificación uso de suelo 2020	98
Figura 38. Resultado de la clasificación uso de suelo 2021	100
Figura 39. Resultado de la clasificación de uso de suelo 2022.....	102
Figura 40. Resultado de la clasificación de uso de suelo 2023.....	104
Figura 41. Transición del uso del suelo (2016-2023)	110
Figura 42. Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría de áreas arenosas naturales entre 2016-2023	110
Figura 43. Pérdidas, permanencias y ganancias de cultivos transitorios entre 2016-2023.....	111

Figura 44. Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría Tejido Urbano Continuo entre 2016-2023	111
Figura 45. Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría Tierras Desnudas entre 2016-2023	111
Figura 46. Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría vegetación secundaria o en transición entre 2016-2023	112
Figura 47. Estructura del encarpetado y almacenamiento de la información cartográfica	113
Figura 48. Diseño estructural de la Geodatabase y estandarización de nombres de geodatasets	115
Figura 49. Almacenamiento estructurado de las entidades geoespaciales resultantes del análisis del uso del suelo.....	116

Resumen

Las variaciones en la ocupación del suelo responden a actividades antropogénicas y transformaciones naturales del ecosistema, influenciadas por variaciones climáticas ocurridas durante el periodo de análisis. Esta investigación analiza la dinámica de múltiples épocas, la utilización y amplitud del suelo en la cuenca del río Huarmey entre 2016 y 2023, mediante imágenes Sentinel-2 extraídas desde Google Earth Engine, así como la aplicación de relaciones espectrales NDVI, NDWI y SAVI. Se aplicó una clasificación supervisada definida por el cruce de dichos índices, validada mediante visitas de campo y ajustes analógicos; y se empleó el sistema Corine Land Cover adaptado a la zona observada. La evaluación de precisión, basada en matrices de confusión y el índice Kappa mostró alta fiabilidad, con precisiones globales superiores al 83%. No obstante, se identificaron dificultades en la discriminación de coberturas espectralmente similares, como vegetación secundaria, tierras desnudas y cultivos transitorios. Los resultados revelan una pérdida neta de más de 56,000 ha de tierras desnudas y una ganancia equivalente en vegetación secundaria, lo que sugiere procesos de revegetación espontánea o abandono de actividades extractivas. La cobertura agrícola y urbana aumentó moderadamente, mientras que las coberturas hídricas se mantuvieron estables, reflejando una dinámica territorial compleja y en transformación.

Palabras claves: Uso del suelo, cambio multitemporal, teledetección, Google Earth Engine, Corine Land Cover, clasificación supervisada, sistemas de información geográfica.

Abstract

Land use changes result from anthropogenic activities and natural ecosystem transformations, influenced by climatic variations during the period of analysis. This study analyzes the multitemporal dynamics of land use and land cover in the Huarmey River basin between 2016 and 2023, using Sentinel-2 imagery extracted from Google Earth Engine and spectral indices NDVI, NDWI, and SAVI. A supervised classification was applied, defined by the combination of these indices, validated through field visits and analogical adjustments. The CORINE Land Cover system was adapted to the characteristics of the study area. Accuracy assessment, based on confusion matrices and the Kappa index, showed high reliability, with overall accuracies above 83%. However, challenges were identified in distinguishing spectrally similar classes such as secondary vegetation, bare soil, and transitional crops. The results reveal a net loss of over 56,000 hectares of bare soil and a corresponding gain in secondary vegetation, suggesting processes of spontaneous revegetation or abandonment of extractive activities. Agricultural and urban cover increased moderately, while water bodies remained stable, reflecting a complex and evolving territorial dynamic.

Keywords: Land use, multitemporal change, remote sensing, Google Earth Engine, CORINE Land Cover, supervised classification, geographic information systems.

I. INTRODUCCIÓN

El análisis multitemporal permitirá la detección de esas variaciones que sufre la utilización de suelo dentro de un lapso determinado gracias a la modificación del clima, así como aquellas acciones antropogénicas. Es por ello, la necesidad de realizar estudios que, a partir de teledetección, determinen el uso de suelo y las permutaciones que sufre el uso del terreno, al igual que la estimación de detrimento y lucro del alcance existente, a derivación de un acontecimiento de la naturaleza o de carácter antropogénico.

Entre los efectos ambientales más destacados a escala planetaria figuran las alteraciones en el empleo y la composición del suelo. La comprensión adecuada de tales dinámicas de modificación paisajística exige una caracterización precisa de las cubiertas que se han visto afectadas, junto con el momento y la ubicación exacta de esas transformaciones. Partiendo de estos elementos, se facilita la delimitación de regiones particularmente vulnerables a futuras variaciones, lo cual habilita la introducción de correcciones pertinentes en los marcos del urbanismo en el ámbito local, así como la ejecución de medidas dirigidas que optimicen la gestión de los recursos terrestres en consonancia con las disposiciones legales, con miras a salvaguardar el equilibrio ecológico y el bienestar colectivo (Niño, 2020).

Investigaciones llevadas a cabo en España sobre las transformaciones en el uso del suelo, revelaron que el 95% de la zona analizada conservó idéntica vegetación entre los dos períodos evaluados, registrándose modificaciones únicamente en el 5% residual. Al enfocarse exclusivamente en esa porción del 5% donde ocurrieron alteraciones, resalta la transición de bosques arbolados hacia cultivos herbáceos (53%), seguida de cerca por la conversión de bosques arbolados a pastizales de secano y de siembras herbáceas a pastizales de secano (cada una con un

16%); finalmente, son observadas variaciones como la transición de áreas naturales a superficies artificiales (10%), así como de matorrales a pastizales de secano (5%) (Vila, 2015).

En América Latina, las repercusiones derivadas de las modificaciones en el uso del suelo también son evidentes, como es palpable en el caso de la microcuenca del río Illangama en Ecuador. Los hallazgos de la investigación indican que, entre 1996 y 2021, la extensión urbana en esta microcuenca experimentó una contracción del 8,1%, mientras que las zonas desprovistas de vegetación se redujeron en un 2,3%. Además, se constató un incremento en el área de páramo del 2,5% entre los dos intervalos analizados, con mayor incidencia en las partes elevadas de la cuenca. Por su parte, el bosque autóctono registró un aumento del 1,9%, el mosaico agropecuario del 4,1% y la vegetación compuesta por arbustos y hierbas del 1,8%. A lo largo de más de dos décadas, la microcuenca ha sufrido una desaparición de las formaciones vegetales densas y semidensas (García & Hachi, 2022).

En el Perú, también se están realizando estudios de análisis temporal del uso del suelo, teniendo como referencia al estudio realizado en Puno el cual arrojó como resultado que, durante un período de cinco años, la extensión total de vegetación autóctona experimentó una reducción sustancial, pasando de más de 12.500 hectáreas en el año 2000 a 10.178 hectáreas en 2005; nivel que se conservó prácticamente inalterado hasta 2016. En cuanto a las comunidades vegetales específicas, el declive más pronunciado se registró en la asociación *Muhlenbergetum fastigiatae*, que en el 2000 representaba el 43,96% de la vegetación nativa, pero para el 2016 apenas cubría el 13,39% del territorio distrital, equivalente a solo un tercio de su dimensión inicial. Tales extensiones se vieron sustituidas por plantaciones de cultivos de ciclo anual (1.131 hectáreas) y por parcelas destinadas a forrajes cultivados (235,7 hectáreas), atribuible a la mayor humedad de los suelos y a su ubicación inferior a los 3.900 mts. de la cota absoluta. No obstante, esa porción

más extensa de estas zonas fue ocupada por la comunidad Calamagrostio vicunaro – Festucetum dolicophyllae (2.026,2 hectáreas), la cual en el 2000 abarcaba un 20,39% y llegó a extenderse hasta el 47,31% de la vegetación natural en el 2016 (Loza & Taype, 2021).

La presente indagación analítica multitemporal se centra en la determinación del cambio en la utilización del suelo sufrido por la cuenca del río Huarney durante el lapso 2016 al 2023. Esta información servirá para la elaboración de la cartografía, dando como resultado mapas Temáticos, la cual servirá de soporte para la toma de decisiones en el ámbito de gobernanza local y planteamientos de proyectos que generen desarrollo en el área de estudio.

1.1 Formulación del problema

1.1.1 Problema principal

¿Cómo se ha manifestado la dinámica del uso del suelo en la cuenca del río Huarney entre 2016 y 2023 mediante análisis multitemporal con imágenes Sentinel-2?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál es la distribución espacial del uso del suelo en la cuenca del río Huarney durante los años 2016 y 2023?
- ¿Qué cambios espaciales y porcentuales se presentan entre 2016 y 2023?
- ¿Cómo estructurar la base de datos espacial de los resultados obtenidos?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Antecedentes nacionales

Torres (2020), emprendió su indagación con el propósito de examinar detalladamente las dinámicas del fenómeno climático El Niño y su interacción evolutiva con los procesos erosivos en los suelos de la región de Lambayeque. Dicha iniciativa perseguía como meta principal, llevar a cabo un examen de múltiples épocas partiendo de representaciones satelitales de esa zona, a modo

de desentrañar los vínculos entre la degradación edáfica y el Fenómeno El Niño. En este sentido, se recurrió a técnicas de manipulación de imágenes satelitales, lo que permitió evaluar las fluctuaciones temporales en el terreno y el follaje por medio de la aplicabilidad de herramientas informáticas y la integración de bandas espectrales, facilitando así la representación de los indicadores asociados a cada factor bajo estudio. Entre los principales hallazgos, destaca que El Niño induce una modificación positiva en los índices IVDN e IBS, evidenciando una revitalización tanto de la capa vegetal como de la configuración mineralógica de los suelos, los cuales experimentan un deterioro gradual a medida que transcurre el tiempo, hasta la irrupción de un nuevo ciclo de este fenómeno.

En síntesis, el fenómeno de El Niño constituye un proceso climático que se manifiesta de forma periódica y que contribuye de manera favorable al restablecimiento y preservación, tanto de los hábitats naturales como del entorno ambiental. En atención a esto, se propone dirigir las estrategias de proyectos de desarrollo hacia medidas preventivas que se alineen armónicamente con la dinámica de este evento.

Echevarria y Roman (2019) en su indagación desarrollada, centraron su atención en efectuar un análisis temporal secuencial acerca de las transformaciones en el empleo y la composición del suelo dentro del distrito de Oxapampa, en Perú. Con este fin, se recurrió a conjuntos de datos derivados de imágenes geoespaciales que abarcaban un lapso de seis años, desde 2014 hasta 2019. Para el manejo de esta información, se empleó el programa ArcGIS en su versión 10.4, mediante el cual se aplicaron ajustes atmosféricos destinados a potenciar la nitidez de las imágenes, junto con una normalización radiométrica orientada a mitigar las repercusiones de la dispersión derivada a causa de partículas en suspensión, las cuales obstaculizan la medición precisa de las superficies. Además, se tomó en cuenta la incidencia de la nubosidad en los registros.

Entre los principales descubrimientos, sobresalen valores altos registrados en 2014 para la capa vegetal (64,14%), en 2018 para las áreas urbanizadas (5,05%) y los cuerpos hídricos (16,53%), así como en 2019 para las extensiones agrícolas (31,83%); por el contrario, se identificaron cifras reducidas en 2014 para las zonas urbanas (0,87%) y agrícolas (22,56%), en 2016 para las áreas acuáticas (4,81%), y en 2018 para la cobertura vegetal (38,21%). Las proporciones de superficie y las variaciones a lo largo de esos seis años se ilustran a través de representaciones gráficas específicas para cada categoría, mientras que, adicionalmente, se utilizó el entorno de R-Studio para someter todos los valores recolectados a pruebas de normalidad. En síntesis, el enfoque multitemporal respaldado por ArcGIS posibilita la medición y el enriquecimiento de datos relevantes que ayudan a desentrañar las mutaciones y el comportamiento de diversos entornos territoriales, promoviendo así un soporte sólido para adoptar medidas dirigidas a la preservación geográfica de ecosistemas holísticos.

Gonzáles (2018), dirigió la meta primordial de su indagación en examinar la recurrencia de los procesos deforestadores y las mutaciones en la extensión arbórea de la provincia de Manu, recurriendo para ello a un escrutinio secuencial en el tiempo de capturas satelitales del sistema LANDSAT, pertenecientes a los periodos 2000, 2008 y 2016. Dicho enfoque buscaba dilucidar el ritmo acelerado en la merma de la capa forestal, al tiempo que contribuía al diseño de una iniciativa orientada al control ambiental. De ahí que el trabajo en cuestión delineara un enfoque metodológico destinado a detectar, dimensionar y plasmar visualmente tanto la deforestación como las contracciones en la cobertura boscosa, apoyándose en una revisión de las alteraciones acaecidas en años recientes mediante el empleo de imágenes generadas por el Landsat 5 y Landsat 8, específicamente referidos a los intervalos de 2000, 2008 y 2016.

Se llevó a cabo la confección de representaciones cartográficas anuales enfocadas en la deforestación, con el fin de plasmar las alteraciones registradas hasta el momento actual, en consonancia con las conclusiones derivadas del análisis efectuado. Dentro de este marco, se adoptó un enfoque metodológico para la integración de mosaicos orientados al examen del coeficiente normalizado de diferencia de vegetación (NDVI), permitiente de la obtención de indicadores sobre la recurrencia de los procesos deforestadores a lo largo de los períodos delimitados en el estudio. A continuación, se recurrió a una técnica de clasificación bajo supervisión destinada a delimitar las zonas cubiertas por flora, y a registrar las modificaciones sufridas en dichas áreas durante los intervalos temporales especificados.

1.2.2 Antecedentes internacionales

García (2022), la meta primordial de este trabajo de indagación radicó en llevar a cabo un escrutinio secuencial a lo largo del tiempo acerca de las fluctuaciones en la utilización del terreno y la extensión de la flora entre 1996 y 2021 en la microcuenca del Río Illangama, considerando sus efectos en las dimensiones societal y ecológica, con el propósito de impulsar un avance perdurable en ese entorno. El esquema metodológico aplicado se inscribió en un marco no experimental, definido por una orientación cualitativa y un radio de acción meramente descriptivo. Para ello, se ejecutó una segmentación guiada de las tomas satelitales Landsat, organizadas en seis grupos, en sintonía con las directrices protocolarias destinadas a la preparación del esquema cartográfico sobre la capa y el aprovechamiento del suelo en el territorio continental ecuatoriano. Respecto al Índice de Vegetación por Diferencia Normalizada, en 1996 los niveles inferiores se situaron en -0,41 y los superiores en 0,48; al paso que en 2021 los umbrales mínimos descendieron a -0,7 y los máximos ascendieron a 0,54.

Entre 1996 y 2021, la extensión urbana en la microcuenca del Río Illangama registró una merma del 8,1%, al igual que las superficies desprovistas de flora experimentaron una disminución del 2,3%. Los análisis revelaron una expansión del 2,5% en las áreas de páramo entre los dos momentos evaluados, con énfasis en las secciones elevadas de la cuenca. Asimismo, se observó un incremento en la capa de bosque autóctono del 1,9%, en el patrón agropecuario mixto del 4,1% y en la formación de arbustos y pastos del 1,8%. A lo largo de ese cuarto de siglo, la microcuenca vio la extinción de las configuraciones vegetales compactas y dispersas, aunque paralelamente se amplió la capacidad de almacenamiento hídrico. Los habitantes locales, predominantemente orientados a la labranza, han impulsado la ampliación de sus parcelas agrícolas y asentamientos residenciales hacia las partes superiores de la cuenca; empero, gracias a la implementación de políticas más robustas para la protección de páramos y masas forestales, tales prácticas han sido progresivamente contenidas. Entre las poblaciones que persisten en el ámbito estudiado figuran Carbón Chinipamba, Padre Rumi, Pucará Pamba, Quindigua Alto y Quishuar.

Goroc (2021) orientó su estudio hacia la categorización de las modalidades de empleo del terreno dentro del ámbito municipal de Venta del Moro, valiéndose de un escrutinio secuencial temporal basado en capturas satelitales procedentes de los sistemas Sentinel-1 y Sentinel-2, todo ello encaminado a la generación de un esquema cartográfico dedicado al ámbito agrario local. Tal configuración de mapas agrícolas despliega múltiples utilidades prácticas, entre las que se cuentan la agilización en la identificación de plantaciones para acceder a los subsidios estipulados en la Política Agraria Común (PAC), el cotejo con registros catastrales que permita una delimitación más precisa de las especies cultivadas en cada lote, además de la evaluación del desarrollo de diversos tipos de cosechas y la verificación de los impactos negativos derivados de infestaciones

o condiciones climáticas adversas, con el propósito último de potenciar y salvaguardar la vitalidad del ramo agropecuario.

En el desarrollo de esta indagación, se reunieron series de capturas satelitales provenientes de los sistemas Sentinel-1 y 2, correspondientes al lapso que va desde septiembre de 2020 hasta la mitad inicial de junio de 2021. Después de haber sometido a tratamiento los registros derivados de tales imágenes, se optó por la estrategia más idónea en cuanto a la detección de plantaciones agrícolas. A tal efecto, se procedió a la recolección de un grupo de observaciones directas en el sitio, con el propósito de extraer las pautas de reflectancia espectral asociadas a cada variedad de cultivo inspeccionada, las cuales luego se confrontaron con las restantes divisiones territoriales del municipio mediante la implementación de variados procedimientos computacionales, orientados a identificar aquel que exhibiera un grado superior de precisión. La evaluación de la robustez inherente a cada una de las aproximaciones se llevó a cabo a través de tablas de contingencia o matrices de discrepancias. Con los datos concluyentes en mano, se generó un esquema cartográfico definitivo que delineaba la segmentación de los cultivos, fundamentado en la modalidad seleccionada y sustentado por las mediciones obtenidas directamente sobre el terreno. Los logros derivados de este proceso ponen de manifiesto que, al integrar las propiedades extraídas tanto Sentinel-1 como Sentinel-2, resulta viable la creación de un mapeo agropecuario efectivo y caracterizado por un alto nivel de exactitud.

González (2021) en su indagación se centró primordialmente en examinar las transformaciones en el empleo y la composición del terreno dentro de las áreas seleccionadas de Popayán (Cauca) y Socha (Boyacá) a lo largo del intervalo comprendido entre 2015 y 2020, recurriendo para ello a la aplicación de la técnica de Diferencia Post-Clasificación sobre capturas generadas por el sistema Vexcel Ultracam D, distinguidas por su excepcional nitidez espacial. En

el marco de este análisis, se incorporaron registros visuales de máxima definición derivados de misiones fotogramétricas aéreas gestionadas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), mientras que, de forma concurrente, se planteó la adopción suplementaria de conjuntos de datos gratuitos alojados en el entorno de Google Earth Engine. A través de las aproximaciones destinadas a la localización de mutaciones, se lograron reconocer las variaciones geográficas empleando secuencias temporales de imágenes orbitales, las cuales respondían a procesos inducidos por intervenciones humanas o por dinámicas inherentes a la naturaleza.

Pimiento (2019) en el marco de su análisis, delineó un esquema productivo emblemático para regiones de esta índole, marcado por prácticas agropecuarias particulares tales como el cultivo exclusivo de papa, la cría de bovinos en régimen extensivo y la expansión de operaciones extractivas mineras; elementos que, en su interacción colectiva, podrían comprometer la integridad inherente del entorno ecológico. Ante esta situación, se planteó un examen secuencial a lo largo del tiempo sobre las alteraciones en la ocupación del terreno, abarcando el intervalo de 1990 a 2015 mediante el empleo de procedimientos de percepción remota, incorporando enfoques de manipulación numérica de tomas orbitales procedentes de los satélites Landsat 5 y Landsat 7; adoptándose el protocolo Corine Land Cover adaptado al contexto colombiano, el cual se armonizó con las categorías contemporáneas de aprovechamiento edáfico conforme al Esquema de Ordenamiento Territorial local. Para cada captura procesada, se implementó un procedimiento de segmentación dirigida, complementado con inspecciones directas sobre el terreno a fin de corroborar la validez del método, junto con la estimación de un coeficiente Kappa que arrojó un resultado de 0,86, indicativo de una categorización de alta calidad. Subsiguientemente, todas las representaciones visuales fueron sometidas a un conjunto variado de rutinas de tratamiento digital en la plataforma ArcGIS, culminando en una superposición de capas que facilitó la identificación

de las transiciones o la continuidad en las modalidades de uso territorial, expresadas en términos de decrementos e incrementos superficiales medidos en hectáreas (Ha) para cada variante específica. Valiéndose de la información recabada, se procedió a la ejecución de un paradigma de proyección hacia el año 2020 mediante el entorno QGIS, lo cual posibilitó el esbozo de una proyección prospectiva respecto a la configuración del empleo del suelo en el ámbito investigado. Las conclusiones derivadas de los análisis efectuados revelaron una contracción marcada en la superficie de matorrales durante el intervalo de 1990 a 2000, al pasar de 4.363,3 a 3.529,44 hectáreas, tendencia que persiste en las etapas subsiguientes y que culmina en una cobertura de 2.836,98 hectáreas para 2015. Por su parte, las extensiones destinadas a actividades agro ganaderas experimentaron un ensanchamiento notable, elevándose de 803,09 a 1.103,04 hectáreas entre 1990 y 2000, con un incremento adicional de 811,8 hectáreas en el lapso de 2000 a 2008; no obstante, para 2015 se registró una mengua de 130,23 hectáreas en su amplitud. De manera análoga, el páramo sufrió una disminución, al transitar de 5.295,89 a 4.887,18 hectáreas a lo largo de esos 25 años. Estas dinámicas de decrecimiento sostenido en formaciones de arbustos, masas boscosas y páramos, contrapuestas al avance progresivo de las parcelas agrícolas, ponen de relieve el impacto directo de las mutaciones en el aprovechamiento territorial dentro del perímetro resguardado; tales contracciones en hábitats sensibles como el páramo no se limitan a la expansión de los linderos cultivables, sino que también se asocian a la extracción minera de carbón y a las disputas latentes por la propiedad de predios en el interior del Parque Nacional Natural Pisba.

Flores (2018) en su investigación emprendida buscaba examinar las transformaciones en el uso del suelo y la cobertura vegetal relativo a la parroquia de Nono durante el intervalo comprendido entre 1990 y 2016, al tiempo que evaluaba los impactos derivados de la implementación de mecanismos económicos orientados a la conservación, impulsados mediante

el Programa Socio Bosque, en las propiedades pertenecientes a catorce participantes individuales. Además, se proponía cuantificar el nivel de influencia ejercido por dicho programa en la preservación de ecosistemas con énfasis en los bosques autóctonos, particularmente el bosque montano, e identificar los elementos que inciden en las alteraciones de uso y cobertura vegetal en la zona, fundamentándose en las opiniones expresadas por los miembros afiliados. El análisis subraya el papel de estos incentivos económicos como una opción viable para mitigar las tensiones sobre el ecosistema del bosque montano, el cual ha sufrido una notable deforestación a causa de intervenciones humanas en las décadas recientes, impulsadas sobre todo por el incremento demográfico y la expansión de las áreas dedicadas a la agricultura.

Mediante el examen de capas geográficas en formato Shapefile junto con datos de censos, sondeos y conversaciones con informantes, fue desplegada una exploración a lo largo de múltiples periodos temporales. Esta aproximación, combinada con los datos recopilados tanto en el laboratorio como en el terreno, facilitó la creación de cartografías especializadas sobre el empleo del terreno y la vegetación presente, las cuales se sometieron a revisión y escrutinio detallado en los intervalos de 1990 a 2000, de 2000 a 2008, y de 2008 a 2016.

Utilizando los datos cartográficos disponibles, se construyeron tablas que detallan las transformaciones registradas, en las que se exponen las extensiones correspondientes a las cubiertas vegetales y al empleo del terreno en cada uno de los intervalos considerados, lo que evidencia que el Programa Socio Bosque ha favorecido la protección de los bosques autóctonos y ha mitigado las tensiones asociadas con la conversión hacia mosaicos agropecuarios y áreas de pastoreo.

Murillo (2019) inició un estudio orientado al análisis diacrónico de las transformaciones en la cubierta vegetal y la ocupación del terreno en cinco localidades emplazadas a lo largo de la

ruta Boyd Roosevelt. Tales emplazamientos integran la franja vegetal colindante con la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CHCP), en la cual subsisten parches forestales que destacan por su elevada diversidad biológica. A efectos de caracterizar y cuantificar esta vegetación, se tomaron como referencias primordiales las representaciones cartográficas correspondientes a los años 1970, 2000 y 2017, proporcionadas por el Organismo ministerial ambiental de la nación panameña, y se suplementaron con imágenes aéreas derivadas de Google Earth. Sobre la base de estos elementos, se procedió a una interpretación en formato digital a través del software ArcGIS. Las conclusiones resaltan, que el grueso de la vegetación identificada en las áreas analizadas pertenece a bosques modificados por intervención humana (42%), un patrón que apunta hacia una erosión paulatina de los bosques primarios en tales territorios. El estudio puso de manifiesto que, entre 2010 y 2017 se produjo una deforestación más acentuada, paralela a la expansión de desarrollos urbanos. Asimismo, se constató que las regiones con mayor degradación forestal se concentran predominantemente en las proximidades de las capitales provinciales; esta dinámica exhibe un avance gradual hacia los ecosistemas boscosos limítrofes con la CHCP, lo que supone un peligro inminente para la resiliencia ecológica de estos hábitats y su viabilidad a largo plazo.

La indagación llevada a cabo adoptó un carácter cuantitativo, caracterizado por un planteamiento descriptivo y un esquema de diseño no experimental con orientación transversal, a través del cual se formula un examen multitemporal de la región que engloba variadas formaciones vegetales vinculadas con las siguientes colectividades: (Sector 1 Colón-Quebrada Bonita hasta Salamanca), (Sector 2 Colón-Coco únicamente hasta Zona Libre), (Sector 3 Panamá-Cerro Jacobo hasta Agua Buena), (Sector 4 Colón-Cativá hasta Nueva Italia), (Sector 5 Panamá-Las Vegas hasta Chilibre Centro). Dichos sectores se dilatan en toda la extensión de la carretera Boyd-Roosevelt, donde se ha constatado un crecimiento en el volumen de iniciativas urbanas a lo largo de la última

década (Farnum y Murillo, 2015); asimismo, estos lugares resguardan remanentes boscosos situados en las inmediaciones de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá.

En la valoración de las modificaciones en el alcance geográfico, fueron empleados los Sistemas de Información Geográfica (SIG) a manera de instrumento fundamental, considerando no solo los elementos ajenos a la zona en cuestión, sino también aquellos inherentes al ecosistema autóctono y a las áreas destinadas a actividades productivas.

Florez et al. (2017) en su estudio, señalaron que una de las estrategias empleadas para examinar las repercusiones ambientales acumuladas a lo largo de los años consiste en rastrear las transformaciones de los ecosistemas a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG); así, este trabajo expone un examen a través de múltiples periodos de un territorio sujeto predominantemente a la acción de dos modalidades de producción: la actividad pecuaria y la extracción minera, en el cual se manifiestan alteraciones ecológicas de considerable magnitud. El enfoque metodológico se inició con la explotación y conversión digital de tomas aéreas correspondientes a 1998 y 2010, junto con una captura obtenida de Google Earth para 2015, la cual fue adecuadamente georreferenciada, operando bajo una escala de 1:25.000. De igual manera, se recurrió al software ArcGIS, con el fin de manejar y tratar los datos recopilados. Dentro del escrutinio realizado, se determinó la naturaleza de las fluctuaciones experimentadas por las formaciones vegetales a lo largo del tiempo, el efecto ejercido por dichas prácticas productivas sobre los sectores arbolados, los espacios que han experimentado dinámicas de restauración y aquellos que, progresivamente, han tendido a extinguirse. El carácter de esta indagación es cuantitativo, con una perspectiva descriptiva que propone un estudio multitemporal de la extensión que abarca diversas configuraciones vegetales asociadas al ámbito de impacto de las explotaciones

auríferas emplazadas en la sección superior de Maltería, adscrita al área municipal de Manizales, en la nación colombiana.

En el proceso de valoración de las alteraciones en las coberturas, se incorporaron tanto los elementos ajenos a la mina como aquellos inherentes al marco de producción, valiéndose de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como un recurso esencial. Dentro de la presente indagación, se recurrió a tomas aéreas capturadas en 1998, a mapas de empleo del terreno obtenidos de CORPOCALDAS (2010), además de una captura procedente de Google Earth correspondiente a 2015, la cual fue convenientemente georreferenciada; todo ello orientado a dilucidar la evolución experimentada por las formaciones superficiales y a precisar el alcance de las repercusiones derivadas de la explotación minera en el territorio. Con el propósito de ordenar y examinar los datos recopilados, se aplicó el programa ArcGIS, procediéndose a la digitalización y al escrutinio detallado bajo una escala de 1:25.000. El modo procedimental es descrito tal como sigue:

Al comienzo del proceso, se procedió a la georreferenciación de la toma aérea correspondiente a 1998, sirviendo esta como base para trazar los contornos y reconocer los diversos polígonos asociados a las formaciones superficiales presentes, sobre los que se efectuó una medición precisa de sus extensiones. Del esquema cartográfico de vegetación para 2010, elaborado en escala 1:25.000 y proporcionado por CORPOCALDAS, aislándose las configuraciones vegetales pertinentes al ámbito investigado, procediéndose a evaluar sus dimensiones mientras se uniformaban las denominaciones empleadas en las coberturas de 1998 y 2010, con el objetivo de facilitar su cotejo mutuo. Partiendo de la captura satelital obtenida mediante Google Earth en 2015, se delimitó nuevamente el perímetro de la zona en cuestión, ajustando los polígonos con referencia a la cartografía de 2010; todo ello destinado a estimar las

superficies involucradas y a discernir las variaciones en relación con las estructuras vegetales registradas en periodos previos.

En última instancia, el propósito radica en correlacionar las modificaciones observadas en las cubiertas territoriales con las prácticas económicas predominantes en la región, poniendo énfasis particular en la explotación ganadera y las operaciones mineras.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar la dinámica del uso del suelo en la cuenca del río Huarmey entre 2016 y 2023 mediante análisis multitemporal con imágenes Sentinel-2.

1.3.2 Objetivos específicos

- Clasificar el uso del suelo en la cuenca del río Huarmey para los años 2016 al 2023.
- Cuantificar los cambios espaciales y porcentuales entre el 2016 al 2023.
- Elaborar la base de datos espacial de la información cartográfica generada.

1.4 Justificación

La demarcación hidrográfica asociada al río Huarmey resulta igualmente susceptible a las transformaciones que experimenta la ocupación del terreno durante lapsos temporales específicos, las cuales responden en gran medida, al impacto del cambio climático y a las intervenciones de origen antrópico; en este contexto, cobra particular relevancia la implementación de un examen multitemporal del uso del suelo, destinado a establecer su categorización y a cuantificar su extensión.

La gestión adecuada del terreno emerge como un componente esencial en la evolución tanto de las comunidades humanas como de los individuos, puesto que representa el pilar central de los sistemas ecológicos. En consecuencia, una administración efectiva de este recurso se revela

indispensable para asegurar el logro de las estrategias de ordenamiento territorial y las medidas de conservación ambiental.

En consecuencia, el análisis multitemporal reviste una importancia fundamental, dado que propicia el reconocimiento de discrepancias entre múltiples instantes cronológicos de referencia, permitiendo así deducir la progresión del entorno ambiental natural o los efectos derivados de esas acciones antropogénicas en el contexto estudiado (Chuvieco, 1995). A lo anterior se agrega la fusión de un registro de información espacial, aunado al empleo de la matriz de transición ideada por Pontius et al. (2004), lo cual posibilita la localización y el examen, desde una óptica espaciotemporal, de las mutaciones y conversiones experimentadas en la utilización del terreno en la demarcación hidrográfica del río Huarmey.

Por último, al tener como resultado la cartografía del análisis multitemporal del uso de suelo podrá ser usada como insumo para estudios relacionados a proyectos de reconstrucción con cambios, planes de control de inundaciones, planes integrales de vulnerabilidad y peligro, programas de urbanismo, programas de preparación geográfica, estudios relacionados a los recursos Hídricos, entre otros; donde el uso de suelo sea de importancia para el desarrollo de estas.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Entre los años 2016 y 2023 se presentan variaciones cuantificables en la superficie y distribución espacial de las categorías de uso del suelo.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1 *Análisis multitemporal*

Para Veloza (2017), los análisis multitemporales consisten en evaluaciones de carácter espacial que se llevan a cabo mediante el cotejo de lecturas interpretativas sobre las formaciones superficiales captadas en imágenes satelitales, representaciones cartográficas o instantáneas aéreas referidas a un mismo ámbito territorial, pero tomadas en momentos temporales diferenciados. Así, esta aproximación posibilita el examen de las modificaciones generadas en las coberturas del suelo que ya han sido categorizadas con antelación, permitiendo de ese modo, discernir la trayectoria del ecosistema o las afectaciones resultantes de esas acciones del hombre dentro de ese contexto.

Es por esto, que se alinea como un instrumento valioso para contrastar y medir las transformaciones ocurridas durante un intervalo de tiempo definido (García, 2021). Tales estudios multitemporales actúan como el registro disponible de los sucesos del pasado y el ahora en un territorio específico, y se sustentan esencialmente en la delineación de la superficie del planeta por medio de métricas como el aprovechamiento del terreno y la capa vegetal, elementos que por lo general derivan de registros satelitales.

2.1.2 *Uso de suelo*

Según Garrián (2008), el concepto de "uso del suelo" ha sido aplicado convencionalmente con el fin de representar una categorización de las prácticas humanas que implican la apropiación de extensiones territoriales. De forma paralela, en diversos ámbitos disciplinares, se ha empleado para aludir a las consecuencias ambientales vinculadas con la ocupación y la alteración material de segmentos de terreno.

2.1.3 Teledetección

Chuvieco (2010) lo define como un procedimiento que facilita la recopilación de datos relativos a un elemento, una región o un evento específico, mediante el examen detallado de los registros capturados por un dispositivo (sensor) que opera sin conexión física directa con el sujeto en cuestión. Para que esta aproximación resulte viable se requiere que, pese a la falta de interacción material inmediata, surja algún mecanismo de intercambio entre los componentes observados dispuestos en la superficie del planeta, en entornos marinos o en capas atmosféricas, y el sensor montado sobre una base remota (tal como un satélite o una aeronave).

2.1.4 Imágenes satelitales

TELEDET (2019) entiende por imagen satelital, el resultado generado por un instrumento sensorial colocado en un objeto en órbita, que registra esa radiación electromagnética proveniente de la emisión o reflexión de un cuerpo celeste. Dicha imagen se envía luego a las estaciones en tierra, con el fin de facilitar su observación, tratamiento y evaluación.

2.1.5 Metodología Corine Land Cover

Según European Environment Agency (2008) la iniciativa conocida como "Corine Land Cover" de 1990 (CLC90) establece un protocolo particular, diseñada con el propósito de efectuar un registro exhaustivo de las formaciones superficiales del terreno. Este protocolo se materializa en un catálogo integral de las coberturas terrestres y los patrones de utilización del suelo, llevado a cabo dentro del proceso de establecimiento de una plataforma de datos unificada; destinada a funcionar como un instrumento clave en las estrategias ambientales y en la planificación espacial para respaldar la adopción de medidas informadas.

La plataforma de datos sobre cobertura terrestre (CLC) facilita la delineación, la tipificación, la categorización y el contraste de atributos inherentes a dichas formaciones,

derivados de la lectura de capturas satelitales con resolución moderada (como las de Landsat), orientadas a la generación de representaciones cartográficas de coberturas a una escala de 1:100.000.

2.1.6 Matrices de transición

Pontius et al. (2004) lo conceptualiza como el resultado derivado de la superposición de dos representaciones cartográficas pertenecientes a momentos temporales distintos, un enfoque que comúnmente se denomina matriz de tabulación cruzada. Según lo expuesto por López y Plata (2009), relativo a esta estructura matricial (Ilustración 1), las filas ilustran aquellas clasificaciones del mapa correspondientes al periodo inicial (T1), en tanto que las columnas reflejan las clasificaciones asociadas al periodo subsiguiente (T2). Los sectores (P) que mantuvieron su configuración inalterada, o sea, los ámbitos de estabilidad (persistencias) a lo largo de T1 y T2, aparecen destacados en la diagonal mayor de la matriz (P_{jj}).

Por su parte, los componentes situados fuera de dicha diagonal aluden a las mutaciones registradas entre las diversas clases; la fila dedicada al Total T2 (fila 6) refleja la extensión global asignada a cada categoría en T2 ($P+n$), al tiempo que la columna referida al Total T1 (columna 6) denota la extensión aggregate de cada categoría durante T1 ($P+n$). En consecuencia, la fila 7, identificada como ganancia bruta (G_{ij}), revela la fracción del entorno paisajístico registrante del incremento entre el primer y el segundo periodo temporal; esto es, la discrepancia entre los sumatorios de la fila 6 y las porciones que conservaron su estado.

Respecto a la columna 7, la misma encarna la pérdida bruta (L_{ij}) experimentada por cada categoría a lo largo de T1 y T2, equivalente a la brecha entre el Total T1 y las magnitudes ubicadas en la diagonal principal.

La magnitud identificada como "persistencia" tiene manifiesto en la diagonal dominante de la matriz, y juega un rol esencial en la estimación de dos formas de variaciones: los aumentos y las disminuciones. Tal como se apuntó con anterioridad, esta información contribuye a la cuantificación de las permutas, al igual que a la determinación del parámetro de "cambio total", derivado de la agregación de los incrementos y las reducciones, formulado como $DT_j = G_{ij} + L_{ij}$. Tales indicadores facilitan la medición precisa de la transformación efectiva padecida por cada una de las clases consideradas, permitiendo discernir si un territorio paisajístico conserva su constancia o, por el contrario, atraviesa procesos de modificación.

2.1.7 Sistema de información geográfica

Para Tomlin (1990), los SIG (Sistemas de Información Geográfica), se esbozan como “conjunto de software y hardware, diseñados para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos”.

En consecuencia, para Moridi et al. (2015), los mencionados emergen como el instrumento predilecto para el esbozo de representaciones cartográficas de la cobertura superficial del planeta, al igual que para la organización, el tratamiento y la evaluación de conjuntos de datos temáticos interconectados. Dichos sistemas confieren a los investigadores la posibilidad de almacenar, alterar y representar gráficamente los detalles relativos a un territorio determinado; además, posibilitan la exploración, la comprensión, el escrutinio, la interpretación y la exposición de esa información a través de múltiples perspectivas que ponen de manifiesto interrelaciones, estructuras y evoluciones, manifestadas en mapas, documentos analíticos y representaciones visuales (Greenberg et al., 2003).

Por su parte, los conjuntos de datos manejados en los SIG proceden de diversos orígenes y pueden someterse a procesos de modificación y examen bajo enfoques diferenciados (Olaya, 2014). En un SIG concurren cinco componentes esenciales:

- Los datos. Son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG.
- Métodos. Una agrupación de enunciaciones y procedimientos metodológicos a implementar sobre los registros informativos.
- Software. Resulta requirente una aplicación informática que sea capaz de trabajar con la data informativa, así como implementar las metodologías previamente mencionadas.
- Hardware. El equipo que se requiere para la ejecución del software.
- Personas. El recurso humano tiene a su cargo tanto el diseño como el empleo del software, simbolizando el impulsador del SIG.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Análisis multitemporal

Se trata de un examen espacial efectuado a partir de la confrontación entre las coberturas discernidas en dos o más imágenes satelitales o representaciones cartográficas de una misma zona, capturadas en instantes temporales disímiles, lo cual posibilita la apreciación de las variaciones en el estado de las coberturas previamente categorizadas. Puesto que los meses del año y los periodos anuales exhiben diferencias en sus atributos climáticos, un enfoque multitemporal se muestra notablemente más comprehensivo respecto al estudio limitado a una representación pictórica única (ScanTerra, 2015).

2.2.2 Análisis multitemporal de cambio de uso de suelos

Los análisis multitemporales se emprenden primordialmente para identificar alteraciones entre dos o más momentos de referencia, lo que permite inferir el progreso del medio ambiente,

como esos efectos derivados de las intervenciones humanas en dicho ámbito. Asimismo, dichos enfoques resultan fundamentales en la elaboración de estrategias pertinentes destinadas a prevenir su degradación o a promover una preservación más efectiva. El objetivo de los estudios multitemporales es encontrar una forma de combinar o integrar en el proceso varias imágenes correspondientes a diferentes fechas. Normalmente, las energías de examinar y esculpir esos procedimientos de cambio de uso del suelo están orientados para contestar las incógnitas que siguen: ¿cómo y por qué sucede la variación en el uso del suelo?, ¿dónde?; estas tres interrogantes fundamentales son abordadas a través de procedimientos metodológicos soportados en el empleo de sensores remotos y análisis estadístico espacial (Sandoval et al., 2005).

2.3 Marco legal

2.3.1 Constitución política del Perú

La Constitución Política del Perú constituye la base normativa principal para la protección ambiental y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales. En su artículo 2, inciso 22, reconoce el derecho fundamental de toda persona a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida. Asimismo, los artículos 66 y 67 establecen que los recursos naturales son patrimonio de la Nación, y que el Estado tiene la obligación de promover su conservación y uso sostenible.

2.3.2 Ley General del ambiente – Ley N.º 28611

La Ley General del Ambiente constituye la principal norma ambiental peruana, y establece los principios y lineamientos para la gestión ambiental del territorio. Esta ley promueve la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y la prevención de la degradación ambiental.

2.3.3 Ley Orgánica para el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales – Ley N.º 26821

Establece que el uso de los recursos naturales debe desarrollarse bajo criterios de sostenibilidad, conservación ambiental y equilibrio ecológico.

2.3.4 Ley de Recursos Hídricos – Ley N.º 29338

Reconoce a la cuenca hidrográfica como unidad básica de planificación y gestión de los recursos hídricos, siendo fundamental para estudios territoriales en cuencas.

2.3.5 Decreto Legislativo N.º 1013

Establece al IGN como ente rector de la cartografía oficial del Perú, y responsable de normar la información cartográfica y geodésica nacional.

2.3.6 Ley del Instituto Geográfico Nacional – Ley N.º 27292

Promueve la integración y estandarización de la información territorial y cartográfica mediante el Sistema Nacional Integrado de Catastro.

2.3.7 Decreto Supremo N.º 005-2018-JUS

Precisa conceptos relacionados con cartografía oficial y el uso de sistemas geodésicos oficiales como WGS84 y UTM.

III. MÉTODO

3.1 Enfoque de la investigación

La investigación se desarrolla bajo el enfoque cuantitativo, debido a que plantea medición numérica, análisis estadístico y procedimiento digital de imágenes satelitales para evaluar la dinámica del uso de suelo.

3.2 Tipo y alcance de la investigación

La investigación es de tipo aplicada, ya que utiliza herramientas de teledetección y sistemas de información geográfica para analizar un fenómeno territorial concreto.

El alcance es descriptivo, porque busca caracterizar y cuantificar los cambios en el uso del suelo, sin establecer relaciones causales.

3.3 Diseño de investigación

El diseño de la investigación es no experimental, ya que no se manipulan deliberadamente las variables, sino que se observan los fenómenos en su contexto natural.

Asimismo, el estudio corresponde a un diseño longitudinal de tendencia, debido a que analiza los cambios del uso del suelo en la cuenca del río Huarmey en dos momentos temporales distintos (2016 y 2023), permitiendo identificar variaciones espaciales del fenómeno a lo largo del tiempo sin intervenir en él.

3.4 Ámbito temporal y espacial

3.4.1 Ubicación

Con relación al ámbito del estudio investigativo, se dará en la cuenca del río Huarmey localizada dentro del departamento de Ancash, en el periodo 2016 al 2023. La mencionada cuenca tiene una ubicación geográfica entre los meridianos 78°10'39'' y 77°27'19'' de longitud oeste, y

los paralelos 10°11'21'' y 9°37'16'' de latitud sur; y a su vez la delimitan las siguientes coordenadas UTM WGS-84, Zona 18 Sur.

Tabla 1

Ubicación geográfica

UBICACIÓN GEOGRÁFICA		
Nº	UTM WGS-84 ZONA 18 S ESTE	NORTE
1	230752.56	8872082.90
2	230752.56	8935386.19
3	151713.55	8935386.19
4	151713.55	8872082.90

Figura 1

Localización territorial de la cuenca del río Huarmey



3.4.2 Demarcación política

Desde el punto de vista administrativo, se sitúa en el departamento de Áncash y se extiende a lo largo de tres provincias, entre las que Huarmey invade la proporción mayor del territorio de la cuenca, en tanto que Aija y Recuay lo hacen en una escala más reducida. La cuenca del río Huarmey comprende diversos distritos, tal es indicado en la tabla continua.

Tabla 2

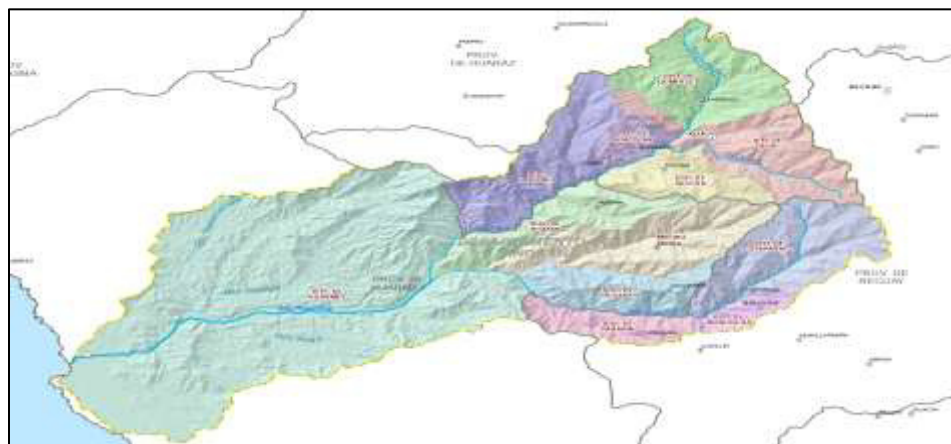
Distritos ubicados en la cuenca del río Huarmey

DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Aija	Aija
		Coris
		Huacllan
		La Merced
		Succha
	Huarmey	Cochapeti
		Huarmey
		Huayan
		Malvas
	Recuay	Cotaparaco
		Pararin
		Tapacocha

La cuenca del río Huarmey posee una delimitación geográfica de 224,499.10 Ha, y sus aguas vierten hacia el Océano Pacífico; pudiéndose observar su localización política en la figura siguiente.

Figura 2

Localización política de la cuenca del río Huarmey



3.4.3 Límites administrativos

Desde una perspectiva administrativa, la cuenca analizada tiene incorporación en la Administración Local del Agua Casma-Huarmey, mientras que permanece bajo la jurisdicción de

la Autoridad Administrativa del Agua IV Huarmey – Chicama. La representación gráfica que sigue a continuación ilustra la delimitación administrativa de esta cuenca.

Figura 3

Localización administrativa de la cuenca del río Huarmey



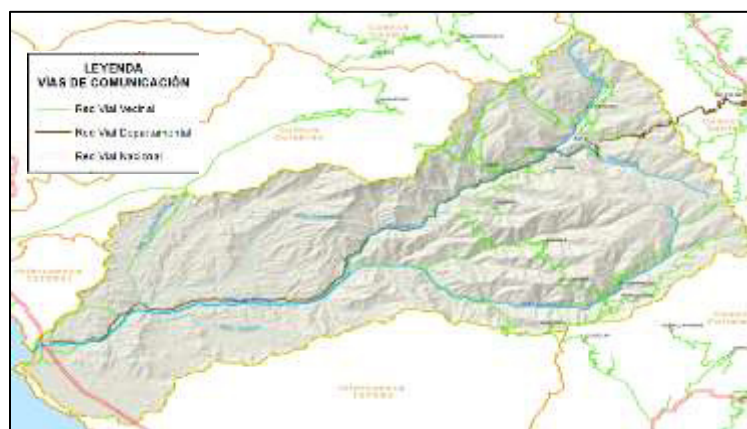
3.4.4 Vías de comunicación

La ruta transcendental de entrada al área distrital de Huarmey se materializa mediante la carretera Panamericana Norte, que enlaza la urbe homónima con las localidades de Casma y Chimbote hacia el norte, y con la capital limeña en dirección sur.

Una vía asfaltada surca la cuenca del río Huarmey, iniciando su trayecto en la localidad de Huarmey y prolongándose en alineación paralela al lecho del río hasta el enclave de Huamba Baja. En ese sitio, se divide en dos ramales: uno de ellos se adapta al trazado del río Aija, posibilitando la llegada a las demarcaciones de Coris, Succha, Huacllan, Huayán, Aija y Huaraz; siendo este último situado en el interior de la cuenca del río Santa. El otro ramal, que igualmente surge de Huamba Baja, se extiende por la orilla izquierda del río Malvas, conectando con las zonas de Malvas, Cochapeti, Cotaparaco, Tapacocha, Recuay y Huaraz, de los cuales los dos últimos integran la cuenca del río Santa. La tabla que se muestra seguidamente recoge las medidas de los itinerarios entre las divisiones administrativas incluidas en esta cuenca.

Tabla 3*Distancias entre distritos de la cuenca del río Huarmey (Km)*

	Huarmey	Coris	Huayan	Malvas	Cochapeti	Pararin	Huacclan	Succha	Cotaparaco	Tapacocha	La Merced	Aija
Huarmey		80.7	93.3	88.4	99.5	108	86.1	85.1	94.3	111	133	141
Coris	80.7		34	81.1	77.2	82.5	8.1	17.7	63.5	86	52.9	60.3
Huayan	93.3	34		50.5	79.9	85.2	26.4	20.4	66.2	88.8	85.6	95.4
Malvas	88.4	81.1	50.5		17.1	49.9	86.5	76.6	31	53.4	114	106
Cochapeti	99.5	77.2	79.9	17.1		32.8	69.3	61.4	13.9	36.3	96.6	89.3
Pararin	108	82.5	85.2	49.9	32.8		74.6	66.7	19.1	16.3	102	94.6
Huacclan	86.1	8.1	26.4	86.5	69.3	74.6		8	55.6	78.2	60.7	68.1
Succha	85.1	17.7	20.4	76.6	61.4	66.7	8		47.7	70.2	68.5	77.3
Cotaparaco	94.3	63.5	66.2	31	13.9	19.1	55.6	47.7		22.6	82.9	75.6
Tapacocha	111	86	88.8	53.4	36.3	16.3	78.2	70.2	22.6		105	98.1
La Merced	133	52.9	85.6	114	96.6	102	60.7	68.5	82.9	105		7.4
Aija	141	60.3	95.4	106	89.3	94.6	68.1	77.3	75.6	98.1	7.4	

Figura 4*Vías de comunicación de la cuenca del río Huarmey*

3.4.5 Red hidrográfica

Situada dentro del departamento de Áncash, la cuenca hidrográfica del río Huarmey se despliega por las provincias de Huarmey, que concentra la fracción predominante de su extensión territorial, Aija y Recuay. Sus límites se trazan en dirección norte con las cuencas de los ríos Casma y Culebras; al sur, con la del río Fortaleza; al este, con la del río Santa; al oeste, con el océano Pacífico. El ámbito superficial completo de la misma, totaliza 224.499,10 hectáreas, mientras que

su altitud media se sitúa en 2.948 mts. de la cota absoluta. El río Huarmey posee su origen en lagunas andinas situadas a gran altitud, tales como Utato, Toco, Shiquish y Murpa, emplazadas en las proximidades de los 4.600 metros de la cota absoluta; y su volumen hidráulico se alimenta primordialmente de las lluvias registradas en las secciones elevadas del flanco oeste de la Cordillera Negra. En su recorrido inicial, las aguas avanzan con el apelativo de Huayup, para posteriormente asumir la designación de río Aija, que se preserva hasta el punto de unión con el río Yanaparín, donde finalmente se le conoce como río Huarmey. El lecho principal exhibe una inclinación promedio del 4,8%, y cubre una longitud estimada de 100 kilómetros hasta llegar a su desembocadura.

De modo semejante a lo que se aprecia en la mayoría de los cursos fluviales costeros, el Huarmey despliega un perfil ligeramente sinuoso desde su nacimiento hasta el océano, caracterizado por un relieve escarpado y encajonado en cañadas de considerable hondura. La naturaleza intermitente de las lluvias dentro del perímetro de drenaje provoca una disparidad sustancial entre sus caudales pico y sus niveles más reducidos. La representación gráfica que se incluye a continuación detalla la disposición del sistema de desagüe vinculado a la cuenca del río Huarmey.

Figura 5

Red hidrográfica de la cuenca del río Huarmey



3.4.6 Unidad hidrográfica

De conformidad con el examen hidrológico desarrollado en la cuenca del Río Huarmey (INRENA, 2007), esta se configura como una Unidad Hidrográfica reconocida oficialmente, cuya demarcación y asignación numérica (aplicando el sistema Pfafstetter) corrió a cargo de la Autoridad Nacional del Agua [ANA] de los años 2008 y 2012, que le confirió el código 137 594 correspondiente al nivel 6.

La tabla que se expone a continuación detalla la designación, la asignación numérica y la amplitud de las 9 Unidades Hidrográficas de menor jerarquía identificadas en el perímetro de análisis; al paso que la gráfica inmediata subsiguiente despliega la representación cartográfica de tales Unidades Hidrográficas.

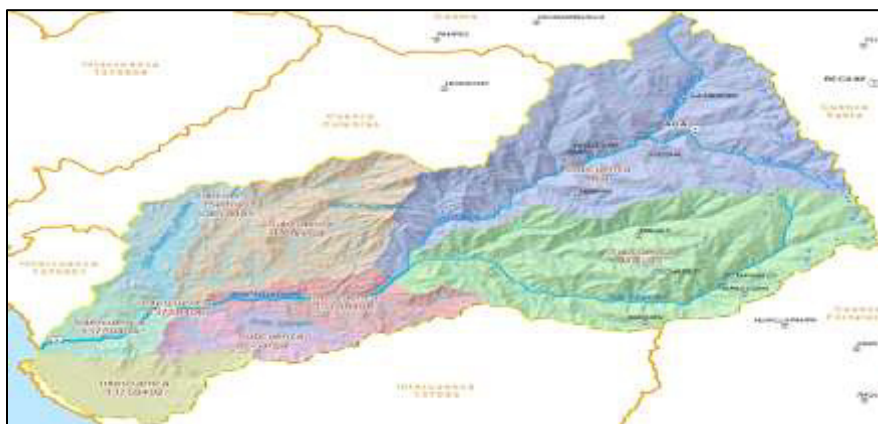
Tabla 4

Unidades hidrográficas de la cuenca del río Huarmey

Unidad Hidrográfica	Superficie (%)	Cauce principal
Huarmey	100	Río Huarmey
Intercuenca 13759402	6.24	Río Huarmey
Intercuenca 13759404	4.13	Río Huarmey
Intercuenca 13759406	0.17	Río Huarmey
Intercuenca 13759408	6.09	Río Huarmey
Subcuenca Ajia	32.11	Río Ajia
Subcuenca Gargal	4.96	Quebrada Gargar
Subcuenca Malvas	27.74	Río Malvas
Subcuenca Pedregal	13.83	Río Pedregal
Subcuenca Piedras Labradas	4.74	Quebrada Piedras labradas

Figura 6

Unidades hidrográficas de la cuenca del río Huarmey



3.4.7 Geología

Abarca una sucesión de formaciones sedimentarias junto con intrusiones subvolcánicas, cuyas edades geológicas se extienden desde el Cretácico superior del Mesozoico hasta el Holoceno del Cuaternario en el Cenozoico.

Tabla 5

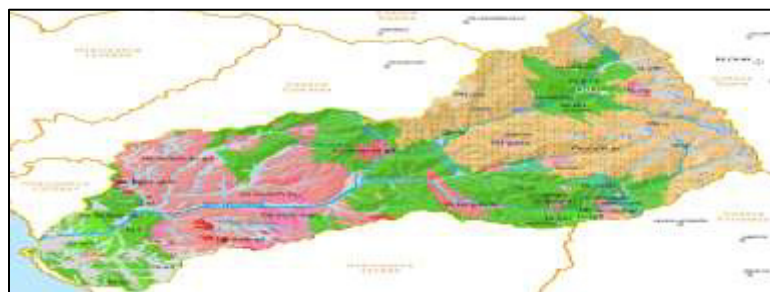
Unidades geológicas de la cuenca del río Huarmey

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE	
		Ha	%
Qh-al	Depósito aluvial	622.91	0.28
Ki-s,ca	Formación Santa, Carhuaz	11,940.57	5.32
Ki-lz	Formación La Zorra	3,503.99	1.56
Ki-ju	Formación Junco	42,431.22	18.90
Q-eo	Depósito eólico	2,491.10	1.11
Ks-bc/sr/c-tn,gd	Batolito de la Costa - Super Unidad Santa Rosa - Unidad Corralillo - tonalita, granodiorita	16,648.37	7.42
Ki-bc/p-di,tn	Batolito de la Costa - Super Unidad Paccho - diorita, tonalita	2,984.32	1.33
Q-gl	Depósito glaciar	6,049.11	2.69
Ki-chi	Formación Chimú	3,202.88	1.43
La	Laguna	306.87	0.14
PN-c	Grupo Calipuy	16,533.71	7.36
Pp-bc/p-mgr	Batolito de la Costa - Super Unidad Puscao - monzogranito	5,300.20	2.36
Ks-bc/sr-tn,gd	Batolito de la Costa - Super Unidad Santa Rosa - tonalita, granodiorita	2,907.93	1.30
N-mz	Monzonita	578.10	0.26
Q-glfl	Depósito glaciar, fluvial	3,125.40	1.39

PN-c/s	Grupo Calipuy - Miembro superior	1,910.23	0.85
KP-bc/sj-mgr	Batolito de la Costa - Super Unidad San Jerónimo - monzogranito	2,529.82	1.13
Ki-lz/lm	Formación La Zorra - Miembro Los Morros	3,450.21	1.54
Ki-lz/ll	Formación La Zorra - Miembro Llacllapunta	439.92	0.20
Pp-bc/p-gd	Batolito de la Costa - Super Unidad Puscao - granodiorita	137.81	0.06
Ks-bc/sr/p-apl	Batolito de la Costa - Super Unidad Santa Rosa - Unidad Pedregal - aplita	76.43	0.03
Ks-bc/sr/h-tn	Batolito de la Costa - Super Unidad Santa Rosa - Unidad Huaricanga - tonalita	13,380.23	5.96
Ki-bc/p-di	Batolito de la Costa - Super Unidad Paccho - Diorita	339.38	0.15
Q-al	Depósito aluvial	24,232.97	10.79
PN-gd,tn	Granodiorita, tonalita	865.78	0.39
Ks-bc/pt-gbdi	Batolito de la Costa - Super Unidad Patap - gabrodiorita	1,574.26	0.70
Peo-c-lv,pi	Grupo Calipuy - lavas, rocas piroclásticas	46,335.39	20.64
Ki-coch	Formación Cochapunta	5,633.24	2.51
Ki-l	Formación Lupín	4,542.68	2.02
Ki-par	Formación Pararín	424.07	0.19
TOTAL		224499.10	100.00

Figura 7

Unidades geológicas de la cuenca del río Huarmey

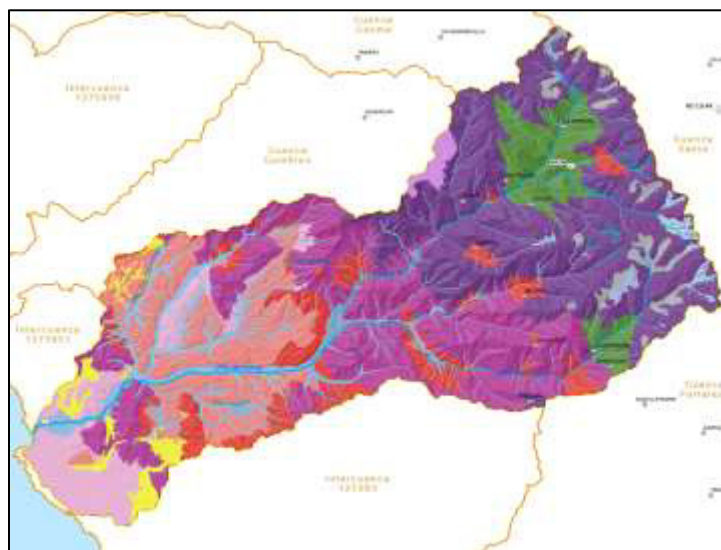


3.4.8 Geomorfología

Cuenta con quince (16) unidades geomorfológicas, repartidas de manera homogénea y dispersa a lo largo de toda la cuenca de las cuales se presentan en el siguiente cuadro. Ver detalles en la siguiente figura.

Tabla 6*Unidades geomorfológicas de la cuenca del río Huarmey*

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS			
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE	
		Ha	%
Ab	Abanico de piedemonte	5351.94	2.38
M-a	Mantos de arena	5185.72	2.31
Mo	Morrenas	4756.06	2.12
M-vl	Meseta volcánica lávica	1761.46	0.78
RCL-ri	Colina y lomada en roca intrusiva	28734.62	12.80
RCL-rv	Colina y lomada en roca volcánica	556.66	0.25
RCL-rvs	Colina y lomada en roca volcano-sedimentaria	14818.79	6.60
RM-ri	Montaña en roca intrusiva	19826.74	8.83
RM-rs	Montaña en roca sedimentaria	15104.59	6.73
RM-rv	Montaña en roca volcánica	63688.71	28.37
RM-rvs	Montaña en roca volcano-sedimentaria	51348.10	22.87
T-al	Terraza aluvial	9251.72	4.12
V-cd	Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	805.89	0.36
V-d	Vertiente coluvial de detritos	28.48	0.01
V-gfl	Vertiente glacio-fluvial	1499.24	0.67
Vll-gl/l	Valle glacial con laguna	1780.37	0.79
TOTAL		224499.10	100.00

Figura 8*Unidades geomorfológicas de la cuenca del río Huarmey*

3.4.9 Clasificación climática

Tras un intervalo de 33 años, el Mapa de Clasificación Climática ha sido renovado, revelando un abanico de 38 tipos climáticos extendidos por todo el ámbito nacional, y adaptados en cada departamento de acuerdo con sus atributos específicos en materia de temperatura, precipitación y evapotranspiración.

De acuerdo con la descripción de los climas existentes en el territorio nacional basados en los índices, considerando el Sistema de Clasificación Climática de Thornthwaite, en la cuenca analizada es posible distinguir las tipologías climáticas que siguen:

Tabla 7

Clasificación climática de la cuenca del río Huarmey

CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA			
SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE	
		Ha	%
B (i) C'	Lluvioso con invierno seco. Frío	1939.15	0.86
B (o , i) C'	Lluvioso con otoño e invierno secos. Frío	61476.61	27.38
C (i) B'	Semiseco con invierno seco. Templado	26049.94	11.60
C (o , i) C'	Semiseco con otoño e invierno secos. Frío	6603.79	2.94
D (i) B'	Semiárido con invierno seco. Templado	29377.74	13.09
E (d) B'	Árido con deficiencia de humedad en todas las estaciones del año. Templado	99051.86	44.12
TOTAL		224499.10	100.00

De acuerdo con esta información, en la siguiente figura se pueden distinguir los seis tipos climáticos que comprende la cuenca analizada.

siguiente figura; los más importantes por su extensión son los pajonales y matorrales andinos (cuenca alta).

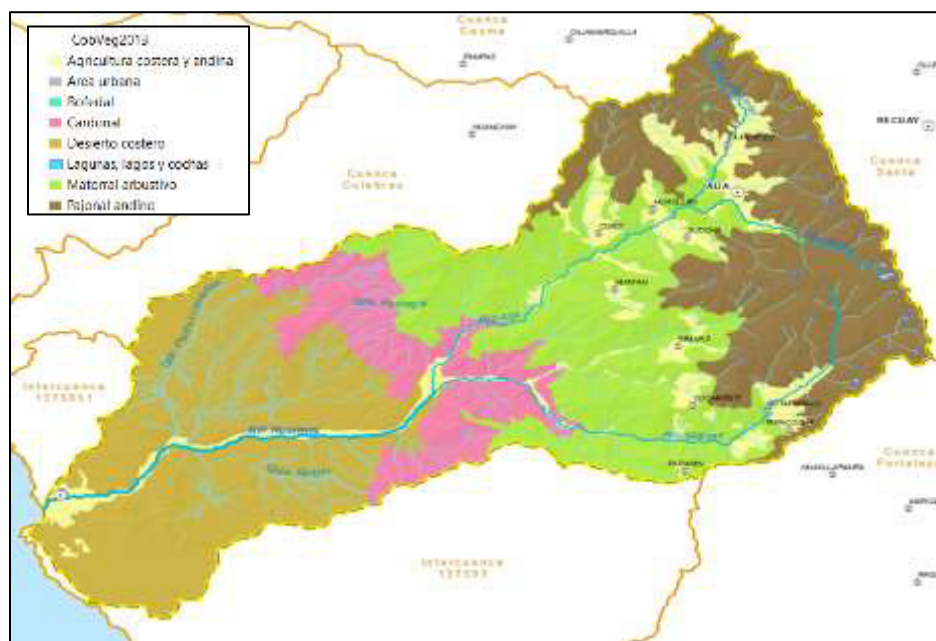
Tabla 8

Cobertura vegetal de la cuenca del río Huarmey

COBERTURA VEGETAL			
SIMBOLO	DESCRIPCIÓN	SUPERFICIE	
		Ha	%
Agri	Agricultura costera y andina	21864.58	9.74
Bo	Bofedal	37.38	0.02
Car	Cardonal	24043.47	10.71
Dc	Desierto costero	66387.92	29.57
L/Co	Lagunas, lagos y cochas	306.62	0.14
Ma	Matorral arbustivo	55672.20	24.80
Pj	Pajonal andino	56054.82	24.97
U	Área urbana	132.09	0.06
TOTAL		224499.10	100.00

Figura 10

Cobertura vegetal de la cuenca del río Huarmey



3.4.11 Escenario de riesgo por inundación

Con el fin de delimitar las regiones que exhiben una mayor propensión a sufrir episodios de inundación, se procedió a integrar los mapas de susceptibilidad a inundaciones elaborados a escala regional por el INGEMMET; en estos, los aspectos determinantes incorporados incluyen la configuración geomorfológica del paisaje junto con la inclinación del relieve.

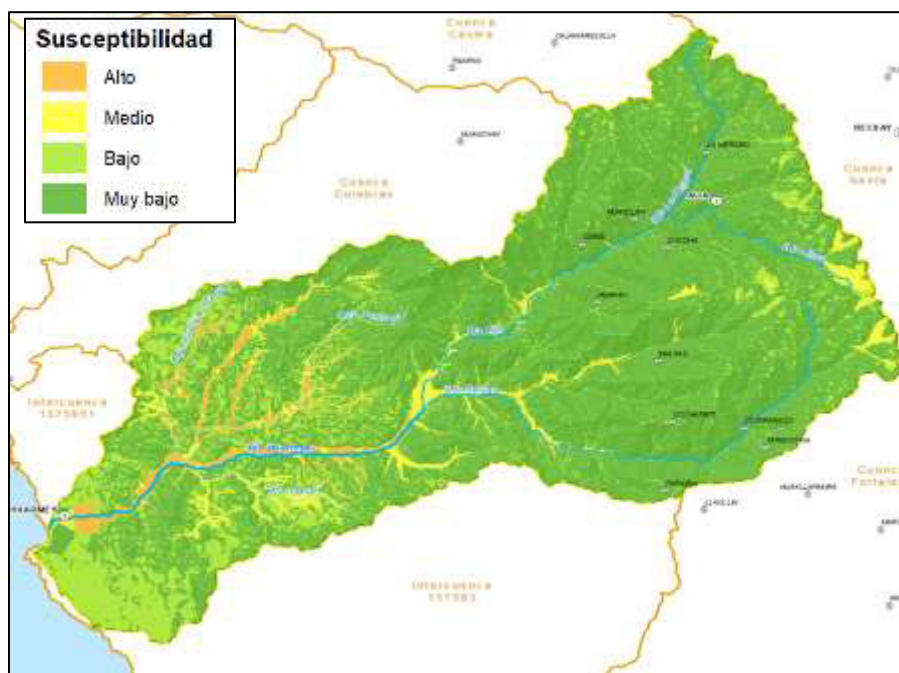
Las zonas con niveles de susceptibilidad elevados y muy elevados se distinguen esencialmente por la presencia de llanuras de inundación, extensiones planas, mesetas elevadas, terrazas fluviales y formaciones semejantes.

Por otro lado, la previsión pluviométrica correspondiente al intervalo de marzo a mayo de 2024 resalta las regiones en las que se esperan precipitaciones superiores a los valores habituales (marcadas con un contorno negro), lo que orienta la evaluación del contexto de riesgo ante inundaciones hacia dichas áreas.

En la cuenca del río Huarney se han identificado, en forma general, 4 tipos de niveles de susceptibilidad de riesgo por inundación alto, medio, bajo y muy bajo el cual tiene representación en la figura que sigue.

Figura 11

Escenario de riesgos por inundación de la cuenca del río Huarmey



3.4.12 Escenario riesgo por movimiento de masa

Con el propósito de detectar las zonas que manifiestan una mayor vulnerabilidad ante la aparición de huaycos, deslizamientos, caídas o distintas modalidades de movimientos en masa, resulta indispensable comprender las propiedades físicas inherentes al territorio. En este sentido, se procedió a unificar los mapas de susceptibilidad frente a movimientos en masa, confeccionados a escala regional por el INGEMMET.

La confección de los mapas regionales de susceptibilidad a movimientos en masa se fundamentó en una serie de elementos territoriales determinantes, entre los que se incluyen la inclinación del terreno, la morfología del paisaje, la composición litológica, las condiciones hidrogeológicas y el grado de vegetación superficial. En particular, las zonas que registran niveles

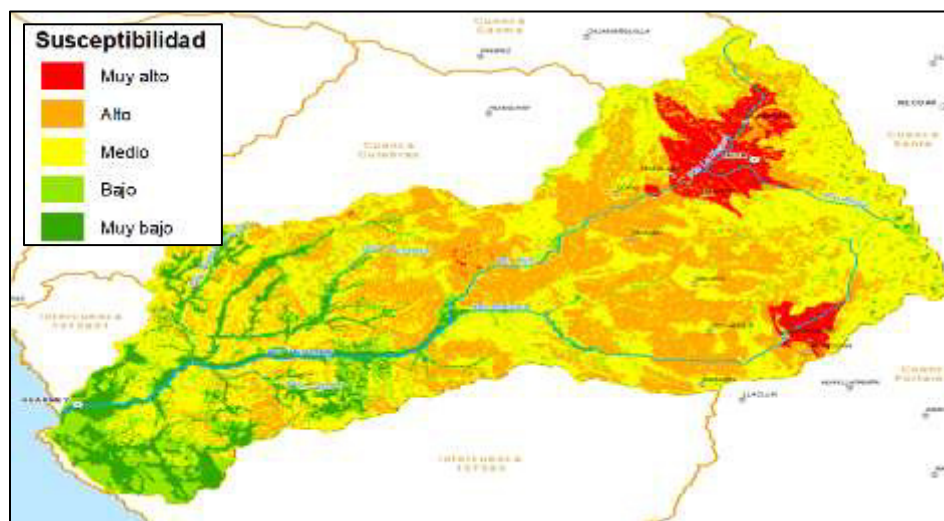
de susceptibilidad elevados y muy elevados destacan fundamentalmente por su topografía montañosa, pendientes pronunciadas y una cobertura vegetal limitada o inexistente.

Además, la eventualidad de que las precipitaciones excedan su régimen habitual (excedente) en determinadas regiones del territorio nacional apunta hacia la posible irrupción de lluvias intensas, las cuales operan como un agente catalizador en la activación de movimientos en masa y, consecuentemente, podrían generar contextos de vulnerabilidad para los habitantes locales. En consecuencia, el marco de riesgo examinado en este estudio concentra su evaluación en aquellas zonas donde se anticipa un sobrante de lluvias, las que aparecen circunscritas por un trazo negro en el mapa de vulnerabilidad a movimientos en masa, ajustado al pronóstico pluviométrico correspondiente al intervalo de marzo a mayo de 2024.

En la cuenca del río Huarmey se han identificado, en forma general, 5 tipos de niveles de susceptibilidad de riesgo por movimiento de masa, el cual es muy alto, alto, medio, bajo y muy bajo; estos niveles de susceptibilidad de riesgo por movimiento de masa son expuestos en la figura que continúa.

Figura 12

Escenario de riesgos por movimiento de masa de la cuenca del río Huarmey



3.5 Variables

3.5.1 Variable dependiente

Dinámica del uso del suelo de la cuenca del río Huarmey

La dinámica del uso del suelo constituye la variable de estudio principal, debido a que representa el fenómeno territorial objeto de análisis. Su evaluación permite identificar los cambios ocurridos en la distribución y extensión de las coberturas presentes en la cuenca del río Huarmey durante el periodo 2016–2023. Para ello, se emplearán técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica, las cuales permitirán cuantificar y representar espacialmente las transformaciones del territorio mediante indicadores de superficie, variación porcentual y transición entre categorías de uso del suelo.

3.5.2 Variable independiente

Análisis multitemporal con imagen satelital Sentinel

La variable independiente no se concibe como un factor causal de la dinámica del uso del suelo, sino como la base metodológica de observación y análisis del fenómeno estudiado. Su inclusión se justifica porque proporciona la información espacial y temporal necesaria para identificar, cuantificar y comparar los cambios ocurridos en las categorías de uso del suelo durante el periodo de estudio. En consecuencia, la relación entre esta variable y la dinámica del uso del suelo es de carácter analítico y metodológico, ya que sin el análisis multitemporal de imágenes Sentinel-2 no sería posible evaluar los cambios espaciales ocurridos en la cuenca del río Huarmey entre los años 2016 y 2023.

Tabla 9*Operacionalización de variables*

VARIABLES DE ESTUDIO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Variable Independiente Análisis multitemporal mediante imágenes Sentinel-2	Técnica de teledetección que permite observar y comparar la superficie terrestre mediante imágenes satelitales obtenidas en diferentes fechas; y el análisis multitemporal de los cambios físicos-espaciales de las imágenes satelitales Sentinel.	Procesamiento de imágenes Sentinel-2 de los años 2016 y 2023 mediante NDVI, clasificación supervisada y validación de exactitud.	Información temporal	Año de observación (2016 y 2023)	Ordinal
			Información espectral	Valores NDVI	Razón
			Clasificación temática	Número de clases identificadas según CORINE Land Cover	Nominal
			Exactitud de clasificación	Índice Kappa	Razón
Variable Dependiente Dinámica del uso del suelo de la cuenca del río Huarmey	Cambios espaciales y temporales de las coberturas y usos del suelo en un territorio determinado.	Comparación de las clasificaciones temáticas de los años 2016 y 2023 para determinar variaciones en superficie, distribución espacial y transición entre categorías.	Distribución espacial	Categorías de uso del suelo	Nominal
			Superficie ocupada	Área por categoría (ha)	Razón
			Cambio espacial	Ganancia y pérdida de cobertura (ha)	Razón
			Cambio porcentual	Variación porcentual (%)	Razón
			Transición de coberturas	Matriz de transición entre clases	Nominal
			Gestión cartográfica	Base de datos espacial generada	Nominal

3.6 Población y muestra

3.6.1 Población

La población de estudio está conformada por toda la superficie territorial de la cuenca del río Huarmey (con una extensión de 2244.99 km²), representada mediante imágenes satelitales Sentinel-2 correspondientes a los años 2016 y 2023. La unidad de análisis corresponde a las coberturas y usos del suelo identificados mediante clasificación supervisada bajo el sistema CORINE Land Cover. No se aplicará muestreo probabilístico, debido a que se analizará la totalidad de la cuenca delimitada en formato shapefile.

3.6.1 Muestra

La investigación no emplea muestreo probabilístico debido a que se trabajará con la totalidad de la superficie de la cuenca del río Huarmey delimitada en formato shapefile.

3.7 Temporalidad

La investigación presenta una temporalidad retrospectiva y longitudinal, debido a que analiza cambios espaciales ocurridos entre los años 2016 y 2023, mediante comparación multitemporal de imágenes satelitales.

3.8 Instrumentos

Los instrumentos usados son los siguientes: Plataforma Google Engine; Catálogo de escenas, para el Análisis de las imágenes satelitales; ArcGIS PRO y Tabla de transiciones.

3.9 Procedimientos

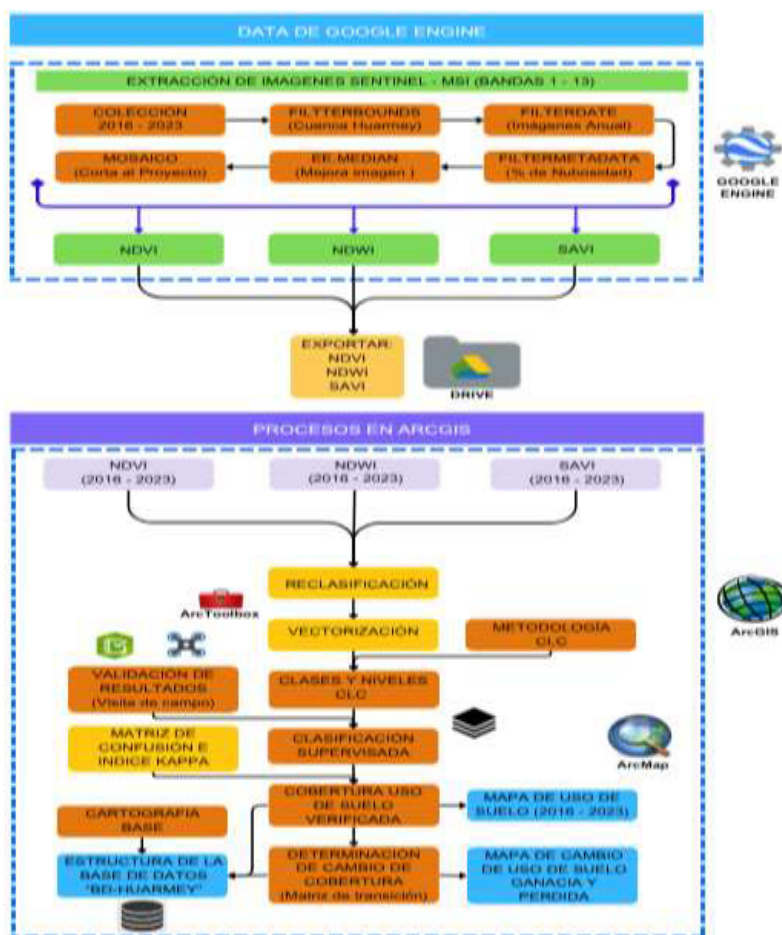
Se definieron los protocolos operativos destinados a la realización de esta indagación, la cual se sustenta en un escrutinio secuencial a lo largo del tiempo valiéndose de capturas orbitales procedentes del sistema Sentinel (de libre disposición), complementado por la integración de aplicaciones informáticas avanzadas y sistemas geoinformáticos alojados en entornos virtuales,

entre ellos ArcGIS, ArcGIS PRO, QGIS y Google Earth Engine; todo ello orientado a recopilar evidencias que permitan reconocer las modificaciones en la ocupación edáfica dentro de la cuenca del río Huarmey.

Para ello, en el desarrollo de este estudio se establecieron dos procedimientos generales el cual cada uno de estos presentan sus respectivos sub-procedimientos. En la siguiente figura se observa el esquema metodológico que explica de manera gráfica los procedimientos a seguir en el desarrollo del presente estudio.

Figura 13

Esquema Metodológico



El esquema metodológico resume los procedimientos ejecutados en el desarrollo del presente estudio, pero para una mejor comprensión se detalla cada procedimiento realizado.

3.10 Tratamiento de información en el entorno Google Engine

Buscando identificar variaciones de uso de suelo es requirente obtener iconografías satelitales como insumo principal en la recaudación de la data necesaria el estudio multitemporal; para ello, se eligió por dos motivos como herramienta tecnológica el entorno Google Earth Engine – GEE. El primer motivo, por la gran capacidad de procesamiento computacional que cuenta esta plataforma ya que trabaja con los servidores de Google; y el uso de código abierto que permitió a nivel de usuario visualizar, analizar y descargar las imágenes satelitales tipo Sentinel y sus productos derivados de dichas imágenes. A continuación, se detalla cada proceso realizado dentro del entorno Google Engine.

- **Proceso de extracción de la colección de imágenes Sentinel 2016 – 2023**

Para extracción de las imágenes satelitales Sentinel se empleó el uso del “Algoritmo del Motor Terrestre” (algoritmo de programación de la plataforma de Google Earth Engine - GEE), algoritmo denominado ee.ImageCollection el cual, mediante una dirección ID, permite extraer la colección de imágenes satelitales públicos y disponibles en el servidor de Google.

La extracción de estas imágenes fue ejecutada mediante un código, el cual se visualiza en la siguiente figura, y la señalización del algoritmo de extracción de la colección de imágenes satelitales.

Figura 14

Código de extracción de la colección de imágenes satelitales Sentinel

```

///EXTRACCIÓN DE IMAGENES SENTINEL

var img2016 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
    .filterBounds(table)
    .filterDate('2016-01-01', '2016-06-30')
    .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 5);

print(img2016)

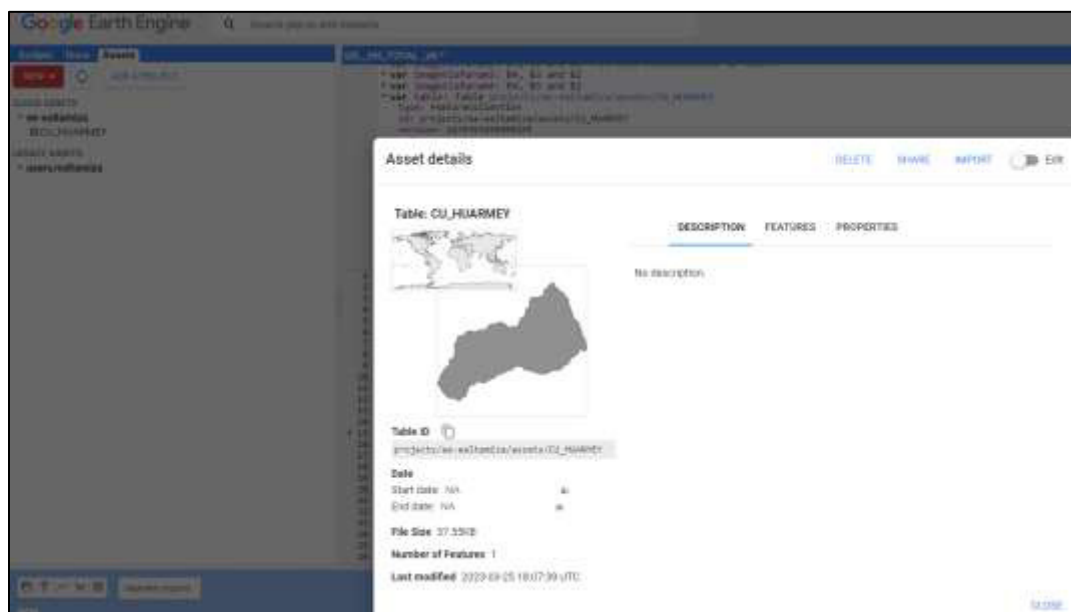
```

- **Proceso filterbounds**

Filterbounds es un proceso de filtro de datos, el cual limita la información (imágenes Sentinel) buscada con un objeto de tipo geometría, siendo en relación a la zona analizada, los límites de la cuenca del río Huarmey. Para ello, fueron subidos a la plataforma de Google Earth Engine dichos límites en archivo en formato shapefile, tal se aprecia en la figura continua.

Figura 15

Importación del Shapefile de la cuenca del río Huarmey



Una vez cargado el archivo shapefile de la cuenca del río Huarney en el código editor, esta los reconocerá como un objeto tipo geometría y el algoritmo filterbBounds filtrará las imágenes satelitales en función a la intersección de dicha geometría; en la siguiente figura, se señala como va unida el algoritmo dentro del código de extracción de imágenes.

Figura 16

Algoritmo de filtrado mediante un objeto tipo geometría

```

///EXTRACCIÓN DE IMAGENES SENTINEL

var img2016 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
                .filterBounds(table)
                .filterDate('2016-01-01', '2016-06-30')
                .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 5);

print(img2016)

```

- **Proceso filterdate**

Filterdate es un proceso de filtrado el cual limita los datos en un rango de fechas que las imágenes fueron tomadas. En la siguiente figura, se observa cómo está configurado el algoritmo Filterdate dentro del código de extracción de las imágenes Sentinel.

Figura 17

Algoritmo de filtrado mediante un rango de fechas

```

///EXTRACCIÓN DE IMAGENES SENTINEL

var img2016 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
                .filterBounds(table)
                .filterDate('2016-01-01', '2016-06-30')
                .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 5);

print(img2016)

```

- **Proceso filtermetadata**

Es un proceso de filtrado en función a la metadata que contiene cada imagen satelital; para este caso particular se filtró con la metadata de porcentaje de nubosidad menores iguales al 5%. A

continuación, es mostrado el algoritmo del proceso de filtrado, así como su configuración dentro de la sintaxis del código de extracción.

Figura 18

Algoritmo de filtrado mediante la utilización de la metadata de la representación satelital

```

///EXTRACCIÓN DE IMAGENES SENTINEL

var img2016 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2')
    .filterBounds(table)
    .filterDate('2016-01-01', '2016-06-30')
    .filterMetadata('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 'Less_Than', 5);

print(img2016)

```

- **Proceso de reducción y EE. Median**

El proceso tiene como función, reducir una colección de imágenes calculándolo mediante la mediana media máxima y mínima de los valores de cada píxel de las bandas coincidentes de las iconografías satelitales extraídas, que están dentro de la extensión analizada.

Figura 19

Código de reducción de las imágenes satelitales

```

var Mosaico2016 = imgmediana2016_2.clip(table);

print(Mosaico2016);

Map.addLayer(Mosaico2016, {max:1, min:0,
bands:['B4_median', 'B3_median', 'B2_median']}, 'Mosaico2016');

```

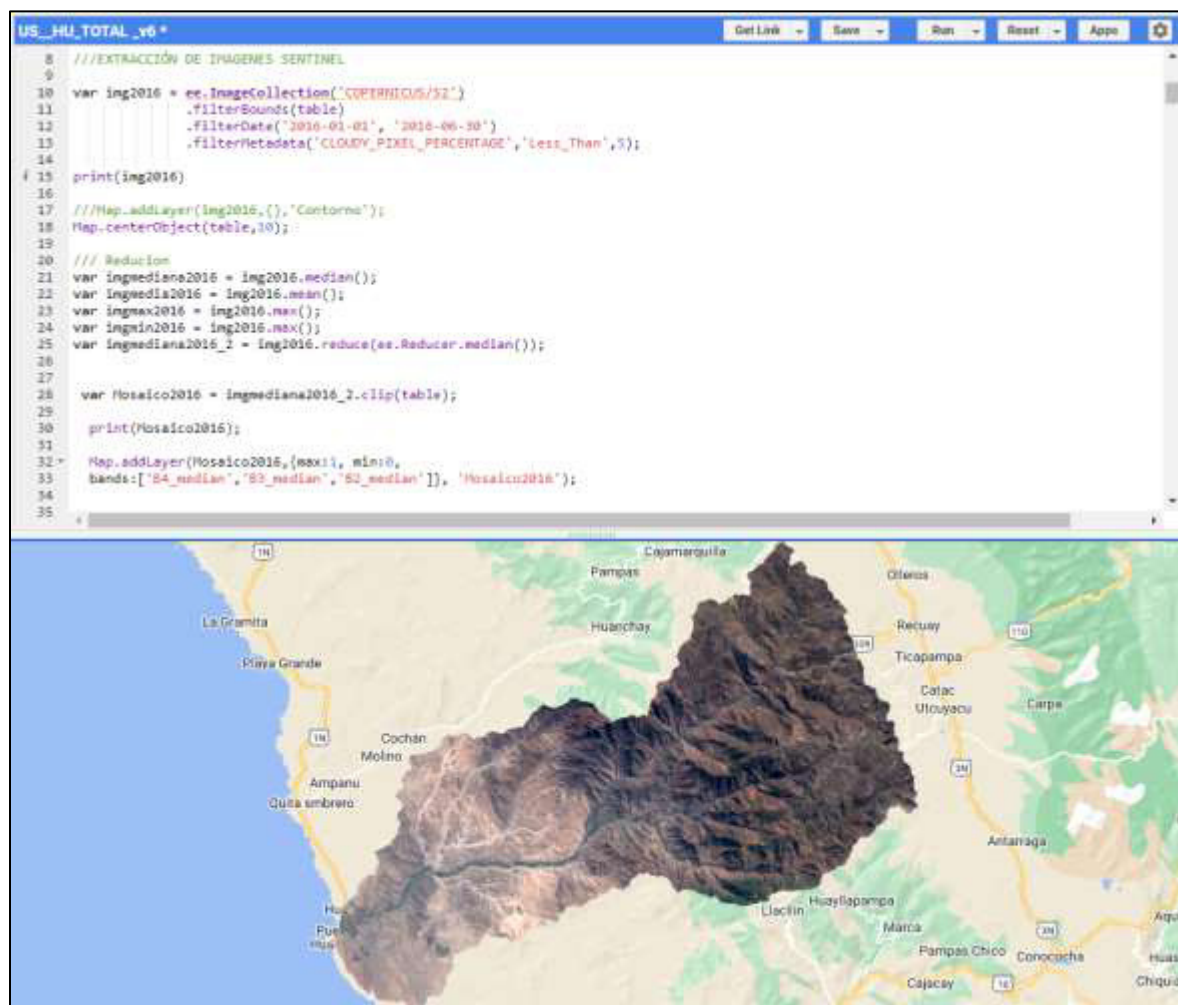
- **Proceso mosaico**

El proceso de mosaico consiste en combinar y recortar imágenes satelitales superpuestas espacialmente con el área de estudio, obteniendo como resultado final, una imagen satelital espacialmente continua y definida con la geometría de la extensión analizada, estableciéndose como sigue el código de elaboración del mosaico de dicha extensión. A continuación, en la

siguiente figura es apreciable el proceso de esbozo del mosaico de la cuenca del río Huarmey con las imágenes satelitales extraídas y añadidas en el Code Editor de Goggle Earth Engine - GEE.

Figura 20

Código de elaboración del mosaico



- **Producto NDVI**

El NDVI o Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada, es ese indicador de biomasa fotosintéticamente activa, cuya finalidad viene a ser, estimar el grado de vigor de la vegetación, basado en rangos de reflejo del espectro electromagnético; permitiendo conocer el estado actual de la vegetación evaluada y evaluadas con otras imágenes temporales se obtendrá el desarrollo a lo largo del tiempo.

Para obtener el producto NDVI se usaron las bandas infrarrojo cercana y la banda roja del espectro electromagnético de las imágenes satelitales, para estimarlo se estableció un indicador entre -1 y 1, el cual establece que cuando el valor es negativo generalmente se encontrarán superficies de agua, nieve o nubes, cuando el valor es cercano al cero entonces se encontrará suelo desnudo y zonas con muy poca vegetación, y cuando el valor es cercano a 1 se encuentran zonas con vegetación densa, cultivos y bosques.

Para el presente estudio se estableció el código, el cual ejecutará el proceso de obtención del NDVI usando como datos de entrada las bandas infrarrojo cercana (NIR) y la banda roja (RED), el cual serán respectivamente la Banda 8 y la banda 4 dentro del conjunto de bandas que trae las imágenes satelitales Sentinel.

A continuación, se observa en la siguiente figura la sintaxis del código establecido para la obtención del NDVI dentro del Code Editor del Google Earth Engine; este código será utilizado para todas las imágenes temporales del año 2016 al 2023.

Figura 21

Código establecido para la generación del NDVI

```

//NDVI

var NDVI2016 = Mosaico2016.expression('(nir-red)/(nir+red)', {'nir': Mosaico2016.select('B8_median'),
                                                                'red': Mosaico2016.select('B4_median')});

var SimbologiaNDVI2016 = {min:0, max: 1, opacity: 1,
  palette: ['#fbff53', 'f18555', '998718', '66A000', '3E8601', '056201', '023801', '011D01']};

print (NDVI2016, 'NDVI2016');
Map.addLayer(NDVI2016, SimbologiaNDVI2016, 'NDVI2016');

```

- **Producto NDWI**

El Índice de Agua de Diferencia Normalizada conocido como NDWI, se trata del coeficiente empleado en la teledetección a objeto de resaltar los cuerpos o masas de agua en una

imagen satelital. Es resultado de una gran reducción de la reflectancia del suelo y del follaje, realizando las zonas de agua localizadas en la representación satelital.

Al igual que el NDVI, para la interpretación de los valores del SAVI se establece un indicador entre -1 y 1, el cual establece que cuando el valor es negativo generalmente se encontrarán superficies de agua, nieve o nubes, cuando el valor es cercano al cero entonces se encontrara suelo desnudo, zonas con muy poca vegetación, y cuando el valor es cercano a 1 se encuentran zonas con vegetación densa, cultivos y bosques.

Para el presente estudio se estableció el código, el cual ejecutará el proceso de obtención del NDWI usando como datos de entrada la banda verde visible (GREEN) e infrarrojo cercano (NIR), el cual serán respectivamente la Banda 3 y la banda 8 dentro del conjunto de bandas que trae las imágenes satelitales Sentinel.

A continuación, se observa en la siguiente figura la sintaxis del código establecido para la obtención del NDWI dentro del Code Editor del Google Earth Engine; este código será utilizado para todas las imágenes temporales del año 2016 al 2023.

Figura 22

Código establecido para la generación del NDWI

```

//NDWI

var NDWI2016 = Mosaico2016.expression('(green-nir)/(green+nir)',
  {'green': Mosaico2016.select('B3_median'), 'nir': Mosaico2016.select('B8_median')});
var SimbologiaNDWI2016 = {min:0, max: 1, opacity: 1,
  palette: ['#fbff53', 'f1b555', '998718', '66a000', '3e8601', '056201', '023801', '011d01']};

print (NDWI2016, 'NDWI2016');
Map.addLayer(NDWI2016, SimbologiaNDWI2016, 'NDWI2016');

```

- **Producto SAVI**

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo SAVI, es ese índice utilizado en la teledetección para obtener el mismo resultado del NDVI, pero evitando la distorsión de los valores de análisis

cuando el follaje es ubicado en superficies de suelo manifestado en una imagen de satélite. El NDWI es resultado de una gran reducción de la reflectancia del suelo y de la vegetación, realzando las áreas de agua que se encuentren en la imagen satelital.

El NDWI utiliza las combinaciones de banda del verde visible y del infrarrojo cercano del espectro electromagnético obtenidas de las imágenes satelitales; para la interpretación de valores se establecieron los siguientes rangos, si están entre 0.2 a 1 la superficie será agua, si el valor se encuentra de 0.0 a 0.2 serán humedales, y si los rangos son negativos se encontrarán superficies sin agua.

Para el presente estudio se estableció el código, el cual ejecutará el proceso de obtención del SAVI usando como datos de entrada las bandas infrarrojo cercana (NIR) y la banda roja visible (RED), el cual serán respectivamente la Banda 8 y la banda 4 dentro del conjunto de bandas que trae las imágenes satelitales Sentinel; a esto, se agregará un factor de corrección del uso de suelo (factor establecido $L = 0.5$). A continuación, se observa en la siguiente figura la sintaxis del código establecido para la obtención del SAVI dentro del Code Editor del Google Earth Engine; este código será utilizado para todas las imágenes temporales del año 2016 al 2023.

Figura 23

Código establecido para la generación del SAVI

```

///SAVI

var SAVI2016 = Mosaico2016.expression('((nir-red)/(nir+red+0.5))*(1.5)',
  {'nir': Mosaico2016.select('B8_median'), 'red': Mosaico2016.select('B4_median')});
var SimbologiaSAVI2016 = {min:0, max: 1, opacity: 1,
palette: ['#fbff53', 'F1B555', '99B718', '66A000', '3E8601', '056201', '023801', '011D01']};

print (SAVI2016, 'SAVI2016');
Map.addLayer(SAVI2016, SimbologiaSAVI2016, 'SAVI2016');

```

Una vez establecidas todas las secuencias de los procedimientos requerientes para recaudar datos espaciales dentro de la plataforma de Google Earth Engine y validando las sintaxis de cada código establecido, se puede ejecutar el conjunto de códigos y tener como producto de los procesos los mosaicos de las imágenes satelitales NDVI, NDWI y SAVI de la cuenca del río Huarmey, para cada año desde el 2016 al 2023.

A continuación, veremos en la siguiente figura la estructura completa de la codificación usada para la extracción de datos espaciales dentro de la interfaz del Code Editor de la plataforma Google Earth Engine para el año 2016, esta codificación se repetirá para la extracción de datos espaciales para cada año desde el 2016 al 2023.

Figura 24

Código para la generación de datos espaciales por cada año

```

//===== CUENCA DEL RIO HUARMEY 2016 =====//

//CANTONAMEN DE LA CUENCA DEL RIO HUARMEY
Map.addLayer(table, {color: 'red'});

//EXTRACCIÓN DE IMÁGENES SENTINEL
var img2016 = ee.ImageCollection('LANDSAT/LT05/C01/T13')
  .filterDate('2016-01-01', '2016-12-31')
  .filterMetadata('CLOUD_PERCENTAGE', 'less_than', 10);

print(img2016);

//Map.addLayer(img2016, {}, 'Sentinel');
Map.centerOn(-78.2, -10);

// Reduccion
var imgMediana2016 = img2016.median();
var imgMediana2016 = imgMediana2016.rename();
var imgMediana2016 = imgMediana2016.rename();
var imgMediana2016_2 = imgMediana2016.reduce(ee.Reducer.median());

var Mosaico2016 = imgMediana2016_2.clip(table);
print(Mosaico2016);

Map.addLayer(Mosaico2016, {color: 'red', min: 0,
  bands: ['B1_mediana', 'B2_mediana', 'B3_mediana']}, 'Mosaico2016');

//NDVI
var NDVI2016 = Mosaico2016.expression('ndvi=(nir-red)/(nir+red)', {nir: Mosaico2016.select('B3_mediana'),
  red: Mosaico2016.select('B2_mediana')});

var simbologiaNDVI2016 = [min: 0, max: 1, opacity: 1,
  palette: ['white', 'red', 'yellow', 'green', 'blue', 'cyan', 'magenta', 'black']];

print(NDVI2016, 'NDVI2016');
Map.addLayer(NDVI2016, simbologiaNDVI2016, 'NDVI2016');

//NDWI
var NDWI2016 = Mosaico2016.expression('ndwi=(nir-swi)/(nir+swi)', {
  nir: Mosaico2016.select('B3_mediana'), swi: Mosaico2016.select('B1_mediana')});

var simbologiaNDWI2016 = [min: 0, max: 1, opacity: 1,
  palette: ['white', 'red', 'yellow', 'green', 'blue', 'cyan', 'magenta', 'black']];

print(NDWI2016, 'NDWI2016');
Map.addLayer(NDWI2016, simbologiaNDWI2016, 'NDWI2016');

//SAVI
var SAVI2016 = Mosaico2016.expression('((nir-red)/(nir+red+swi))*1.5', {
  nir: Mosaico2016.select('B3_mediana'), swi: Mosaico2016.select('B1_mediana')});

var simbologiaSAVI2016 = [min: 0, max: 1, opacity: 1,
  palette: ['white', 'red', 'yellow', 'green', 'blue', 'cyan', 'magenta', 'black']];

print(SAVI2016, 'SAVI2016');
Map.addLayer(SAVI2016, simbologiaSAVI2016, 'SAVI2016');

```

- **Exportación de archivos ráster**

Como último paso que ejecutaremos dentro del entorno del Google earth Engine será la exportación de los productos generados (mosaico, NDVI, NDWI y SAVI) a la carpeta Drive de Google, y estos productos se guardaran como archivos ráster; para ello, se establece el código de exportación tal es apreciado en la figura que sigue.

Figura 25

Código para la exportación de datos a la carpeta Google Drive

```
///EXPORTAR DATOS AÑO 2016

Export.image.toDrive({
  image: Mosaico2016.float(),
  description: 'Mosaico2016',
  scale: 10,
  region: table,
  folder: '2016',});

Export.image.toDrive({
  image: NDVI2016.float(),
  description: 'NDVI2016',
  scale: 10,
  region: table,
  folder: '2016',});

Export.image.toDrive({
  image: NDWI2016.float(),
  description: 'NDWI2016',
  scale: 10,
  region: table,
  folder: '2016',});

Export.image.toDrive({
  image: SAVI2016.float(),
  description: 'SAVI2016',
  scale: 10,
  region: table,
  folder: '2016',});

Export.image.toDrive({
  image: ImageClasi2016.float(),
  description: 'ImageClasi2016',
  scale: 10,
  region: table,
  folder: '2016',});
```

3.11 Procesamiento en el entorno ArcGIS

La ejecución del procesamiento de Información en el entorno ArcGIS tendrá como data de partida, los productos obtenidos del proceso de “Tratamiento de información en el entorno Google Engine” (NDVI, NDWI, SAVI y mosaico), el cual tendrá como resultados la Clasificación de uso de suelos, la validación del resultado del uso de suelo para el año 2023 y el cambio de cobertura.

Para ello a continuación, se describe cada procedimiento realizado en el presente entorno.

- **Clasificación y niveles CLC**

Dentro del marco de este proceso, el paso inicial consistió en definir las categorías de clasificación aplicables a las diversas modalidades de uso del suelo presentes en la zona bajo análisis; con este fin, se recurrió al esquema de clasificación Corine Land Cover (CLC), representante de un enfoque metodológico orientado a la producción de cartografías relativas a las coberturas y usos del terreno.

Dicho esquema establece una nomenclatura estructurada en niveles jerárquicos, con grados variables de precisión, centrados en las intervenciones humanas destinadas a la obtención de productos y prestaciones a través de la preservación, sustitución o modificación del sustrato edáfico.

En ese sentido, se presenta la matriz con la enumeración estandarizada de la Clasificación Corine Land Cover, el cual se usó para la clasificación de las unidades de suelos identificadas dentro de la zona analizada.

Tabla 10*Sistema de clasificación Corine Land Cover*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER		
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo 1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas industriales o comerciales 1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias 1.2.4 Aeropuertos 1.2.5 Obras hidráulicas
		1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos 1.3.2 Áreas de disposición de residuos
		1.4.1 Áreas verdes urbanas 1.4.2 Instalaciones recreativas
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	
	1.4 Áreas verdes artificializadas, no agrícola.	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo 3.1.2 Bosque abierto bajo 3.1.3 Bosque denso alto 3.1.4. Bosque abierto alto 3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2 Bosques plantados	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal 3.3.2 Arbustal 3.3.3 Vegetación secundaria o en transición 3.3.4 Vegetación arbustiva/herbacea 3.3.5 Arbustal/área intervenida 3.3.6. Herbazal / área intervenida 3.3.7 Arbustal-Herbazal/ara intervenida
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales 3.4.2 Afloramientos rocosos 3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas) 3.4.4 Áreas quemadas 3.4.5 Glaciares 3.4.6 Salares
4. Áreas Húmedas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas Pantanosas 4.1.2 Tuberías y bofedales 4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua

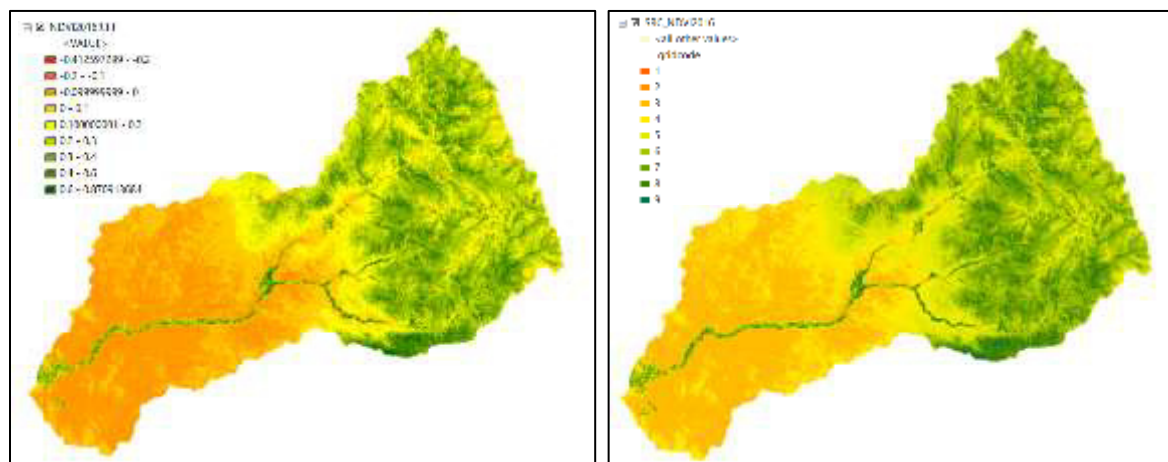
SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER		
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
5.Superficies de Agua	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros
		4.2.2 Salitral
		4.2.3 Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar
	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
		5.1.3 Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4 Canales
		5.1.5 Cuerpos de agua artificiales
	5.2 Aguas costeras	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Mares y océanos
		5.2.3 Estanques para acuicultura marina

Nota. Extraído del Geo servidor del MINAM

Como segundo paso, son utilizados los rasters del NDVI, NDWI, SAVI como datos de entrada, siendo estos reclasificados en función a su valor con intervalos cada 0.1 hasta el valor 0.6, y en adelante se utilizó un intervalo de 0.2; reclasificándolos en función a sus valores. Una vez reclasificados los rasters, se generó el raster reclasificado, y este proceso se realizó para todos los rasters analizados NDVI, NDWI y SAVI de los años 2016 al 2023. En la figura que sigue, es mostrado ese proceso de reclasificado ejecutado para el NDVI del 2016.

Figura 26

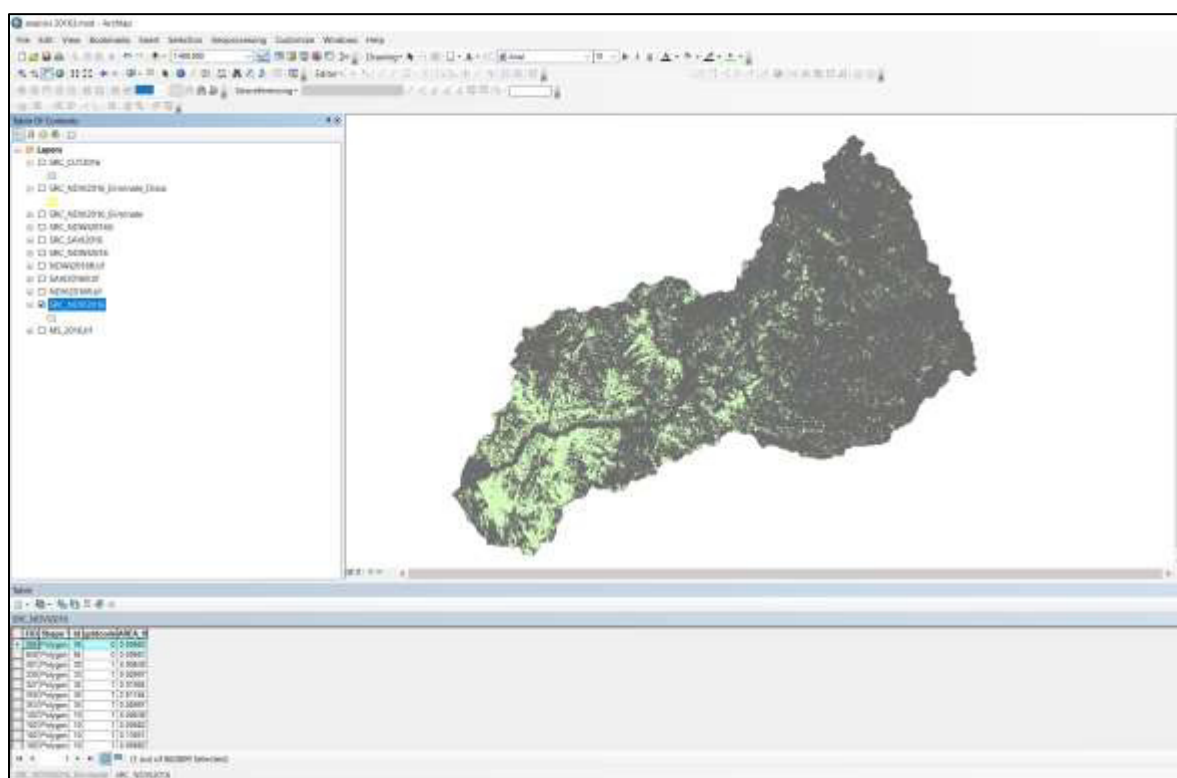
Reclasificación del ráster NDVI en función a sus valores resultantes



Utilizando el raster reclasificado se realizó el proceso de vectorización. Para ello, se utilizó la herramienta denominada Raster to polyline, la cual permite transformar pixeles agrupados según la reclasificación en polígonos; ese proceso se realizó para todos los rasters NDVI, NDWI y SAVI y para todos los años analizados 2016 al 2023. La figura que sigue expone el proceso resultante de la vectorización del raster NDWI2016.

Figura 27

Vectorización del ráster NDVI en función a sus valores resultantes



Realizados los procesos de reclasificación y vectorización se procede a clasificar los polígonos obtenidos del área de estudio, considerando el sistema de clasificación Corine Land Cover; este procedimiento tendrá como resultados, unidades de tipo de uso de suelo considerando la escala de trabajo, la cual será 1:50000 (escala nivel meso).

- **Validación de resultados**

En referencia al proceso de ratificación de la cobertura de uso de suelo fue ejecutada la visita técnica de campo la cual, mediante la observación, permitió el reconocimiento de las unidades de uso de suelo presentes en la extensión observada, que corrobora la cobertura de uso de suelo obtenidas de las imágenes Sentinel del procedimiento anterior.

Para ello, se establecieron puntos de control ubicados estratégicamente en el terreno estudiado, siendo la accesibilidad y movilidad los principales factores que determinaron estas ubicaciones. En la siguiente figura se observan las ubicaciones de los mismos.

Figura 28

Ubicación de puntos de control



Los puntos de control fueron registrados haciendo uso de la APP Survey 123 de ArcGIS, el cual es un formulario geolocalizado que permite el llenado de información técnica preestablecida, a partir del registro de un ponto GSP y la toma de una fotografía.

Figura 29

Interfaz del formulario de la App Survey 123

The screenshot displays the Survey 123 app interface. At the top, a green header bar contains a close button (X), a status message "El título de la encuesta no está configurado" (The survey title is not configured), a location pin icon, and a menu icon (three horizontal lines). The form consists of 16 numbered fields:

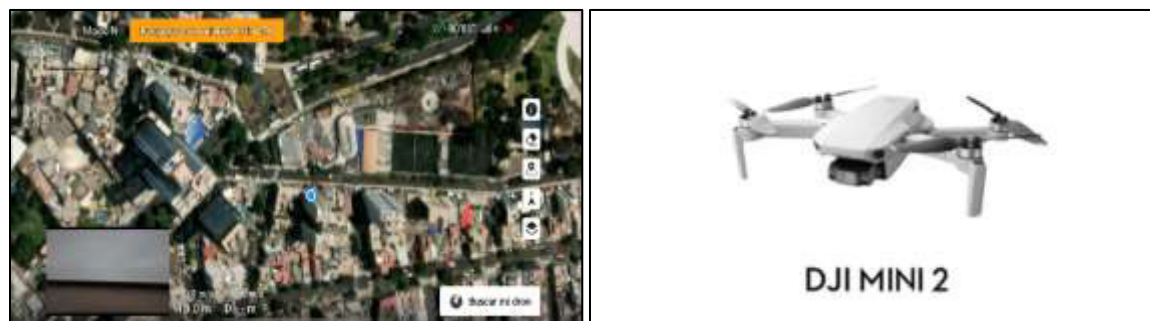
1. CÓDIGO: A text input field.
2. FECHA: A date picker showing "domingo, 9 de junio de 2024" with a calendar icon and a refresh icon.
3. REGISTRADOR: A text input field showing "Edwards J. Altamiza Chavez" with a refresh icon.
4. REGIÓN: A dropdown menu showing "Ancash" with a refresh icon.
5. PROVINCIA: A dropdown menu showing "Huarney" with a refresh icon.
6. DISTRITO: A dropdown menu.
7. ESTE: A text input field.
8. NORTE: A text input field.
9. ALTITUD: A text input field.
10. TIPO DE USO DE SUELO: A dropdown menu.
11. COBERTURA VEGETAL: A dropdown menu.
12. TIPO DE PENDIENTE: A dropdown menu.
13. UNIDAD CLIMÁTICA: A dropdown menu.
14. UBICACIÓN GEOGRÁFICA: A section with two icons: a location pin and a checkmark.
15. IMAGEN: A section with two icons: a camera and a folder.
16. OBSERVACIÓN: A text input field.

A green bar at the bottom of the form contains a checkmark icon, indicating the completion of the survey.

También se apoyó el registro de datos fotográfico mediante el uso de un drone para las tomas fotográficas panorámicas, para un mayor detalle en la estimación de las unidades de uso de suelo presente en los puntos de control.

Figura 30

Interfaz de vuelo y drone DJI MINI 2 usado en las tomas aéreas



Como resultado del levantamiento de información de dichos puntos se obtuvieron fichas técnicas de campo, en la cual se encuentra toda la información recopilada de los formularios de la APP Survey 123, y un panel fotográfico con las fotos tomadas por el Drone. En la siguiente figura se observa la ficha técnica de campo propuesta para este estudio.

Figura 31

Ficha técnica de campo propuesto

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CUBANO	FECHA	REGISTRADOR
15/06/2024	14:00:00 a 17:00:00	Edmundo J. Alvarado Chaves
DATOS DE LOCALIZACIÓN		
COORDENADAS	PROVINCIA	DISTRITO
90.000000	Matanzas	Matanzas
COORDENADAS UTM		
EASTE	NORTE	ALTITUD
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
TIPO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Área Agrícola	Agricultura con y sin riego	Plano o Ligero pendiente
UNIDAD CATASTRAL		USUARIO
No se encuentra en el catastro		NO
CROQUIS		MAPA
		

- **Determinación del cambio de cobertura**

Con el objetivo de evaluar las transformaciones en el alcance y empleo del terreno en la cuenca del río Huarmey, se empleó un instrumento analítico denominado matriz de transición, conocido alternativamente como matriz de tabulación cruzada, ideado por Robert Pontius y colaboradores. Esta matriz de tabulación cruzada permite examinar las variaciones globales en las clases de suelo a partir de dos conjuntos de elementos: el balance neto y el intercambio, complementados con las adquisiciones y reducciones absolutas. Mediante el escrutinio de tales elementos, es factible diferenciar entre procesos de cambio territorial que exhiben un patrón sistemático definido, y aquellos que parecen regidos por el azar.

Además, el examen a múltiples escalas ofrece datos suplementarios acerca de las escalas espaciales en las que se manifiestan dichas modificaciones en el uso del suelo (Pontius et al., 2004).

El método más eficiente para escrutar las transformaciones en el empleo del terreno radica en el siguiente procedimiento: recopilar cartografías relativas a los momentos temporales 1 y 2; inspeccionar las variaciones por intermedio de una matriz de transición, con miras a reconocer las mutaciones más relevantes; y, en una etapa subsiguiente, indagar en los factores causales que propician dichas mutaciones. La estructura habitual de la matriz de tabulación cruzada, denominada asimismo matriz de transición, se ajusta al patrón de la tabla que se detalla a continuación, en donde las filas ilustran las clases correspondientes al momento 1, mientras que las columnas reflejan las del momento 2.

El símbolo P_{ij} alude a la cuota del entorno paisajístico que atraviesa un cambio desde la clase i hacia la clase j , considerando que el conjunto de clases asciende a J . Los registros situados en la diagonal principal denotan estabilidad, por lo que P_{jj} representa la parte del paisaje que conserva la clase j . Por su parte, los registros ajenos a la diagonal apuntan a una conversión de la clase i hacia otra clase j disímil. Dentro de la columna destinada a los totales, P_{i+} equivale a la

cuota del paisaje asignada a la clase i en el momento 1, calculada como la agregación de P_{ij} a lo largo de todos los j . En la fila de totales, P_{+j} corresponde a la cuota en la clase j para el momento 2, derivada de la agregación de P_{ij} a lo largo de todos los i .

Por lo general, en ese estadio concluye la matriz de transición. Sin embargo, la tabla expuesta incorpora una columna y una fila complementarias: la columna suplementaria, posicionada a la derecha, cuantifica la fracción del paisaje que incurre en una reducción absoluta de la clase i entre los momentos 1 y 2; en tanto que la fila adicional, ubicada en la base, cuantifica la fracción que registra un aumento absoluto de la clase j durante ese lapso (Pontius et al., 2004).

En la siguiente tabla, se visualiza la matriz de tabulación cruzada desarrollada por Pontius et al. (2014), propuesta para analizar la variación de terreno del presente trabajo investigativo.

Tabla 11

Matriz de tabulación cruzada

	Tiempo 02				Tiempo N01	Total Pérdida
	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4		
Tiempo 01						
Categoría 1	P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{1+}	$P_{1+} - P_{11}$
Categoría 2	P_{21}	P_{22}	P_{23}	P_{24}	P_{2+}	$P_{2+} - P_{22}$
Categoría 3	P_{31}	P_{32}	P_{33}	P_{34}	P_{3+}	$P_{3+} - P_{33}$
Categoría 4	P_{41}	P_{42}	P_{44}	P_{44}	P_{4+}	$P_{4+} - P_{44}$
Tiempo Total N02	P_{+1}	P_{+2}	P_{+3}	P_{+4}	1	
Ganancia	$P_{+1} - P_{11}$	$P_{+2} - P_{22}$	$P_{+3} - P_{33}$	$P_{+4} - P_{44}$		

Nota. Extraído de Pontius et al. (2004).

3.12 Análisis de datos

- **Evaluación de precisión de la clasificación**

La validación del nivel de excelencia de los mapas de uso de suelo se efectuó mediante una evaluación de precisión basada en la construcción de una matriz de confusión, y en el cálculo del índice Kappa. Dicho procedimiento tuvo fundamento en la clasificación supervisada del uso de

suelo, considerando la imagen satelital y un conjunto de puntos de verificación seleccionados de forma aleatoria. Esta metodología permitió estimar el nivel de concordancia entre las categorías temáticas obtenidas y los datos de referencia, ajustando los resultados por el efecto del azar (Foody, 2002)

Se emplearon 270 puntos de validación, distribuidos equitativamente entre las 9 clases. mediante un muestreo estratificado aleatorio (Congalton & Green, 2009). Los puntos fueron validados por interpretación visual de imágenes satelitales de alta resolución. Cada punto fue asignado con dos atributos: la clase clasificada y la clase de referencia.

La matriz de confusión permitió calcular métricas como la exactitud del productor, la claridad del beneficiario y la precisión integral. Partiendo de dichas valías, fue alcanzado el coeficiente Kappa, el cual proporciona una medida más robusta del acuerdo entre la clasificación y la verdad de campo. Este índice es especialmente útil en estudios multitemporales, ya que permite evaluar la consistencia de los cambios detectados a lo largo del tiempo (Landis & Koch, 1977)

Tabla 12

Matriz de confusión

Clase	Áreas arenosas naturales	Bosque denso bajo	Cultivos transitorios	Pantanos costeros	Tejido urbano continuo	Tierras desnudas	Vegetación secundaria o en transición	Lagos	Ríos	Total	Error de Comisión
Áreas arenosas naturales	30	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Bosque denso bajo	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Cultivos transitorios	0	0	30	0	0	0	0	0	0	30	0
Pantanos costeros	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0
Tejido urbano continuo	0	0	0	0	30	0	0	0	0	30	0
Tierras desnudas	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30	0
Vegetación secundaria o en transición	0	0	0	0	0	0	30	0	0	30	0
Lagos	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0
Ríos	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30	0
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	270	
Error de omisión	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tabla 13

Índice de precisión

	Ítem	Índice	%
Precisión global o concordancia general	po	1.00	100.00
Proporción esperada	pe	0.11	11.11
Índice Kappa	k	1.00	100.00

Tabla 14*Índice de precisión por clase*

Clase	Error de Comisión (%)	Error de omisión (%)	Precisión global	Precisión global (%)	índice Kappa	Índice Kappa (%)
Áreas arenosas naturales	0	0				
Bosque denso bajo	0	0				
Cultivos transitorios	0	0				
Pantanos costeros	0	0				
Tejido urbano continuo	0	0	1.00	100.00	1.00	100.00
Tierras desnudas	0	0				
Vegetación secundaria o en transición	0	0				
Lagos	0	0				
Ríos	0	0				

IV. RESULTADOS

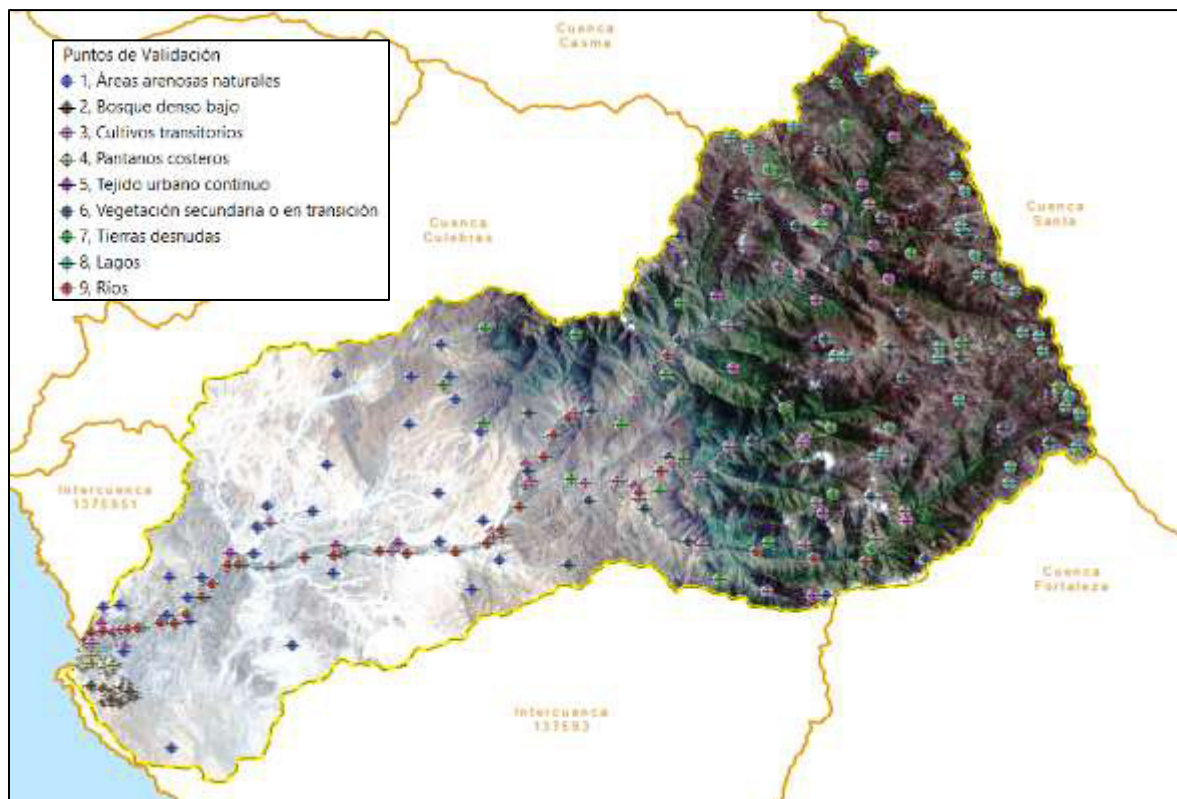
Resultados de la evaluación de precisión de la clasificación

- **Puntos de validación**

A modo de establecer el grado de precisión de la data obtenida fueron establecidos 270 puntos de validación, distribuidos equitativamente 30 puntos entre las 9 clases dentro de la cuenca del río Huarmey.

Tabla 15

Ubicación aleatoria de los puntos de validación



- **Matriz de confusión e índice Kappa 2016 -2023**

La verificación de la categorización supervisada, efectuada a partir de las capturas proporcionadas por el satélite Sentinel correspondientes al año 2016, se implementó por medio de una tabla de errores que abarcaba nueve categorías de cobertura territorial, incorporando un

conjunto de 270 puntos de validación como referencia. Los hallazgos derivados de este análisis revelan una exactitud general (Po) del 88.15%, lo cual sugiere que el esquema de clasificación acertó en la asignación adecuada de la mayor parte de las observaciones en comparación con los datos de campo verificados. Por su parte, la exactitud atribuible al mero azar (Pe) se estimó en un 11.11%, mientras que el coeficiente Kappa (K) diseñado para corregir el grado de coincidencia interclase al restar la influencia fortuita, registró un puntaje de 0.87 (equivalente al 86.67%), denotando así un nivel de acuerdo excepcionalmente robusto y con relevancia estadística.

En cuanto al desempeño por clase, se observó que las coberturas de “bosque denso bajo”, “pantanos costeros” y “lagos” fueron clasificadas con total precisión, sin errores de comisión ni omisión. La clase “áreas arenosas naturales” presentó un error de comisión de 3.23% y ninguna omisión, lo que refleja una alta confiabilidad. Por otro lado, las clases “cultivos transitorios” y “tejido urbano continuo” mostraron errores moderados, con tasas de comisión de 19.35% y 6.67%, respectivamente, y omisiones de 16.67% y 6.67%.

Las “tierras desnudas” registraron una comisión del 21.21% y una omisión del 13.33%, mientras que la “vegetación secundaria o en transición” fue la clase con mayor dificultad de clasificación, con un error de comisión de 41.67% y omisión de 30.00%, lo que sugiere confusión espectral con otras coberturas, especialmente tierras desnudas y cultivos. Finalmente, la clase “ríos” presentó una omisión elevada del 40.00%, posiblemente asociada a la resolución espacial o a la complejidad de identificar cuerpos de agua estrechos.

Tabla 16*Matriz de confusión para el uso de suelo año 2016*

Clase	Áreas arenosas naturales	Bosque denso bajo	Cultivos transitorios	Pantanos costeros	Tejido urbano continuo	Tierras desnudas	Vegetación secundaria o en transición	Lagos	Ríos	Total	Error de Comisión
Áreas arenosas naturales	30	0	0	0	0	0	1	0	0	31	1
Bosque denso bajo	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Cultivos transitorios	0	0	25	0	2	2	1	0	1	31	6
Pantanos costeros	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0
Tejido urbano continuo	0	0	2	0	28	0	0	0	0	30	2
Tierras desnudas	0	0	0	0	0	26	6	0	1	33	7
Vegetación secundaria o en transición	0	0	3	0	0	2	21	0	10	36	15
Lagos	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0
Ríos	0	0	0	0	0	0	1	0	18	19	1
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	270	
Error de omisión	0	0	5	0	2	4	9	0	12		

Tabla 17*Índice de precisión general para el uso de suelo año 2016*

Ítem	Índice	%
po	0.88	88.15
pe	0.11	11.11
k	0.87	86.67

Tabla 18*Índice de precisión por clase para el uso de suelo año 2016*

Clase	Error de Comisión (%)	Error de omisión (%)	Precisión global	Precisión global (%)	Índice Kappa	Índice Kappa (%)
Áreas arenosas naturales	3.23	0.00				
Bosque denso bajo	0.00	0.00				
Cultivos transitorios	19.35	16.67				
Pantanos costeros	0.00	0.00				
Tejido urbano continuo	6.67	6.67	0.88	88.15	0.87	86.67
Tierras desnudas	21.21	13.33				
Vegetación secundaria o en transición	41.67	30.00				
Lagos	0.00	0.00				
Ríos	5.26	40.00				

En cuanto a las derivaciones alcanzadas de la categorización supervisada para el 2023 muestran una precisión global (Po) de 83.70%, lo que indica que más del 83% de las muestras fueron correctamente clasificadas en relación con la verdad terrestre. La precisión esperada por azar (Pe) fue de 11.11%, y el índice Kappa (K) que ajusta el acuerdo entre clases descontando el efecto del azar alcanzó un valor de 0.82 (81.67%), lo que representa un nivel de concordancia alto y aceptable para estudios de cobertura terrestre.

En cuanto al desempeño por clase, se observó que las coberturas de “bosque denso bajo”, “pantanos costeros” y “lagos” fueron clasificadas con total precisión, sin errores de comisión ni omisión. La clase “áreas arenosas naturales” presentó un error de comisión de 5.26% y una omisión del 40.00%, lo que indica una subestimación considerable de su presencia real. Las clases “cultivos transitorios” y “tejido urbano continuo” mostraron errores moderados, con tasas de comisión de 28.57% y 12.50% respectivamente, y omisiones de 16.67% y 6.67%.

Las “tierras desnudas” presentaron una comisión del 26.67% y una omisión equivalente, lo que evidencia una confusión significativa con otras coberturas, especialmente vegetación secundaria. Esta última clase, “vegetación secundaria o en transición”, fue nuevamente una de las más difíciles de clasificar, con un error de comisión de 44.44% y una omisión de 16.67%, lo que sugiere persistente confusión espectral con tierras desnudas y cultivos. Finalmente, la clase “ríos” presentó una omisión elevada del 40.00%, posiblemente asociada a su morfología lineal y a limitaciones en la resolución espacial.

Tabla 19*Matriz de confusión para el uso de suelo año 2023*

Clase	Áreas arenosas naturales	Bosque denso bajo	Cultivos transitorios	Pantanos costeros	Tejido urbano continuo	Tierras desnudas	Vegetación secundaria o en transición	Lagos	Ríos	Total	Error de Comisión
Áreas arenosas naturales	18	0	0	0	0	0	1	0	0	19	1
Bosque denso bajo	0	30	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Cultivos transitorios	6	0	25	0	2	0	1	0	1	35	10
Pantanos costeros	0	0	0	30	0	0	0	0	0	30	0
Tejido urbano continuo	2	0	2	0	28	0	0	0	0	32	4
Tierras desnudas	0	0	0	0	0	22	3	0	5	30	8
Vegetación secundaria o en transición	4	0	3	0	0	7	25	0	6	45	20
Lagos	0	0	0	0	0	0	0	30	0	30	0
Ríos	0	0	0	0	0	1	0	0	18	19	1
Total	30	30	30	30	30	30	30	30	30	270	
Error de omisión	12	0	5	0	2	8	5	0	12		

Tabla 20*Índice de precisión general para el uso de suelo año 2023*

Ítem	Índice	%
po	0.84	83.70
pe	0.11	11.11
k	0.82	81.67

Tabla 21*Índice de precisión por clase para el uso de suelo año 2023*

Clase	Error de Comisión (%)	Error de omisión (%)	Precisión global	Precisión global (%)	Índice Kappa	Índice Kappa (%)
Áreas arenosas naturales	5.26	40.00				
Bosque denso bajo	0.00	0.00				
Cultivos transitorios	28.57	16.67				
Pantanos costeros	0.00	0.00				
Tejido urbano continuo	12.50	6.67	0.84	83.70	0.82	81.67
Tierras desnudas	26.67	26.67				
Vegetación secundaria o en transición	44.44	16.67				
Lagos	0.00	0.00				
Ríos	5.26	40.00				

- **Resultados de la clasificación uso de suelo periodo 2016 – 2023**

La clasificación del uso de suelo para los años 2016 al 2023 fue desplegada a través de la interpretación de iconografías satelitales Sentinel, procesadas con técnicas de teledetección y clasificación supervisada. Se empleó el sistema Corine Land Cover adaptado al contexto hidrográfico de la cuenca del río Huarmey, permitiendo ello una categorización detallada en nueve clases distribuidas en cinco grandes grupos temáticos. La superficie total analizada fue de 224,499.10 hectáreas.

Este enfoque metodológico facilitó el reconocimiento de patrones de cambio en el uso terrestre, incluyendo procesos de expansión urbana, transformación agrícola, degradación ambiental y dinámica de vegetación secundaria. Seguidamente, son expuestos esos logros más resaltantes para cada año de análisis:

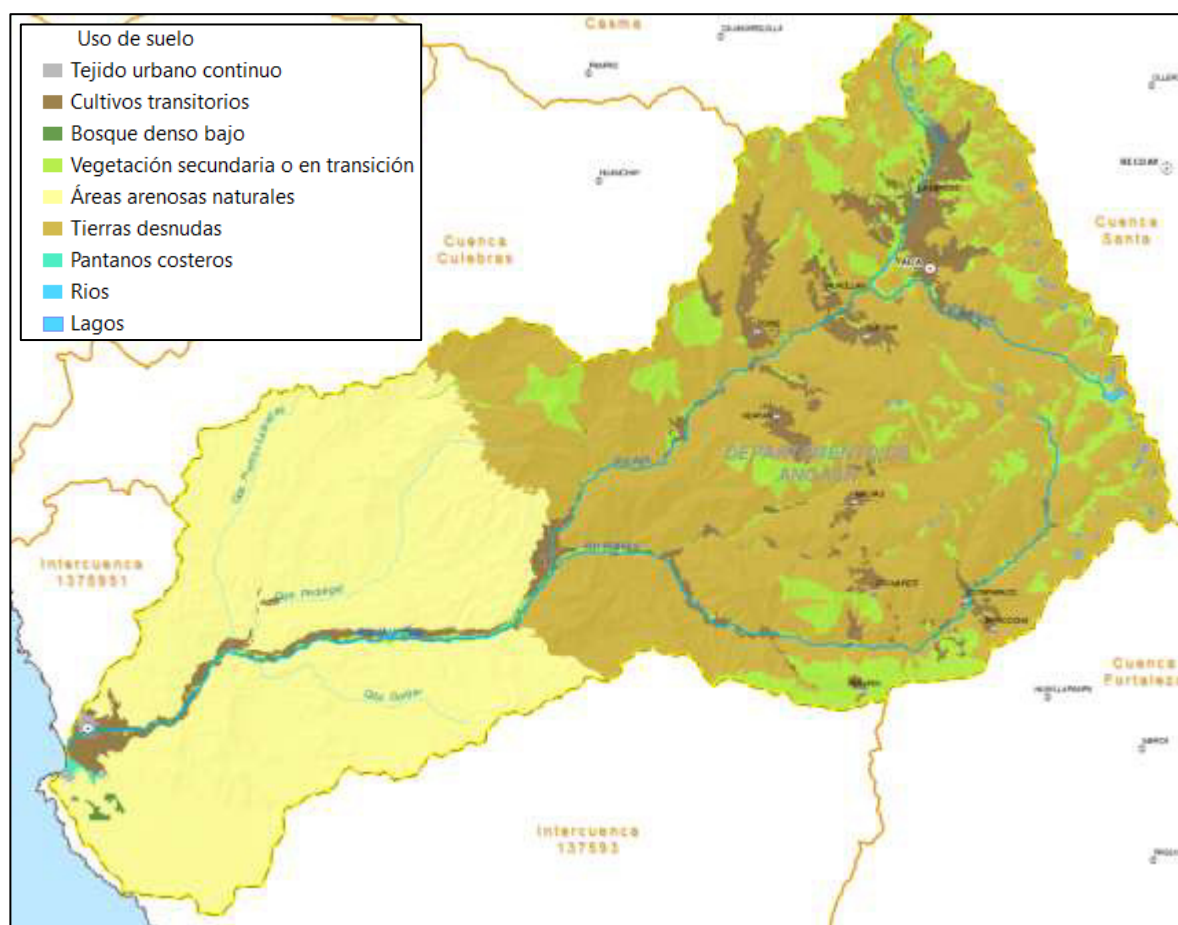
- **Uso de suelo 2016**

Las áreas artificializadas representaron una proporción mínima del territorio con 545.46 hectáreas (0.24%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas, dominadas por cultivos transitorios ocuparon 14,409.84 hectáreas, equivalente ello al 6.42% de la extensión global. Por su parte, las zonas boscosas y terrenos mayormente naturales constituyeron ese grupo más diverso, incluyendo bosque denso bajo con 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición con 24,576.90 hectáreas (10.95%), áreas arenosas naturales con 77,720.27 hectáreas (34.62%) y tierras desnudas que comprenden zonas erosionadas o degradadas con 106,137.80 hectáreas (47.28%).

Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros, abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los terrenos de agua que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 22*Resultados de la clasificación uso de suelos 2016*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	545.46	0.24%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14409.84	6.42%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	24576.90	10.95%	
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales	77720.27	34.62%	
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	106137.80	47.28%	
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

Figura 33*Resultados de la clasificación del uso de suelo 2016*

- Uso de suelo 2017**

Los terrenos artificializados continuaron representando una proporción reducida del territorio con 554.21 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas compuestas por cultivos transitorios ocuparon 14,450.87 hectáreas, equivalentes al 6.44% del área total. El grupo de bosques y áreas mayormente naturales mantuvo su diversidad, con bosque denso bajo en 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición en 78,731.94 hectáreas (35.07%), áreas arenosas naturales en 77,690.47 hectáreas (34.61%) y tierras desnudas incluyendo zonas erosionadas y degradadas en 51,962.76 hectáreas

(23.15%). Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros, se mantuvieron constantes con 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que las extensiones de agua, que comprenden ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

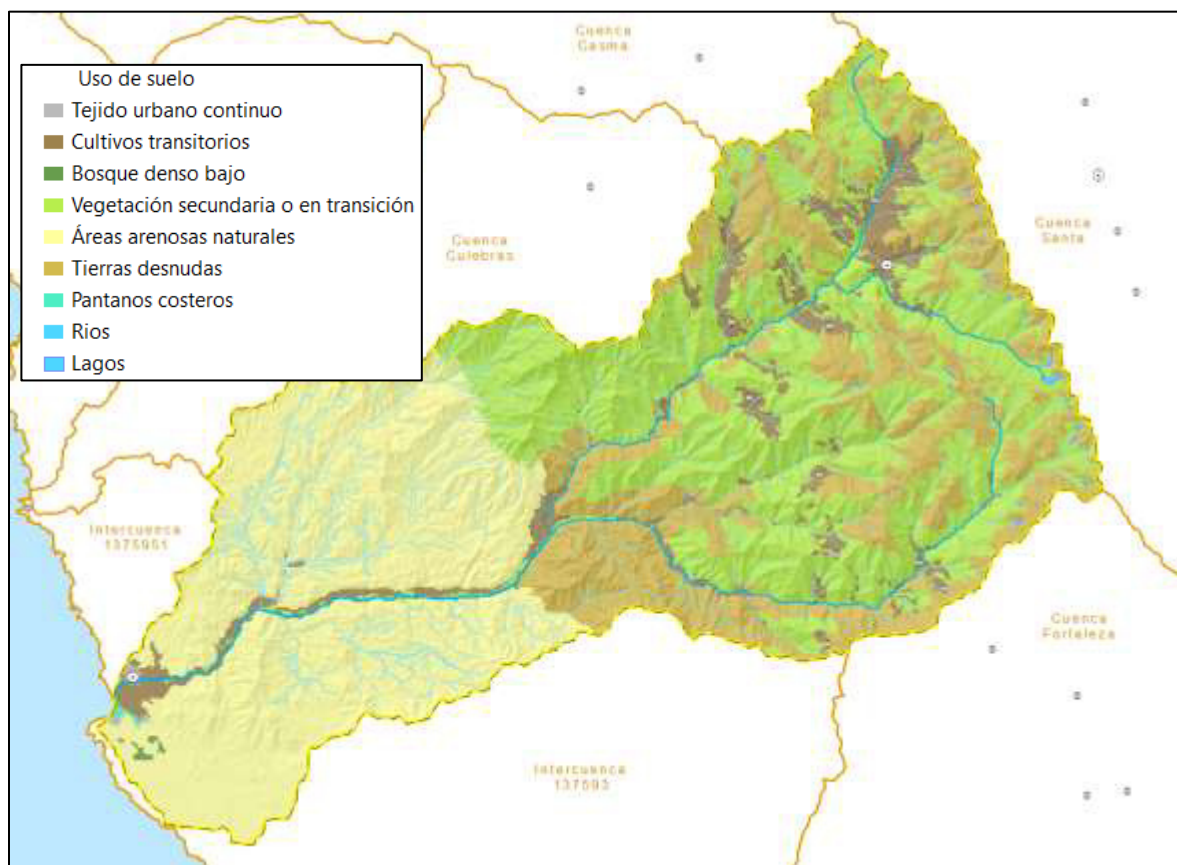
Tabla 23

Resultados de la clasificación uso de suelos 2017

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	554.21	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14450.87	6.44%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	78731.94	35.07%	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	77690.47	34.61%	
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	51962.76	23.15%	
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

Figura 34

Resultado de la clasificación del uso de suelo 2017



- **Uso de suelo 2018**

Aquellas áreas artificializadas continuaron representando una proporción reducida del territorio con 559.94 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas, compuestas por cultivos transitorios, ocuparon 14,522.48 hectáreas, equivalentes al 6.47% del área total. El grupo de bosques y áreas mayormente naturales mantuvo su diversidad, con bosque denso bajo en 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición en 84,409.76 hectáreas (37.60%), áreas arenosas naturales en 77,623.25 hectáreas (34.58%) y tierras desnudas incluyendo zonas erosionadas y degradadas en 46,274.83 hectáreas (20.61%). Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros, se mantuvieron

constantes con 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los terrenos de agua, que comprenden ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas y ciénagas sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 24

Resultados de la clasificación uso de suelos 2018

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER						
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE			
			Ha	%		
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	urbano	559.94	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios			14522.48	6.47%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo		190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición		84409.76	37.60%	
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		77623.25	34.58%	
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)		46274.83	20.61%	
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros		152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)		409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes		356.84	0.16%	
TOTAL				224499.10	100.00%	

costeros abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los espacios de agua, que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas, lagos y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

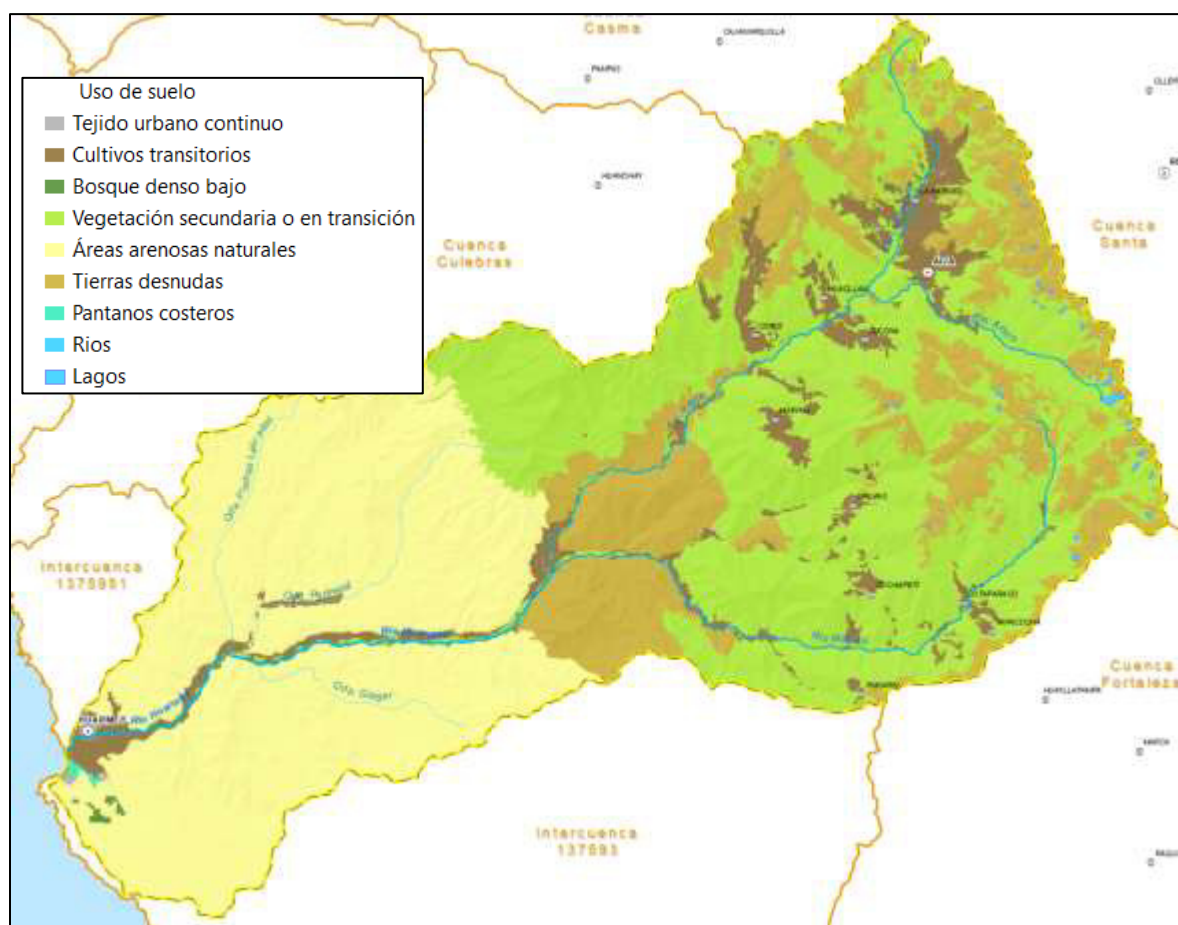
Tabla 25

Resultados de la clasificación uso de suelos 2019

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER						
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE			
			Ha	%		
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo		561.89	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios			14745.23	6.57%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo		190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición		87122.89	38.81%	
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales		77461.57	34.50%	
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)		43498.67	19.38%	
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros		152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)		409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes		356.84	0.16%	
TOTAL				224499.10	100.00%	

Figura 36

Resultado de la clasificación de uso de suelo 2019



- **Uso de suelo 2020**

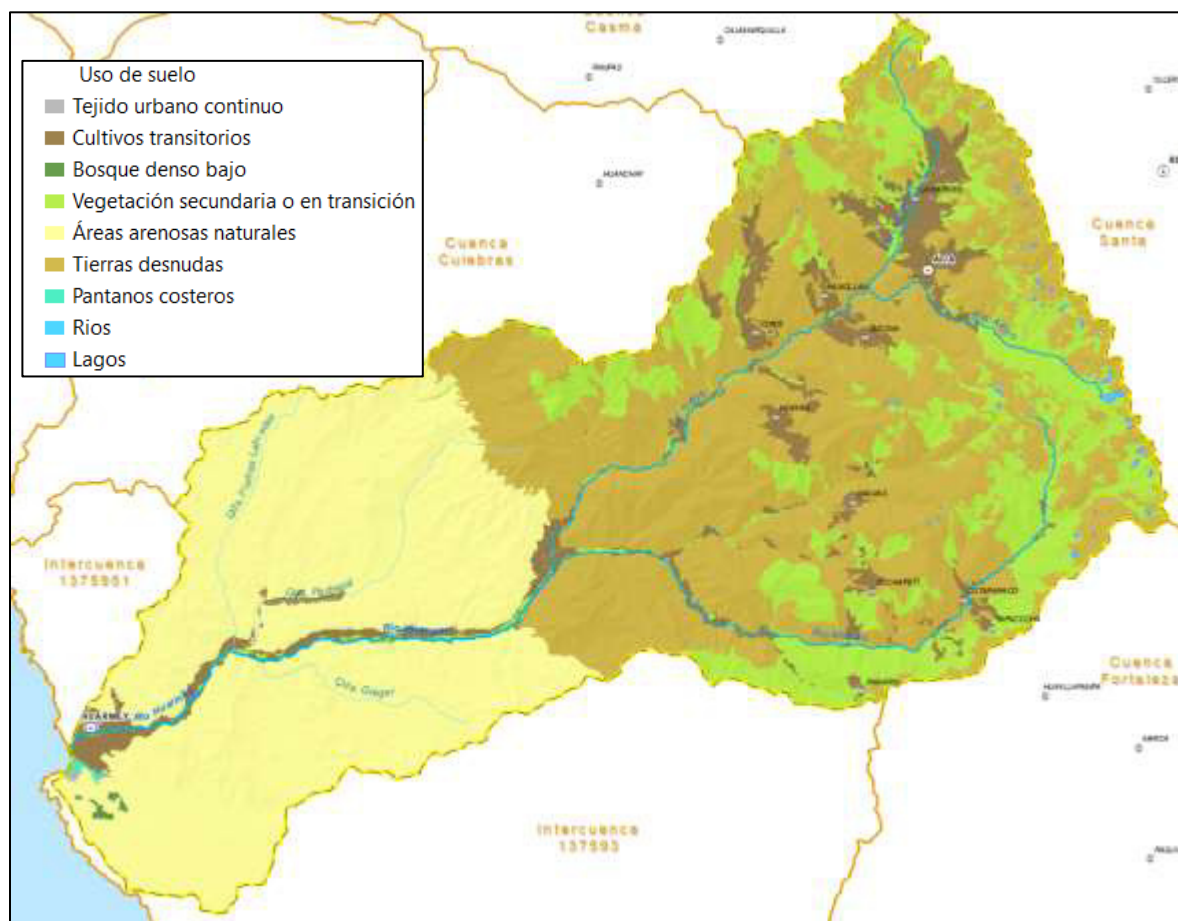
Aquellas áreas artificializadas representaron una proporción mínima del territorio con 565.60 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas dominadas por cultivos transitorios, ocuparon 14,830.68 ha, equivalente al 6.61% de la superficie global. Por su parte, las zonas boscosas y espacios en su mayor cuantía naturales constituyeron el grupo más diverso, incluyendo bosque denso bajo con 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición con 39,079.92 hectáreas (17.41%), áreas arenosas naturales con 77,449.16 hectáreas (34.50%) y tierras desnudas que comprenden zonas erosionadas o degradadas con 91,464.91 hectáreas (40.74%). Las áreas húmedas costeras, representadas por

pantanos costeros abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los espacios de agua, que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas, lagos y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 26

Resultados de la clasificación uso de suelos 2020

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	565.60	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14830.68	6.61%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	39079.92	17.41%	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	77449.16	34.50%	
		3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	91464.91	40.74%
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

Figura 37*Resultado de la clasificación uso de suelo 2020*

- **Uso de suelo 2021**

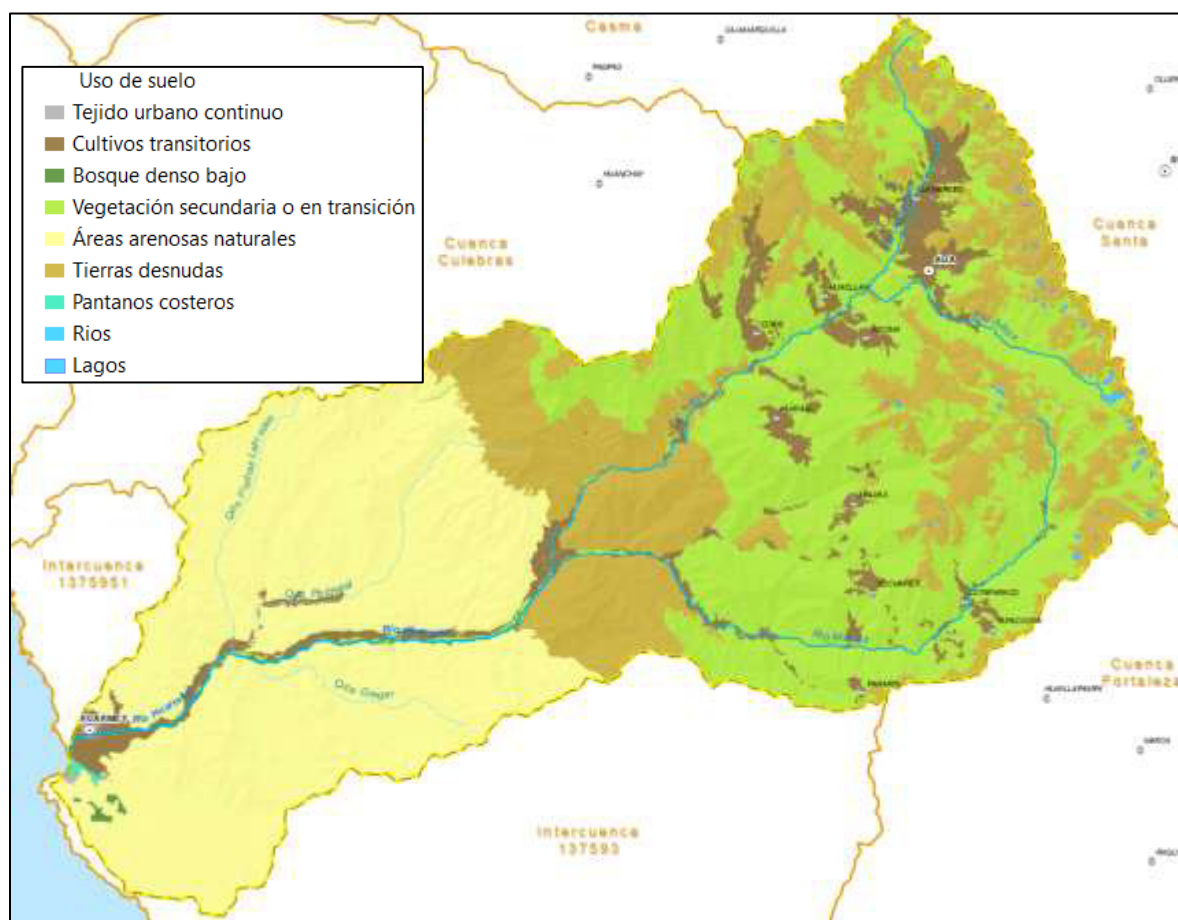
Las áreas artificializadas representaron una proporción mínima del territorio con 565.60 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas, dominadas por cultivos transitorios, ocuparon 14,830.68 ha, equivalente al 6.61% de la extensión global. Por su parte, las zonas boscosas y espacios en su mayor cuantía naturales constituyeron el grupo más diverso, incluyendo bosque denso bajo con 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición con 75,228.80 hectáreas (33.51%), áreas arenosas naturales con 77,449.16 hectáreas (34.50%) y tierras desnudas que comprenden zonas erosionadas o degradadas

con 55,316.03 hectáreas (24.64%). Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los espacios de agua, que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas, lagos y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 27

Resultados de la clasificación uso de suelo 2021

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	565.60	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14830.68	6.61%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	75228.80	33.51%	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	77449.16	34.50%	
		3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	55316.03	24.64%
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

Figura 38*Resultado de la clasificación uso de suelo 2021*

- **Uso de suelo 2022**

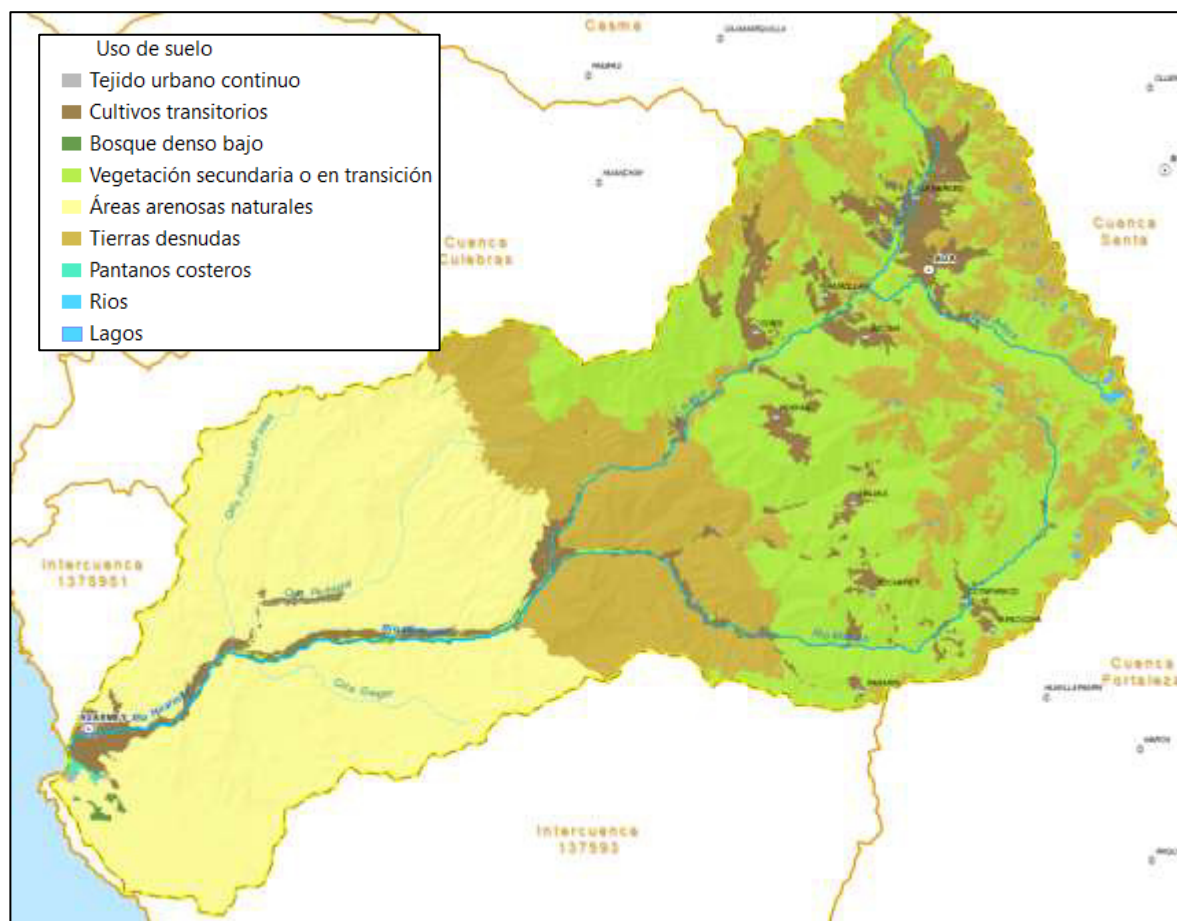
Las áreas artificializadas representaron una proporción mínima del territorio con 565.60 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas, dominadas por cultivos transitorios, ocuparon 14,878.45 ha, equivalente al 6.63% de la superficie global. Por su parte, las zonas boscosas y espacios en su mayor cuantía naturales constituyeron el grupo más diverso, incluyendo bosque denso bajo con 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición con 68,429.61 hectáreas (30.48%), áreas arenosas naturales con 77,378.79 hectáreas (34.47%) y tierras desnudas que comprenden zonas erosionadas o degradadas

con 62,137.80 hectáreas (27.68%). Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros, abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los espacios de agua, que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas, lagos y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 28

Resultados de la clasificación uso de suelos 2022

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	565.60	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14878.45	6.63%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	68429.61	30.48%	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	77378.79	34.47%	
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	62137.80	27.68%	
	3.4 Áreas sin o poca vegetación				
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

Figura 39*Resultado de la clasificación de uso de suelo 2022*

- **Uso de suelo 2023**

Aquellas áreas artificializadas representaron una proporción mínima del territorio con 565.60 hectáreas (0.25%), correspondientes exclusivamente a tejido urbano continuo. Las áreas agrícolas, dominadas por cultivos transitorios, ocuparon 14,878.45 ha, equivalente al 6.63% de la superficie global. Por su parte, las zonas boscosas y espacios en su mayor cuantía naturales constituyeron el grupo más diverso, incluyendo bosque denso bajo con 190.64 hectáreas (0.08%), vegetación secundaria o en transición con 81,197.37 hectáreas (36.17%), áreas arenosas naturales con 77,378.79 hectáreas (34.47%) y tierras desnudas que comprenden zonas erosionadas o

degradadas con 49,370.05 hectáreas (21.99%). Las áreas húmedas costeras, representadas por pantanos costeros, abarcaron 152.12 hectáreas (0.07%), mientras que los espacios de agua, que incluyen ríos y cuerpos de agua permanentes como lagunas, lagos y ciénagas, sumaron un total de 766.08 hectáreas (0.34%).

Tabla 29

Resultados de la clasificación de uso de suelo 2023

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER					
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE		
			Ha	%	
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo	565.60	0.25%	
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios		14878.45	6.63%	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo	190.64	0.08%	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.3 Vegetación secundaria o en transición	81197.37	36.17%	
		3.4.1. Áreas arenosas naturales	77378.79	34.47%	
		3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	49370.05	21.99%
4. Áreas Húmedas	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros	152.12	0.07%	
5. Superficies de Agua	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)	409.24	0.18%	
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%	
TOTAL			224499.10	100.00%	

ámbito de la cuenca, lo cual posibilitó la determinación cuantitativa de las variaciones territoriales repartidas en nueve grupos de capas superficiales.

La matriz de transiciones correspondiente al intervalo de 2016 a 2023 posibilitó la detección de las corrientes de modificación entre las diversas categorías de capa superficial en la cuenca del río Huarmey. Dicho instrumento resultó fundamental para dimensionar, más allá de las reducciones y expansiones netas, los trueques entre grupos, lo que a su vez expuso las interacciones subyacentes en la configuración paisajística.

Tabla 30
Estructura establecida para matriz de transición

														AÑO 2023									AÑO TOTAL	PERDIDA
														CATEGORIA 1	CATEGORIA 2	CATEGORIA 3	CATEGORIA 4	CATEGORIA 5	CATEGORIA 6	CATEGORIA 7	CATEGORIA 8	CATEGORIA 9		
														Áreas arenosas naturales	Bosque denso bajo	Cultivos transitorios	Pantanos costeros	Tejido urbano continuo	Tierras desnudas	Vegetación secundaria en transición	Lagos	Ríos		
														1	2	3	4	5	6	7	8	9		
AÑO 2016	CATEGORIA 1	Áreas arenosas naturales	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	P1+	P1+ - P11										
	CATEGORIA 2	Bosque denso bajo	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	P2+	P2+ - P22										
	CATEGORIA 3	Cultivos transitorios	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	P3+	P3+ - P33										
	CATEGORIA 4	Pantanos costeros	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	P4+	P4+ - P44										
	CATEGORIA 5	Tejido urbano continuo	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	P5+	P5+ - P55										
	CATEGORIA 6	Tierras desnudas	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	P6+	P6+ - P66										
	CATEGORIA 7	Vegetación secundaria en transición	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	P7+	P7+ - P77										
	CATEGORIA 8	Lagos	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	P8+	P8+ - P88										
	CATEGORIA 9	Ríos	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	P9+	P9+ - P99										
AÑO TOTAL				P+1	P+2	P+3	P+4	P+5	P+6	P+7	P+8	P+9	1											
GANANCIA				P+1 - P11	P+2 - P22	P+3 - P33	P+4 - P44	P+5 - P55	P+6 - P66	P+7 - P77	P+8 - P88	P+9 - P99												

Nota. Extraído de Pontius et al. (2004).

Los resultados evidencian una dinámica territorial significativa, con un cambio total estimado de 120,769.03 hectáreas, equivalente al 53.79% del área total de la cuenca. Este cambio se descompone en una ganancia neta de 60,384.51 ha y una pérdida equivalente, lo que indica un proceso de intercambio activo entre coberturas.

Tabla 31

Estimación de pérdidas de cobertura de suelo por clase (2016-2023)

Cobertura	Área (Ha)
Áreas arenosas naturales	358.16
Bosque denso bajo	0.00
Cultivos transitorios	2.54
Lagos	0.00
Pantanos costeros	0.00
Ríos	0.00
Tejido urbano continuo	0.00
Tierras desnudas	58304.47
Vegetación secundaria o en transición	1719.34
Total	60384.51

Tabla 32

Estimación de ganancias de cobertura de suelo por clase (2016-2023)

Cobertura	Área (Ha)
Áreas arenosas naturales	15.00
Bosque denso bajo	0.00
Cultivos transitorios	471.16
Lagos	0.00
Pantanos costeros	0.00
Ríos	0.00
Tejido urbano continuo	20.14
Tierras desnudas	1536.72
Vegetación secundaria o en transición	58341.50
Total	60384.51

Los principales hallazgos del análisis multitemporal de la ocupación de suelo en la cuenca del río Huarmey en el lapso 2016 y 2023, evidencian una transformación significativa del paisaje.

La vegetación secundaria o en transición fue la categoría más dinámica, con una ganancia de 58,341.50 ha y una pérdida de 1,719.34 ha, lo que representa un cambio neto de 56,622.15 ha, atribuible a procesos de revegetación, abandono agrícola o recuperación ecológica. En contraste, las tierras desnudas registraron una pérdida considerable de 58,304.47 ha y una ganancia marginal de 1,536.72 ha, con una reducción neta de 56,767.75 ha, posiblemente vinculada a la estabilización de suelos o revegetación espontánea. Los cultivos transitorios aumentaron en 471.16 ha, con una pérdida de solo 2.54 ha, reflejando una expansión agrícola neta de 468.62 ha, mientras que el tejido urbano continuo creció en 20.14 ha sin registrar pérdidas, lo que indica una expansión urbana localizada pero constante. Las áreas arenosas naturales presentaron una leve pérdida neta de 343.16 ha, y las coberturas hídricas como ríos, lagos y pantanos costeros se mantuvieron estables.

- **Transición del uso de suelo 2016 - 2018**

Tabla 33

Dinámica multitemporal de las coberturas del suelo: ganancias, pérdidas y cambios netos (2016-2023)

Cobertura	Total 2016	Total 2023	Ganancias	Pérdida	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Áreas arenosas naturales	77720.27	77377.11	15.00	358.16	343.16	30.00	373.16
Bosque denso bajo	190.64	190.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cultivos transitorios	14409.84	14878.45	471.16	2.54	468.62	5.08	473.69
Lagos	356.84	356.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pantanos costeros	152.12	152.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ríos	409.24	409.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Tejido urbano continuo	545.46	565.60	20.14	0.00	20.14	0.00	20.14
Tierras desnudas	106137.80	49370.05	1536.72	58304.47	56767.75	3073.45	59841.19
Vegetación secundaria o en transición	24576.90	81199.05	58341.50	1719.34	56622.15	3438.69	60060.84
Total	224499.10	224499.10	60384.51	60384.51	114221.81	6547.22	120769.03

En términos porcentuales, la cobertura de tierras desnudas pasó de 47.28% en 2016 a 21.99% en 2023, mientras que la vegetación secundaria aumentó de 10.95% a 36.17%, lo que

representa un cambio positivo de 25.22 puntos porcentuales. Estos resultados reflejan una tendencia hacia la recuperación ecológica en zonas previamente degradadas, una expansión agrícola moderada y un crecimiento urbano contenido, siendo la transición de tierras desnudas hacia vegetación secundaria el cambio más relevante del periodo, con implicancias positivas para la resiliencia ambiental de la cuenca.

Tabla 34

Variación porcentual de las coberturas del suelo: ganancias, pérdidas y cambios netos (2016-2023)

Cobertura	Total 2016	Total 2023	Ganancias	Pérdida	Cambio Neto	Intercambio	Cambio Total
Áreas arenosas naturales	34.619	34.467	0.007	0.160	0.153	0.013	0.166
Bosque denso bajo	0.085	0.085	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cultivos transitorios	6.419	6.627	0.210	0.001	0.209	0.002	0.211
Lagos	0.159	0.159	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Pantanos costeros	0.068	0.068	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ríos	0.182	0.182	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tejido urbano continuo	0.243	0.252	0.009	0.000	0.009	0.000	0.009
Tierras desnudas	47.278	21.991	0.685	25.971	25.286	1.369	26.655
Vegetación secundaria o en transición	10.947	36.169	25.987	0.766	25.222	1.532	26.753
Total %	100.000	100.000	26.897	26.897	50.879	2.916	53.795

Figura 41
Transición del uso del suelo (2016-2023)

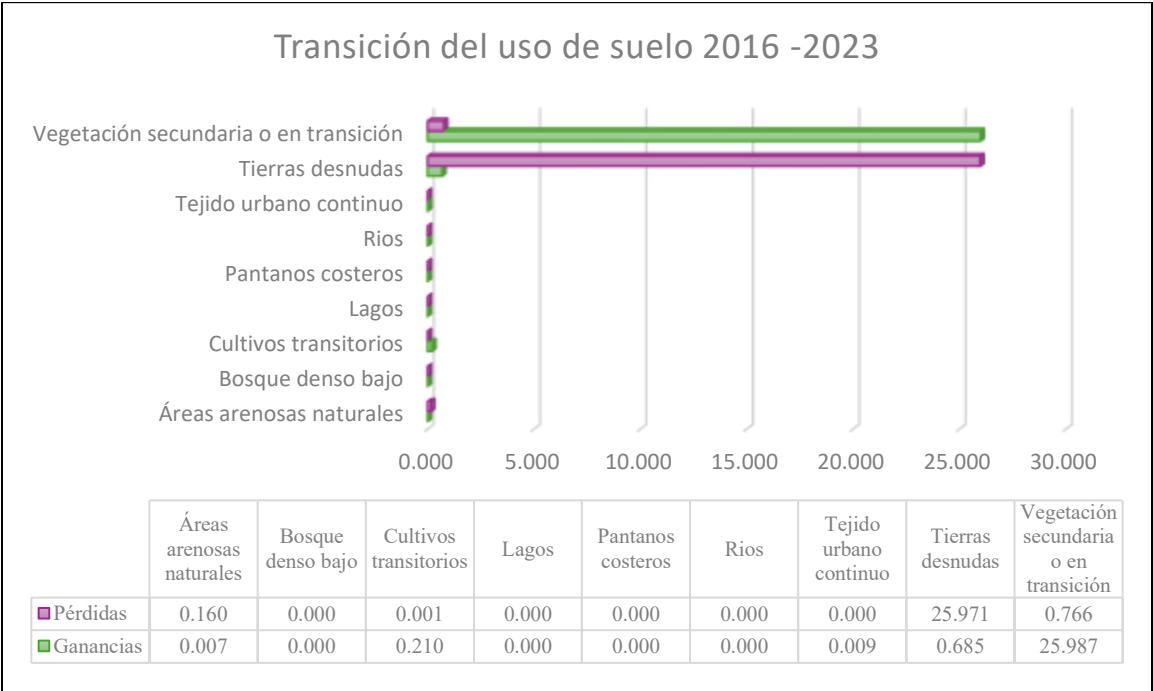


Figura 42
Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría de áreas arenosas naturales entre 2016-2023

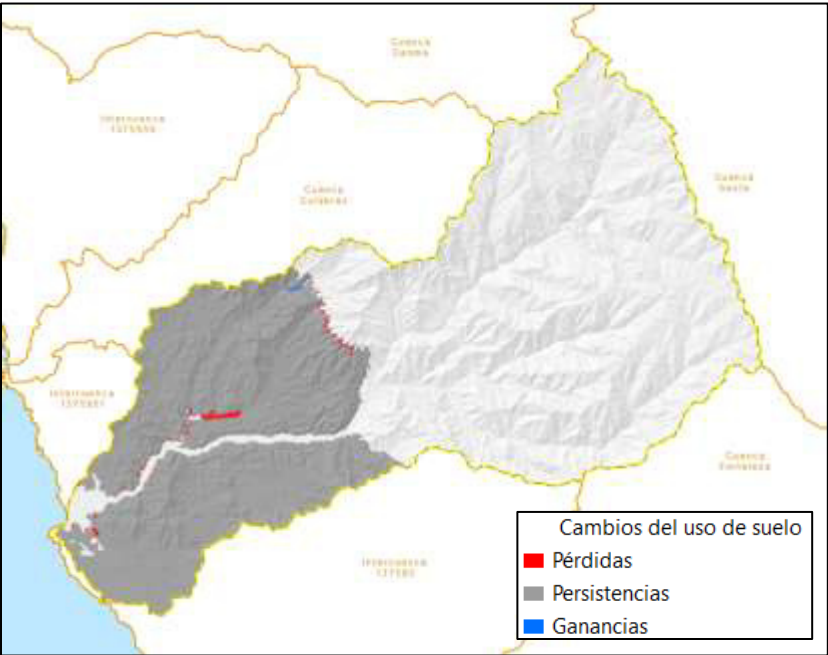


Figura 43

Pérdidas, permanencias y ganancias de cultivos transitorios entre 2016-2023

**Figura 44**

Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría Tejido Urbano Continuo entre 2016-2023

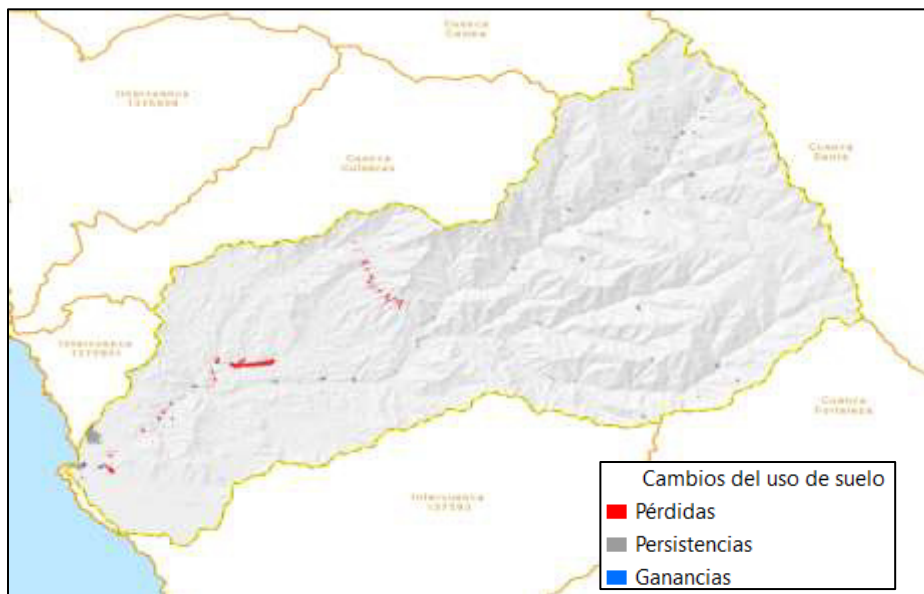
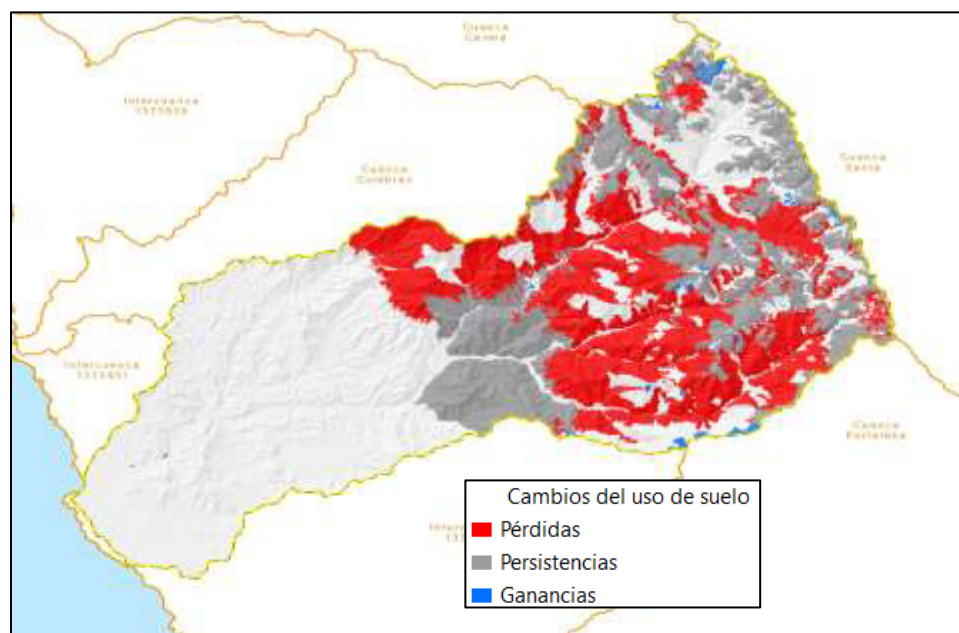
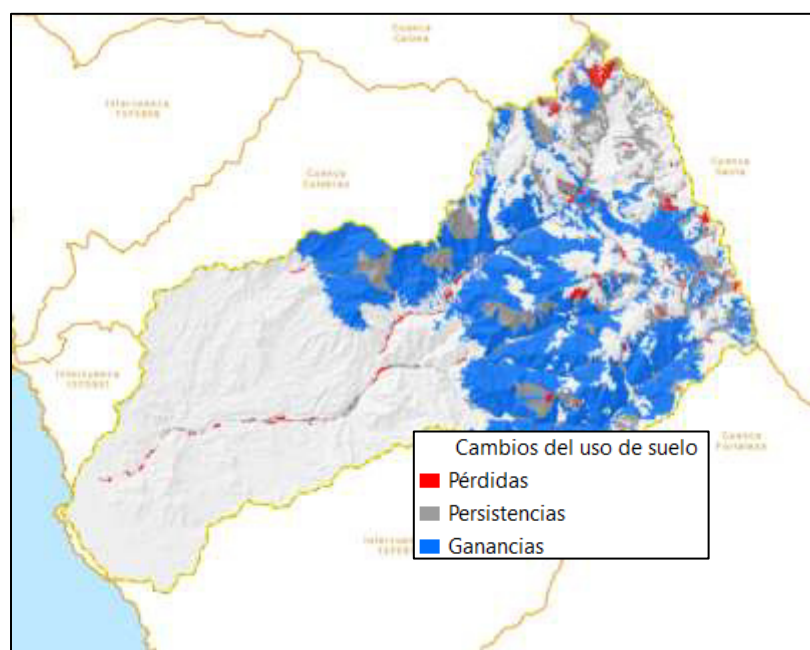


Figura 45

Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría Tierras Desnudas entre 2016-2023

**Figura 46**

Pérdidas, permanencias y ganancias de la categoría vegetación secundaria o en transición entre 2016-2023



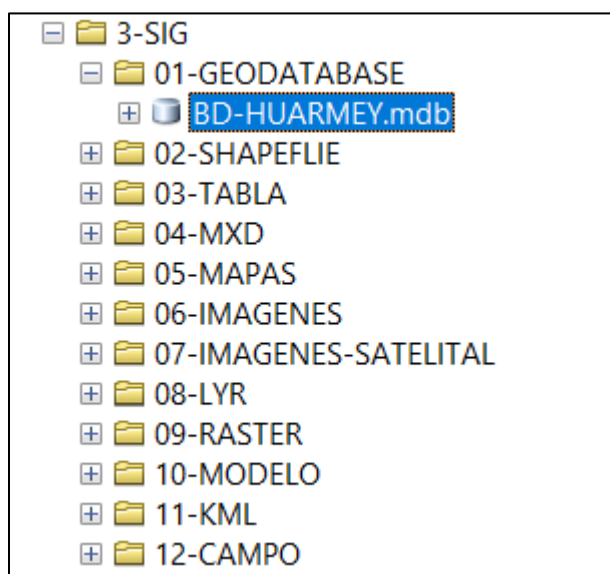
Resultados de la elaboración de la base de datos espacial de la información cartográfica.

- **Estructura y almacenamiento de la información cartográfica**

Los datos geográficos emanados de los hallazgos alcanzados en esta indagación actual se han organizado sistemáticamente en un directorio principal identificado como SIG; en este marco, las iniciativas desplegadas a través de ArcGIS, junto con su administración correspondiente, se distinguen por su carácter adaptable, meticulosamente estructurado y claramente delimitado, tal como se evidencia en la representación gráfica que se presenta a continuación.

Figura 47

Estructura del encarpetao y almacenamiento de la información cartográfica



- **Descripción de carpetas y sub carpetas**

Carpeta 01_GEODATABASE, donde descansará la GDB Cartográfica, incluyente de la data informativa cartográfica de línea base y las derivaciones alcanzadas del proceso de clasificación de ocupación de suelos de la cuenca el río Huarmey.

Carpeta 02_SHAPEFILE, contiene la información geoespacial recopilada y generada en formato shapefile para el análisis de resultados del uso de suelo.

Carpeta 03_TABLA, incluye cuadros en formato xls, partícipes de los análisis obtenidos, temáticos y listados de mapas.

Carpeta 04_MXD, incluye los mapas temáticos esbozados en extensión mxd.

Carpeta 05_Mapas, incluye los mapas temáticos esbozados en formato PDF.

Carpeta 06_IMAGENES, contienen las fotos incluidas en los mapas temáticos en formato jpg.

Carpeta 07_IMAGEN_SATELITAL, incluye las iconografías satelitales, ortofotos o semejantes.

Carpeta 08_LYR, incluye esos ficheros que documentan las representaciones de simbologías de las capas o temáticos tienen empleo en los mapas.

Carpeta 09_RASTER, En esta carpeta contendrá archivos de conjuntos de celdas con extensión tipo tif.

Carpeta 10_MODELO, contiene archivos tipo tbx el cual son conjunto de procesos ejecutados en el módulo Modelbuilder de ArcGIS.

Carpeta 11_KML, En esta carpeta contiene información de archivos de formato kml para la visualización en Google Earth.

Carpeta 12_CAMPO, En esta carpeta contiene la información levantada en la vista de campo fotos georreferenciados, videos y fichas.

- **Geodatabase**

Representa el depósito material de los datos espaciales, basado primordialmente en un gestor de bases de datos o en un esquema de organización de ficheros. El manejo y la consulta de esta estructura concreta se llevan a cabo mediante herramientas informáticas orientadas a los Sistemas de Información Geográfica (SIG), o bien, recurriendo a un administrador de bases de datos con el empleo de instrucciones en SQL.

- **Estructura de la Geodatabase**

La conservación de los datos geográficos se efectuó bajo el esquema de File Geodatabase. Tales datos se depositan en conjuntos de características denominados Feature Datasets, así como en clases de entidades que adoptan formatos vectoriales o rasterizados. A continuación, se expone un diagrama que detalla los atributos pertinentes para cada Geodatabase general configurada en relación con la cuenca del río Huarmey.

Se presentan el Geodatabase, describiéndose seguidamente los BD_Huarmey, donde se ubican los registros informativos recopilados, así como la data de las derivaciones logradas en los procedimientos desplegados en gabinete con registros levantados tanto de campo como de imágenes de satélite.

A continuación, se presenta la estructura del geodatabase:

Figura 48

Diseño estructural de la Geodatabase y estandarización de nombres de geodatasets

	Name
3-SIG	
01-GEODATABASE	
BD-HUARMEY.mdb	BD_AMBITO_ADMINISTRATIVO
02-SHAPEFLIE	BD_AMBITO_POLITICO
03-TABLA	BD_ANOTACION
04-MXD	BD_CARTO_BASE
05-MAPAS	BD_CURVAS
06-IMAGENES	BD_HIDROGRAFIA
07-IMAGENES-SATELITAL	BD_TEMATICOS
08-LYR	BD_Transporte
09-RASTER	BD_USO_SUELO
10-MODELO	
11-KML	
12-CAMPO	

- **Uso de suelo periodo del 2016 -2023**

La información espacial empleada proviene de una clase de entidades (feature class) de tipo polígono, la cual se encuentra contenida en un conjunto de datos de entidades (feature dataset) denominado “BD_USO_SUELO”. Dicho conjunto agrupa capas con un mismo sistema de

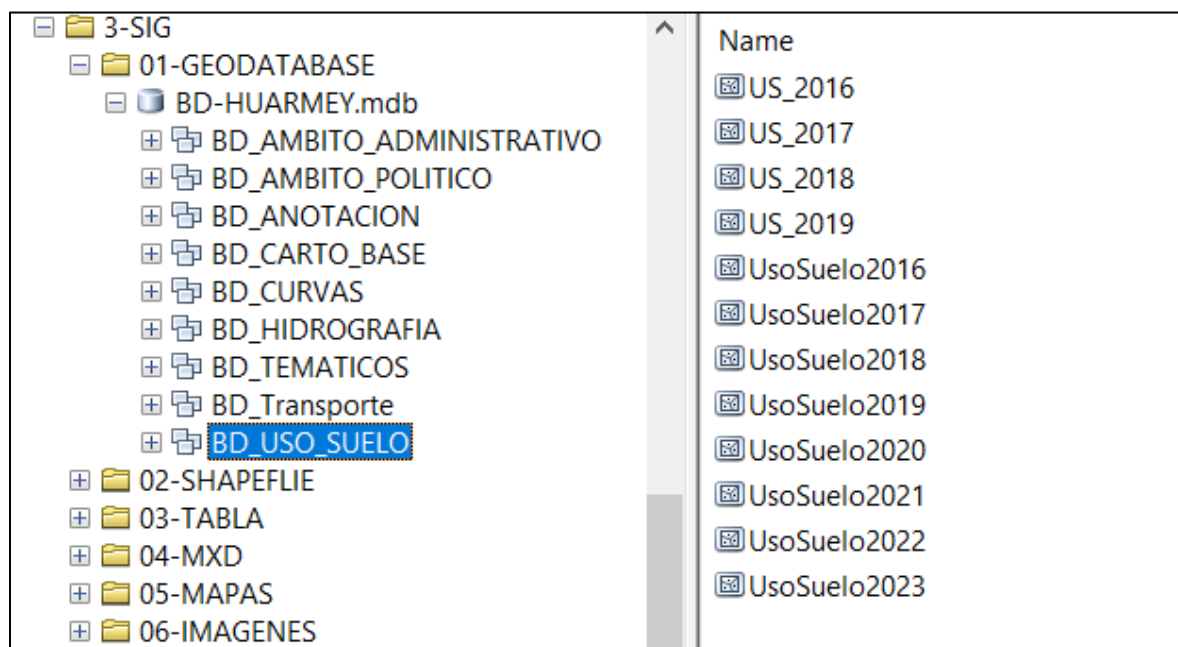
referencia espacial, permitiendo mantener la coherencia geométrica y la integridad topológica durante los procesos de análisis.

La geodatabase utilizada constituye el modelo de almacenamiento principal en el entorno ArcGIS, donde se organizan jerárquicamente los distintos componentes geoespaciales como clases de entidades (línea base y resultados del uso de suelo), con el propósito de optimizar la gestión, consulta y edición de datos (Environmental Systems Research Institute, 2023).

En la figura que sigue es mostrada la organización interna de la geodatabase y la ubicación de la capa correspondiente a los resultados del análisis espacial.

Figura 49

Almacenamiento estructurado de las entidades geoespaciales resultantes del análisis del uso del suelo



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Evaluación de la precisión de la clasificación supervisada

La clasificación supervisada realizada para los años 2016 y 2023 alcanzó precisiones globales de 88,15 % y 83,70 % respectivamente, así como índices Kappa de 0,87 y 0,82. De acuerdo con la escala de interpretación propuesta por Landis y Koch (1977), estos valores representan una concordancia casi perfecta y sustancial, lo que evidencia la confiabilidad de los mapas temáticos generados para el análisis multitemporal.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos por Montiel (2022), quien reportó niveles elevados de precisión en la clasificación de coberturas, mediante técnicas de aprendizaje automático en la cuenca del río Atoyac-Salado. En ambos estudios se identificó una menor precisión en las categorías asociadas a vegetación intermedia, debido a la similitud espectral existente entre coberturas en transición y áreas con escasa cobertura vegetal.

De manera similar, Churasacari y Aslla (2025), en un estudio realizado en Madre de Dios, concluyeron que algoritmos robustos como Random Forest, CART y SVM presentan limitaciones en la diferenciación de coberturas sujetas a procesos de transición ecológica. Esta situación coincide con los resultados obtenidos en la cuenca del río Huarmey, donde la clase vegetación secundaria o en transición presentó errores de comisión superiores al 40 % en ambos años evaluados.

Asimismo, la elevada omisión observada en la categoría ríos (40 %) coincide con lo señalado por Portal (2024), quien identificó dificultades para la delimitación de cuerpos de agua estrechos utilizando imágenes Sentinel-2. En ambos casos, la resolución espacial del sensor constituye una limitante para la correcta representación de elementos lineales de reducida dimensión.

5.2 Dinámica multitemporal del uso de suelo (2016–2023)

Los resultados evidencian cambios importantes en la distribución espacial de las coberturas terrestres dentro de la cuenca del río Huarmey. La principal transformación correspondió a la disminución de 56 767,75 ha de tierras desnudas, y al incremento de 56 622,15 ha de vegetación secundaria o en transición.

Esta tendencia coincide con lo reportado por la Sociedad Zoológica de Frankfurt en la Reserva del Manu, donde se registró una reducción de áreas degradadas acompañada por un aumento de la cobertura vegetal. Aunque ambos estudios se desarrollan en contextos ecológicos diferentes; los resultados muestran un comportamiento similar en cuanto al incremento de superficies cubiertas por vegetación respecto de áreas previamente desprovistas de cobertura vegetal.

Por otro lado, la expansión de los cultivos transitorios observada en la cuenca del río Huarmey, con un incremento neto de 468,62 ha, guarda relación con los hallazgos de Campos (2019) en la cuenca baja del río Chilca, donde se identificó una expansión progresiva de las actividades agrícolas asociada al aprovechamiento de áreas previamente subutilizadas.

De igual manera, el tejido urbano continuo registró un incremento de 20,14 ha durante el periodo de estudio. Aunque este crecimiento es relativamente reducido respecto a la superficie total de la cuenca, coincide con lo señalado por Campos (2019), quien reportó procesos de expansión urbana gradual en cuencas costeras del Perú. Estos resultados sugieren que las modificaciones territoriales observadas en Huarmey estuvieron asociadas, principalmente, a cambios en coberturas naturales y agrícolas, más que a procesos intensivos de urbanización.

5.3 Implicancias ambientales y territoriales

Los cambios identificados en la cobertura del suelo presentan relevancia para la gestión ambiental y territorial de la cuenca del río Huarmey. El incremento de la vegetación secundaria o en transición resulta coherente con los objetivos establecidos en el Plan Nacional de Restauración de Ecosistemas Degradados según MINAM (2020), orientados a la recuperación de áreas afectadas por procesos de degradación.

Asimismo, los resultados obtenidos respaldan la utilidad del sistema CORINE Land Cover adaptado al contexto peruano, coincidiendo con lo señalado por Alva y León (2017), quienes destacan que este sistema facilita la estandarización de la información territorial y su integración en procesos de planificación y gestión ambiental.

En este sentido, la metodología aplicada demuestra que la combinación de imágenes Sentinel-2, clasificación supervisada y análisis SIG constituye una herramienta adecuada para el monitoreo de cambios de uso del suelo en cuencas hidrográficas, proporcionando información útil para el ordenamiento territorial, la gestión de recursos naturales y la toma de decisiones a escala regional.

5.4 Limitaciones del estudio y recomendaciones metodológicas

A pesar de que la clasificación supervisada alcanzó precisiones globales de 88,15 % para el año 2016 y 83,70 % para el año 2023, así como índices Kappa de 0,87 y 0,82 respectivamente, se identificaron limitaciones asociadas a la resolución espacial de las imágenes Sentinel-2 (10–20 m), la disponibilidad de datos de campo y la complejidad espectral de determinadas coberturas.

Las principales dificultades se presentaron en la clasificación de categorías de transición, particularmente la vegetación secundaria o en transición, así como en elementos lineales como los ríos. Esta situación coincide con lo reportado por Goroc (2021), quien señala que la precisión de

las clasificaciones derivadas de imágenes Sentinel mejora cuando se complementa la información espectral con observaciones de campo y múltiples fuentes de datos geoespaciales. Del mismo modo, Portal (2024) identificó limitaciones en la representación de cuerpos de agua estrechos debido a la resolución espacial de los sensores empleados, aspecto que también se evidenció en la presente investigación.

Asimismo, los errores observados en coberturas con características espectrales similares guardan relación con los resultados obtenidos por Churasacari y Aslla (2025) y Montiel (2022), quienes reportaron dificultades en la discriminación de coberturas sujetas a procesos de transición ecológica, aun utilizando algoritmos avanzados de clasificación. Estas coincidencias sugieren que la confusión entre clases constituye una limitación común en estudios de cambio de uso del suelo basados en imágenes satelitales.

Por otro lado, los procedimientos de validación aplicados mediante matrices de confusión e índice Kappa permitieron garantizar la confiabilidad de los resultados obtenidos. Este enfoque metodológico coincide con lo señalado por Sánchez (2016) y Pimiento (2019), quienes destacan que la evaluación estadística de la exactitud temática constituye una etapa indispensable para la validación de clasificaciones de uso del suelo derivadas de técnicas de teledetección.

En función de las limitaciones identificadas, se recomienda que futuras investigaciones incorporen imágenes de mayor resolución espacial, tales como PlanetScope o WorldView, amplíen el número de puntos de validación en campo e integren índices espectrales complementarios para mejorar la diferenciación entre coberturas con respuestas espectrales similares. Asimismo, se sugiere desarrollar análisis multitemporales con un mayor número de fechas intermedias, lo que permitiría caracterizar con mayor detalle la evolución de las coberturas y reducir la incertidumbre asociada a comparaciones realizadas únicamente entre dos periodos.

VI. CONCLUSIONES

- ❖ El análisis multitemporal mediante imágenes Sentinel-2 permitió identificar y cuantificar los cambios de uso del suelo en la cuenca del río Huarmey durante el periodo 2016–2023, evidenciando la utilidad de la teledetección y los Sistemas de Información Geográfica para el monitoreo territorial.
- ❖ La clasificación supervisada alcanzó precisiones globales de 88,15 % para el año 2016 y 83,70 % para el año 2023, con índices Kappa de 0,87 y 0,82 respectivamente, demostrando un nivel de confiabilidad adecuado para el análisis multitemporal realizado.
- ❖ Las mayores variaciones de cobertura ocurrieron en las categorías tierras desnudas y vegetación secundaria o en transición. Las tierras desnudas registraron una disminución neta de 56 767,75 ha, mientras que la vegetación secundaria presentó un incremento neto de 56 622,15 ha durante el periodo de estudio.
- ❖ Los cultivos transitorios mostraron un incremento neto de 468,62 ha y el tejido urbano continuo aumentó en 20,14 ha, evidenciando una expansión moderada de las actividades agrícolas y urbanas dentro de la cuenca.
- ❖ Las coberturas correspondientes a bosque denso bajo, lagos, pantanos costeros y ríos mantuvieron estabilidad espacial entre 2016 y 2023, sin presentar cambios significativos en su superficie.
- ❖ La generación de información cartográfica temática y de una base de datos espacial permitió representar y sistematizar los cambios de uso del suelo, constituyéndose en una herramienta técnica para la gestión territorial y ambiental de la cuenca del río Huarmey.

VII. RECOMENDACIONES

- ❖ Implementar programas permanentes de monitoreo multitemporal mediante imágenes satelitales para actualizar periódicamente la información sobre el uso del suelo en la cuenca del río Huarmey.
- ❖ Incorporar imágenes de mayor resolución espacial y ampliar los puntos de validación en campo, con la finalidad de incrementar la precisión de futuras clasificaciones temáticas.
- ❖ Realizar investigaciones complementarias que permitan determinar los factores naturales y antrópicos asociados a la reducción de tierras desnudas y al incremento de vegetación secundaria o en transición.
- ❖ Fortalecer los instrumentos de planificación territorial y gestión ambiental, considerando las tendencias de expansión agrícola y urbana identificadas durante el periodo de estudio.
- ❖ Mantener mecanismos de seguimiento y conservación de las coberturas que presentaron estabilidad espacial, especialmente aquellas relacionadas con recursos hídricos y ecosistemas de importancia ambiental.
- ❖ Integrar la base de datos espacial generada en plataformas institucionales de gestión territorial para apoyar procesos de planificación, ordenamiento territorial y toma de decisiones a nivel local y regional.

VIII. REFERENCIAS

- Alva, J., & León, M. (2017). Aplicación del sistema CORINE Land Cover en el análisis de cobertura vegetal en Ancash. *Revista de Ciencia y Tecnología Ambiental*, 5(1), 33-48.
- Campos, G. (2019). Análisis de la dinámica de cobertura vegetal en la cuenca baja del río Chilca. *Revista de Geografía y Ordenamiento Territorial*, 11(2), 45-60.
- Churasacari, J., & Aslla, R. (2025). *Comparación de métodos de clasificación de uso y cobertura del suelo utilizando algoritmos de aprendizaje automático*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios.
- Chuvieco, E. (1995). *Fundamentos de teledetección espacial*. Editorial Rialp.
- Chuvieco, E. (2010). *Teledetección ambiental: la observación de la Tierra desde el espacio*. Editorial Ariel Ciencia.
- Congalton, R., & Green, K. (2009). Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. (2nd ed.). *CRC Press*.
- Echevarria, M., & Roman, M. (2019). *Evaluación multitemporal del cambio de uso y cobertura de suelo con imágenes geospaciales en el distrito de Oxapampa, Perú 2014-2019*. [Tesis de grado]. Universidad Peruana Unión.
- Environmental Systems Research Institute. (2023). *Fundamentals of geodatabase ARCGIS PRO Help*. <https://pro.arcgis.com/>
- European Environment Agency. (2008). CORINE Land Cover 1990 (CLC90). *Technical Guide and methodology*. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>
- Flores, A. (2018). *Análisis multitemporal de cambio de uso del suelo y cobertura vegetal e influencia del programa socio bosque en la parroquia periodo 1990 - 2016*. [Tesis de Grado]. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

- Florez, G., Rincón, A., Cardona, P., & Alzate, A. (2017). Análisis multitemporal de las coberturas vegetales en el área de influencia de las minas de oro ubicadas en la parte alta del sector de Maltería en Manizales, Colombia. *DYNA*, 84(201), 95-98. <https://doi.org/10.15446/dyna.v84n201.55759>
- Foody, G. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote sensing of environment*. 80(1), 185-201. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00295-4](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00295-4)
- García, C. (2021). *Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama (1996-2021)*. [Tesis de grado], Universidad Técnica del Norte.
- García, C. (2022). *Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del río Illangama*. [Tesis de maestría], Universidad Técnica de Ambato.
- García, C., & Hachi, M. (2022). Análisis multitemporal de la dinámica de uso de suelo y cobertura vegetal en la microcuenca del Río Illangama (1996-2021). *Revista de Investigación Talentos*, 9(2), 101-116. <https://doi.org/10.33789/talentos.9.2.173>
- Garrián , D. (2008). *Conceptos y clasificación del uso del suelo y sus implicaciones ambientales*. Manuscrito inédito.
- Gonzáles, G. (2018). *Análisis Multitemporal de la Deforestación y pérdida de cobertura boscosa en la provincia de Manu, 2000 - 2016*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Federico Villarreal.
- González, D. (2021). *Análisis multitemporal para la detección de cambios en el municipio de socha Bocayá y Popayán Cauca utilizando imágenes de ultra alta resolución espacial*. [Tesis de maestría]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

- Goroc, R. (2021). Cartografiado agrícola en el término municipal de venta del Moro mediante el análisis multitemporal de imágenes sentinel 1 y 2. [Trabajo Fin de Grado]. Universitat Politècnica de Valencia.
- Greenberg, J., Dobrowski, S., & Ustin, S. (2003). Shadow allometry: Estimating tree structural parameters using hyperspatial remote sensing data. *Landscape Ecology*, 18(8), 759-772. <https://doi.org/10.1023/A:1026095018570>
- Landis, J., & Koch, G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159-174.
- Loza, A., & Taype, I. (2021). Análisis multitemporal de asociaciones vegetales y cambios de uso del suelo en una localidad altoandina, Puno-Perú. *Uniciencia*, 35(2), 27-45. <https://doi.org/10.15359/ru.35-2.3>
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2020). *Plan Nacional de Restauración de Ecosistemas Degradados 2020–2030*. Plan Nacional de Restauración de Ecosistemas Degradados 2020–2030.
- Montiel, J. (2022). Clasificación de uso del suelo y vegetación con redes neuronales convolucionales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 1-25.
- Moridi, M., Yazdi, J., & Bozorg, O. (2015). Application of GIS in hydrology and water resources management. *Water Resources Management*, 29(10), 3397-3413. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1007-0>
- Murillo, V. (2019). Análisis multitemporal (1970 - 2017). El uso de suelo en cinco comunidades ubicadas a lo largo de la carretera Boyd Roosevelt, Panamá. *Tecnociencia*, 21(2), 10 - 20. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/224/224979010/>

- Niño, Y. (2020). Análisis multitemporal mediante imágenes de sensores remotos para la determinación de los cambios de uso de suelo en el municipio. [Tesis de maestría]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de información geográfica*. CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Pimiento, M. (2019). *Análisis Multitemporal del cambio de uso de suelo en el paramo de Pisba jurisdicción del municipio de Tasco para el periodo 1990 - 2015*. [Tesis de grado]. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia,
- Pontius, R., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, 179(4), 445-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- Pontius, R., Huffaker, D., & Denman, K. (2004). Useful techniques of validation for spatially explicit land-change models. *Ecological Modelling*, 179(4), 445-461. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2004.05.010>
- Portal, M. (2024). *Evaluación multitemporal del uso de suelo en la provincia de Huamanga mediante imágenes Sentinel-2*. [Tesis de maestría]. Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
- Sánchez, J. (2016). Evaluación de la calidad temática en clasificaciones de uso de suelo mediante matrices de confusión. *Revista de Teledetección*, 45(2), 15-28.
- Sandoval, V., Álvarez, R., & Martínez, L. (2005). Análisis de los cambios de uso del suelo mediante teledetección y sistemas de información geográfica. *Revista de Geografía Norte Grande*, 34(2), 45-62. <https://doi.org/10.4067/S0718-34022005000100003>
- Tomlin, C. (1990). *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*. Prentice-Hall.

- Torres, G. (2020). *Análisis multitemporal de la erosión del suelo mediante imágenes satelitales y su relación con el fenómeno El NiñoNiño, Lambayeque 2019*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Veloza, J. (2017). *Análisis multitemporal de las coberturas y usos del suelo de la reserva forestal protectora-productora “Casablanca” en Madrid (Cundinamarca), entre los años 1961 y 2015: aportes para el ordenamiento territorial municipal*. [Tesis de maestría]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Vila, D. (2015). *Detección de cambios en los usos de suelo a partir de clasificaciones no supervisadas para la actualización del SIOSE: Implementación en el territorio gallego*. [Tesis doctoral]. Universidad de Santiago de Compostela.

IX. ANEXOS

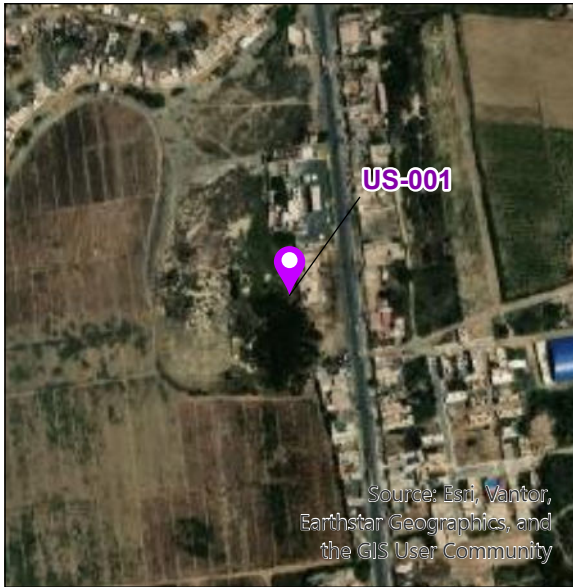
Anexo A: Fichas de campo

Anexo B: Panel Fotográfico

Anexo C: Matriz de Consistencia

Anexo D: Mapas temáticos

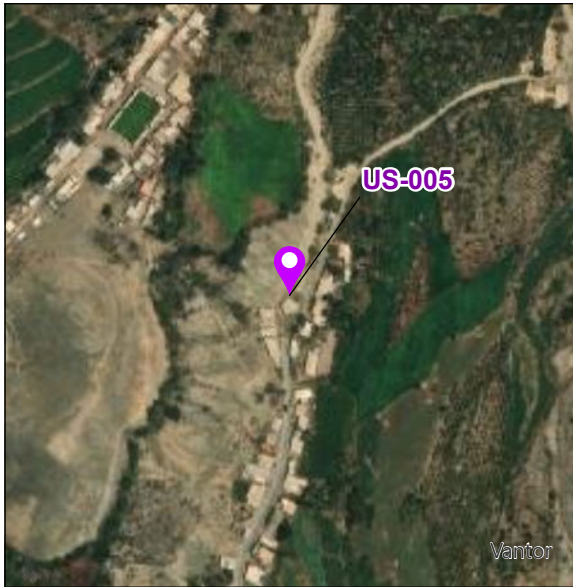
Anexo A: Fichas de campo

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-001	14/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
153,833.14	8,885,951.89	8,885,951.89
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
ND		
CROQUIS		IMAGEN
 Source: Esri, Vantor, Earthstar Geographics, and the GIS User Community		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-002	14/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
153,974.27	8,883,796.95	8,883,796.95
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
		ND
CROQUIS		IMAGEN
 Source: Esri, Vantor, Earthstar Geographics, and the GIS User Community		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-003	14/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
153,885.32	8,882,732.08	8,882,732.08
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
ND		
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-004	15/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
196,586.64	8,905,782.30	8,905,782.30
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Bosques	Matorral arbustivo	Fuertemente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Semiárido con invierno seco. Templado	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-005	15/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Aija	Coris
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
186,723.71	8,897,153.75	8,897,153.75
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Moderadamente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Semiárido con invierno seco. Templado	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-006	15/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Aija	Coris
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
198,842.46	8,908,920.61	8,908,920.61
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
	Matorral arbustivo	Fuertemente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Semiárido con invierno seco. Templado	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-007	15/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huayan
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
202,926.47	8,906,986.05	8,906,986.05
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Bosques	Matorral arbustivo	Fuertemente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Semiseco con invierno seco. Templado	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-008	15/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huayan
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
202,938.29	8,906,981.43	8,906,981.43
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Fuertemente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Semiseco con invierno seco. Templado	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-009	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
155,303.91	8,882,856.14	8,882,856.14
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Suelo desnudo	Desierto costero	Moderadamente empinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
		ND
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-010	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
154,481.50	8,884,900.83	8,884,900.83
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Superficies de Agua	Área urbana	Moderadamente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con de humedad estaciones deficiencia en todas las del año.	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-011	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
158,331.99	8,885,176.82	8,885,176.82
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
ND		
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-012	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
161,202.29	8,886,349.77	8,886,349.77
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
		ND
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-013	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
162,504.77	8,889,383.02	8,889,383.02
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Áreas Agrícolas	Agricultura costera y andina	Plano a Ligeramente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
ND		
CROQUIS		IMAGEN
		

FICHA TÉCNICA DE CAMPO		
INFORMACIÓN GENERAL		
CÓDIGO	FECHA	REGISTRADOR
US-014	16/03/2024 17:00:00	Edwards J. Altamiza Chavez
UBICACIÓN		
REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Ancash	Huarmey	Huarmey
COORDENADAS UTM		
ESTE	NORTE	ALTITUD
156,320.00	8,889,078.40	8,889,078.40
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS		
USO DE SUELO	COBERTURA VEGETAL	TIPO DE PENDIENTE
Suelo desnudo	Desierto costero	Moderadamente inclinado
UNIDAD CLIMÁTICA	OBSERVACIÓN	
Árido con deficiencia	de humedad en todas las	estaciones del año.
	ND	
CROQUIS		IMAGEN
		

Anexo B: Panel Fotográfico

Panel Fotográfico
Uso de suelo – coberturas presentes



Cobertura de Áreas arenosas naturales



Cobertura de Áreas arenosas naturales – Canteras



Tejido urbano continuó – casco urbano de Huarney



Tejido urbano continuo - casco urbano de Huarney



Cultivos transitorios – valle bajo



Cultivos transitorios - valle medio



Ríos, Agricultura y Vegetación secundaria o en transición – valle medio



Ríos, Agricultura y Vegetación secundaria o en transición – valle medio

Anexo C: Matriz de Consistencia

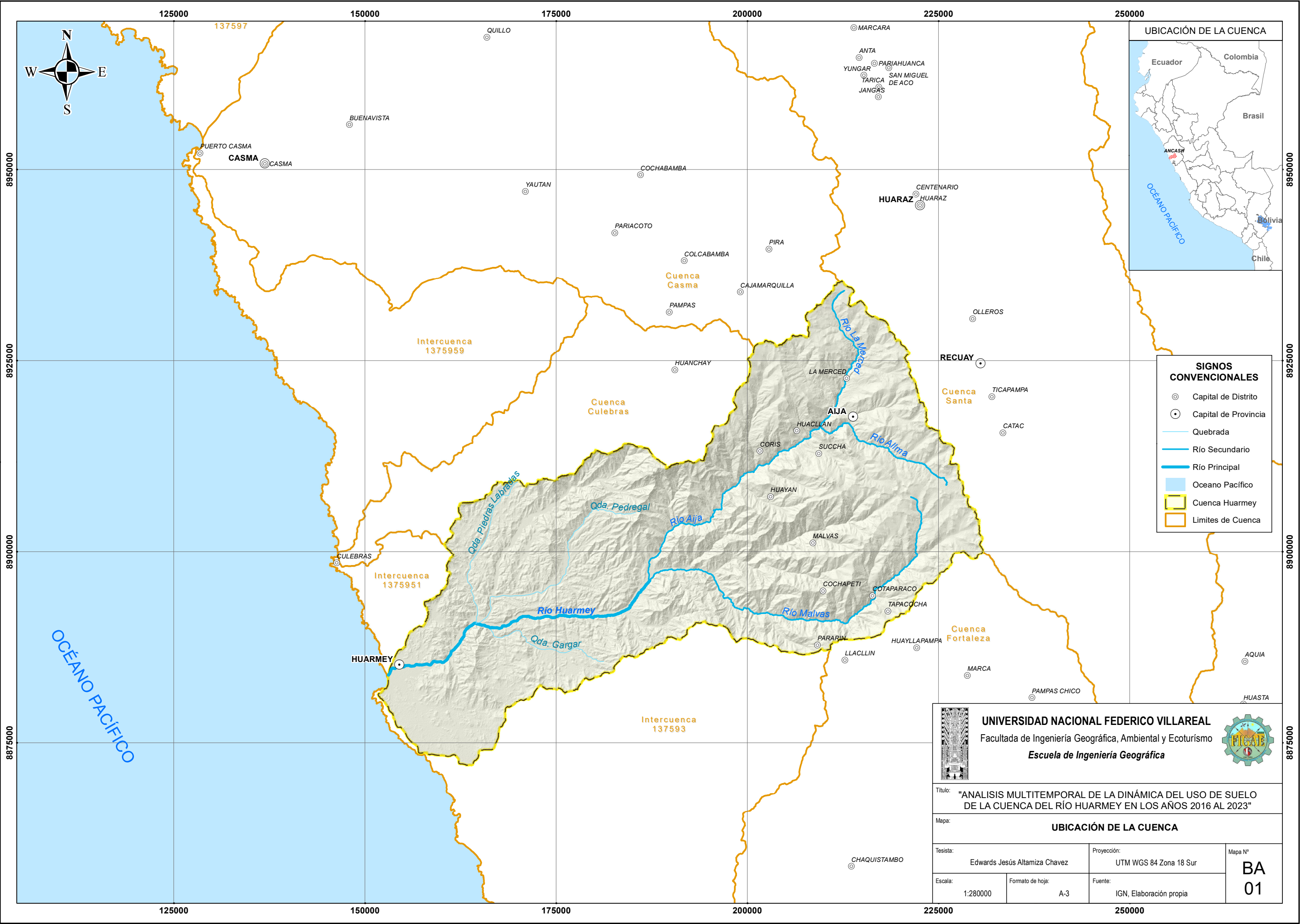


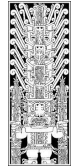
Matriz de Consistencia

ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE	METODO Y METODOLOGÍA	INDICADORES
Problema General: ¿Cómo se ha manifestado la dinámica del uso del suelo en la cuenca del río Huarmey entre 2016 y 2023 mediante análisis multitemporal con imágenes Sentinel-2? Problema Específico: ¿Cuál es la distribución espacial del uso del suelo en la cuenca del río Huarmey durante los años 2016 y 2023? ¿Qué cambios espaciales y porcentuales se presentan entre 2016 al 2023? ¿Cómo estructurar la base de datos espacial de los resultados obtenidos?	OG: Analizar la dinámica del uso del suelo en la cuenca del río Huarmey entre 2016 y 2023 mediante análisis multitemporal con imágenes Sentinel-2. OE: Clasificar el uso del suelo en la cuenca del río Huarmey para los años 2016 al 2023. Cuantificar los cambios espaciales y porcentuales entre el 2016 al 2023. Elaborar la base de datos espacial de la información cartográfica generada	Entre los años 2016 y 2023 se presentan variaciones cuantificables en la superficie y distribución espacial de las categorías de uso del suelo.	VD: Dinámica del uso del suelo de la cuenca del río Huarmey VI: Análisis multitemporal mediante imágenes Sentinel 2	METODO: Enfoque Cuantitativo con alcance descriptivo. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Diseño no experimental – longitudinal de tendencia. METODOLOGIA: Recopilación de imágenes satelitales en Google Earth Engine, Elaborar la clasificación supervisada del uso de suelo usando Superposiciones del NDWI,NDVI y SAVI así como análisis visual, ajustes analógicos y adaptación del sistema de clasificación Corine Land Cover, obtención de las áreas de uso de suelo que cambiaron usando la tabla de transiciones que determinara la cuantificación de áreas ganadas, perdidas y las permanencias de cada tipo de uso de suelo y terminando con la elaboración de la cartografía y mapa del resultado.	INDICADORES: • NDVI. • Clases Corine Land Cover. • Índice Kappa. • Hectáreas por clase. • Matriz de transición. • Porcentaje de cambio.

Anexo D: Mapas temáticos

LISTA DE MAPAS			
Nº	Nº DE MAPA	CODIGO	NOMBRE DEL MAPA
1	BA-01	BA-01-UbicCuencHuarmey	UBICACIÓN DE LA CUENCA
2	BA-02	BA-02-DemarPolitiCuencHuarmey	DEMARCACIÓN POLÍTICA
3	BA-03	BA-03-AdministCuencHuarmey	DEMARCACIÓN ADMINISTRATIVO
4	BA-04	BA-04-ViasComuCuencHuarmey	ACCESIBILIDAD Y VÍAS DE COMUNICACIÓN
5	BA-05	BA-05-RedHidroCuencHuarmey	RED HIDROGRÁFICA
6	BA-06	BA-06-UnidHidrCuencHuarmey	UNIDADES HIDROGRÁFICAS
7	BA-07	BA-07-GeologiaCuencHuarmey	GEOLOGÍA
8	BA-08	BA-08-GeomorfoCuencHuarmey	GEOMORFOLÓGIA
9	BA-09	BA-09-ClasiClimCuencHuarmey	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA
10	BA-10	BA-10-CobVegetalCuencHuarmey	COBERTURA VEGETAL
11	BA-11	BA-11-EscenRiesInunda	ESCENARIO DE RIESGO POR INUNDACIÓN
12	BA-12	BA-12-EscenRiesMovMasa	ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTO DE MASAS
13	BA-13	BA-13-ImagSateCuencHuarmey	MOSAICO DE IMÁGENES SATELITALES
14	BA-14	BA-14-MoDigTerCuencHuarmey	MOSAICO DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO
15	US-01	US-01-UsoSuelo2016	USO DE SUELO 2016
16	US-02	US-02-UsoSuelo2017	USO DE SUELO 2017
17	US-03	US-03-UsoSuelo2018	USO DE SUELO 2018
18	US-04	US-04-UsoSuelo2019	USO DE SUELO 2019
19	US-05	US-05-UsoSuelo2020	USO DE SUELO 2020
20	US-06	US-06-UsoSuelo2021	USO DE SUELO 2021
21	US-07	US-07-UsoSuelo2022	USO DE SUELO 2022
22	US-08	US-08-UsoSuelo2023	USO DE SUELO 2023
23	US-09	US-09-CambUsoSueloGanancias	CAMBIO DE USO DE SUELO GANANCIAS
24	US-10	US-10-CambUsoSueloPerdidas	CAMBIO DE USO DE SUELO PÉRDIDAS
25	US-11	US-11-MatrizConfusionKappa2016	MATRIZ DE CONFUSIÓN E INDICE KAPPA USO DE SUELO 2016
26	US-12	US-12-MatrizConfusionKappa2023	MATRIZ DE CONFUSIÓN E INDICE KAPPA USO DE SUELO 2023





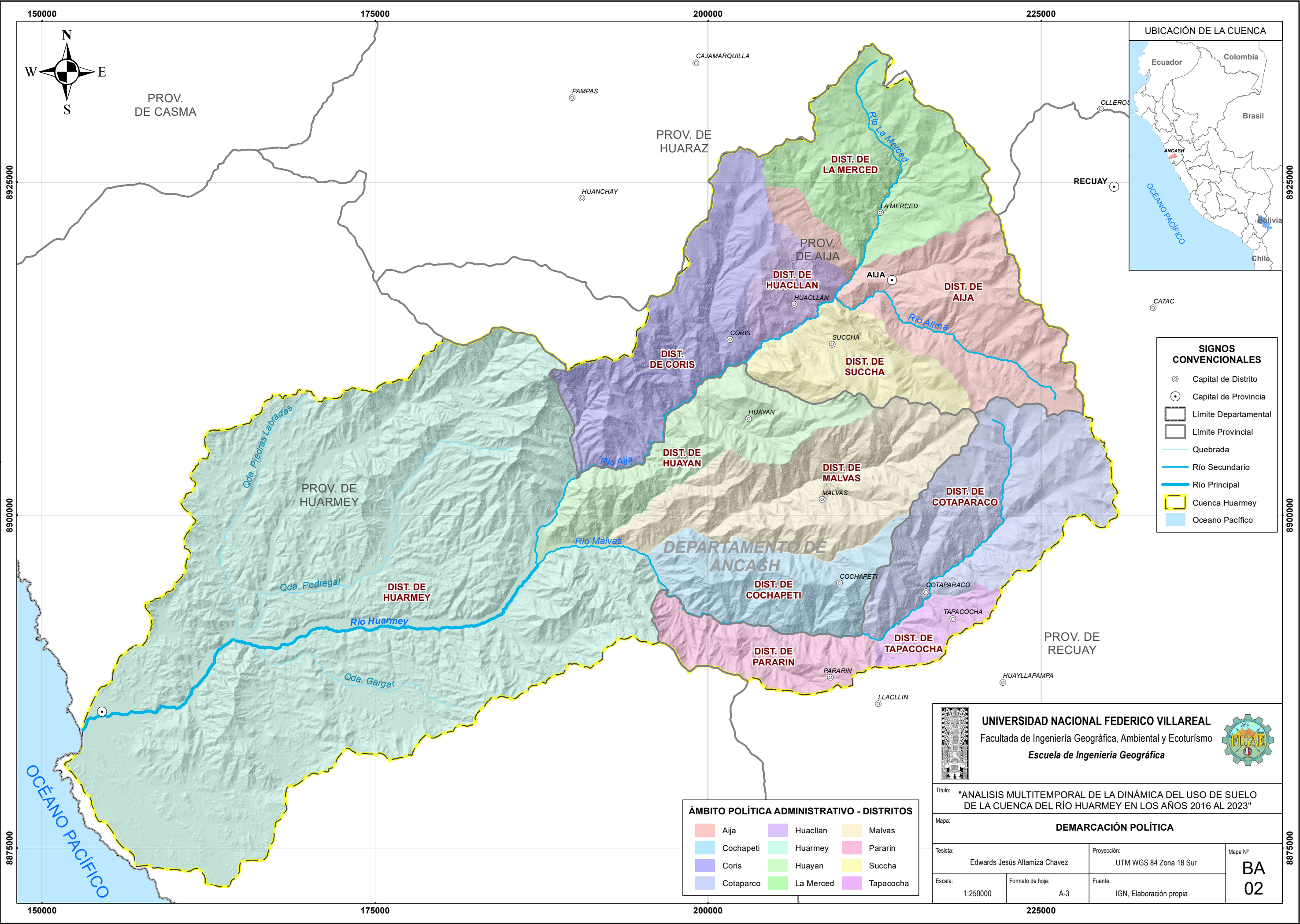
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
Facultada de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo
Escuela de Ingeniería Geográfica

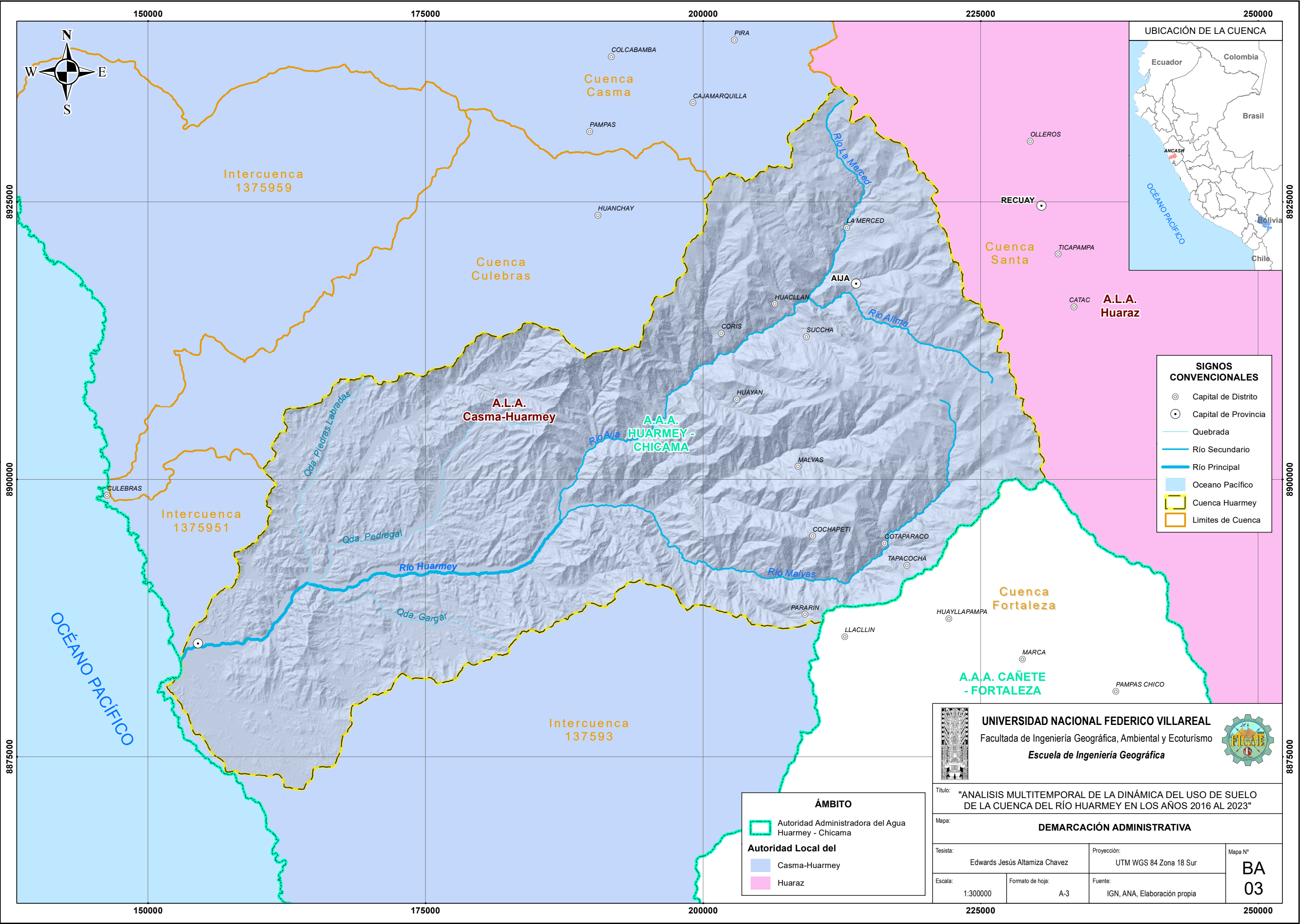


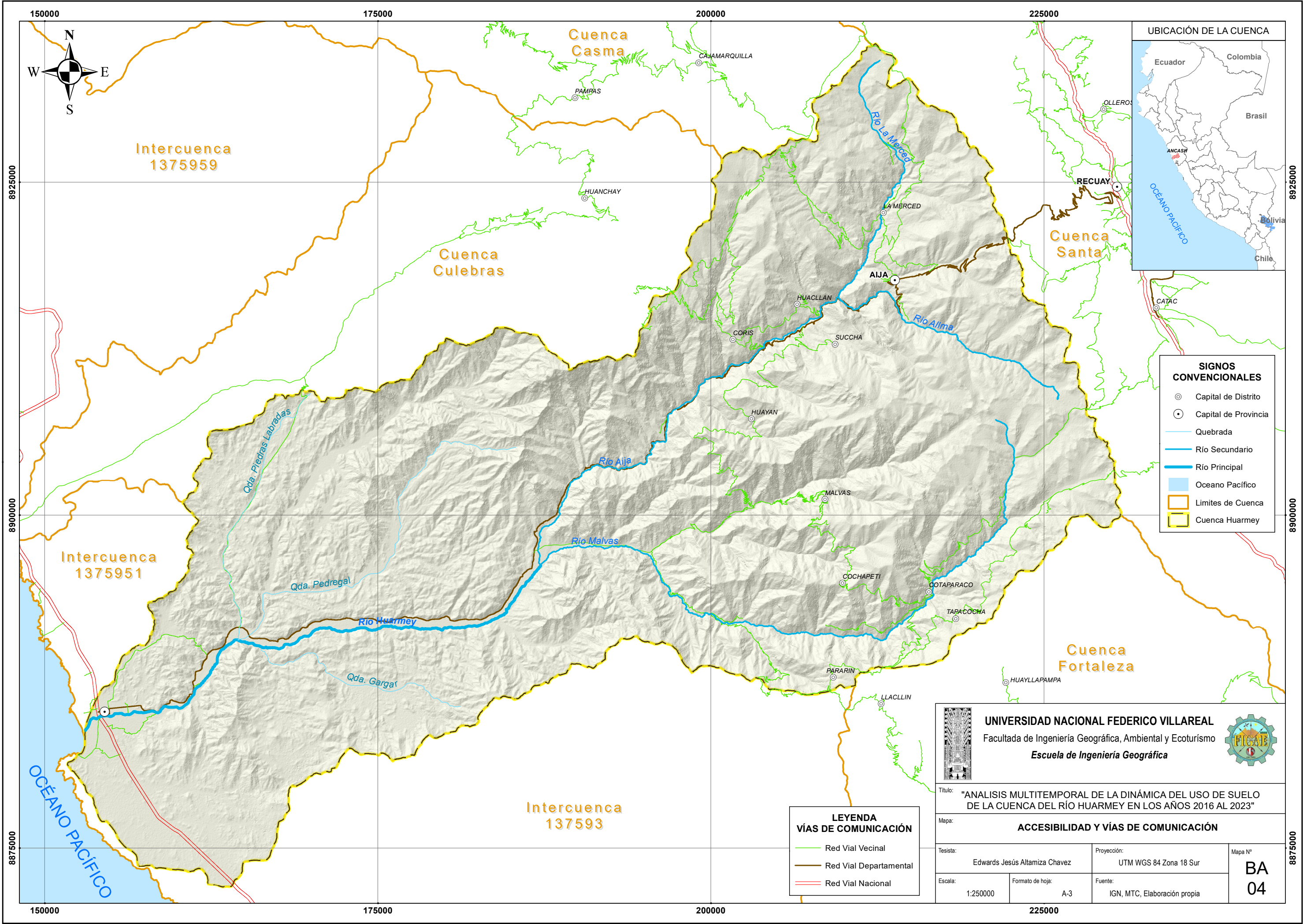
Título:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO
DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

Mapa:
UBICACIÓN DE LA CUENCA

Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N° BA 01
Escala: 1:280000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, Elaboración propia

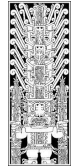






- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Capital de Distrito
 - Capital de Provincia
 - Quebrada
 - Río Secundario
 - Río Principal
 - Oceano Pacífico
 - Limites de Cuenca
 - Cuenca Huarney

- LEYENDA**
VÍAS DE COMUNICACIÓN
- Red Vial Vecinal
 - Red Vial Departamental
 - Red Vial Nacional



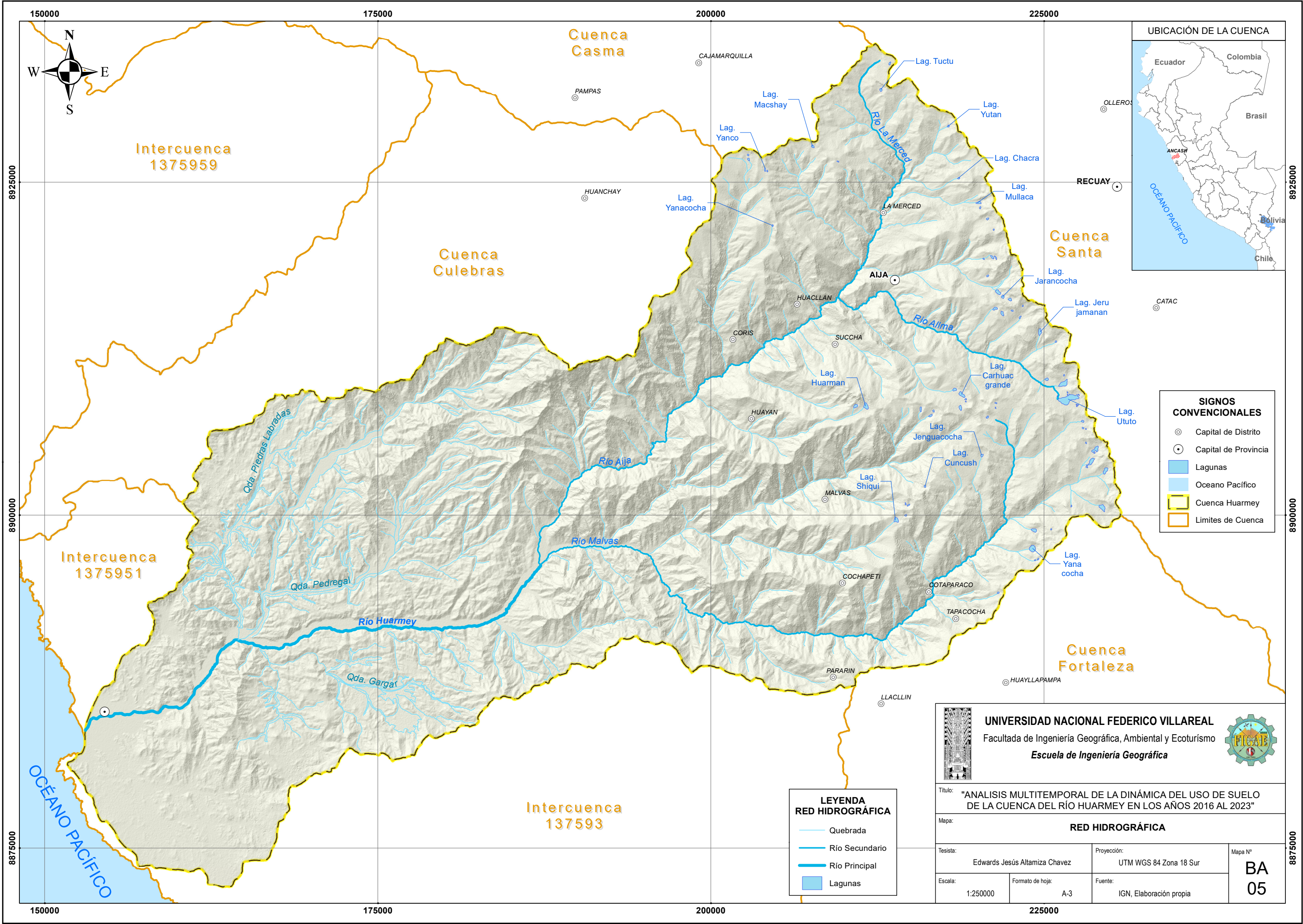
UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
Facultada de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo
Escuela de Ingeniería Geográfica

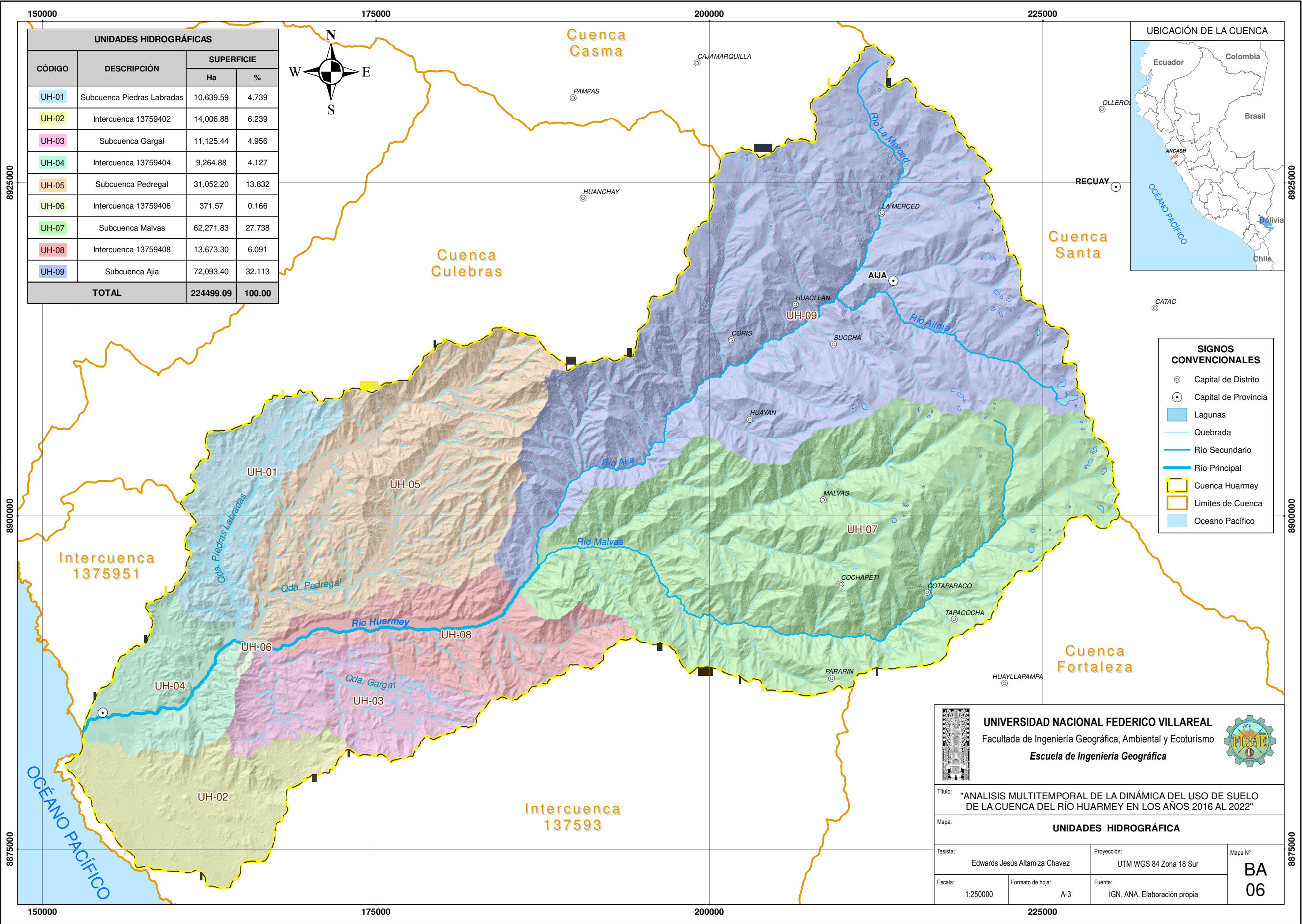


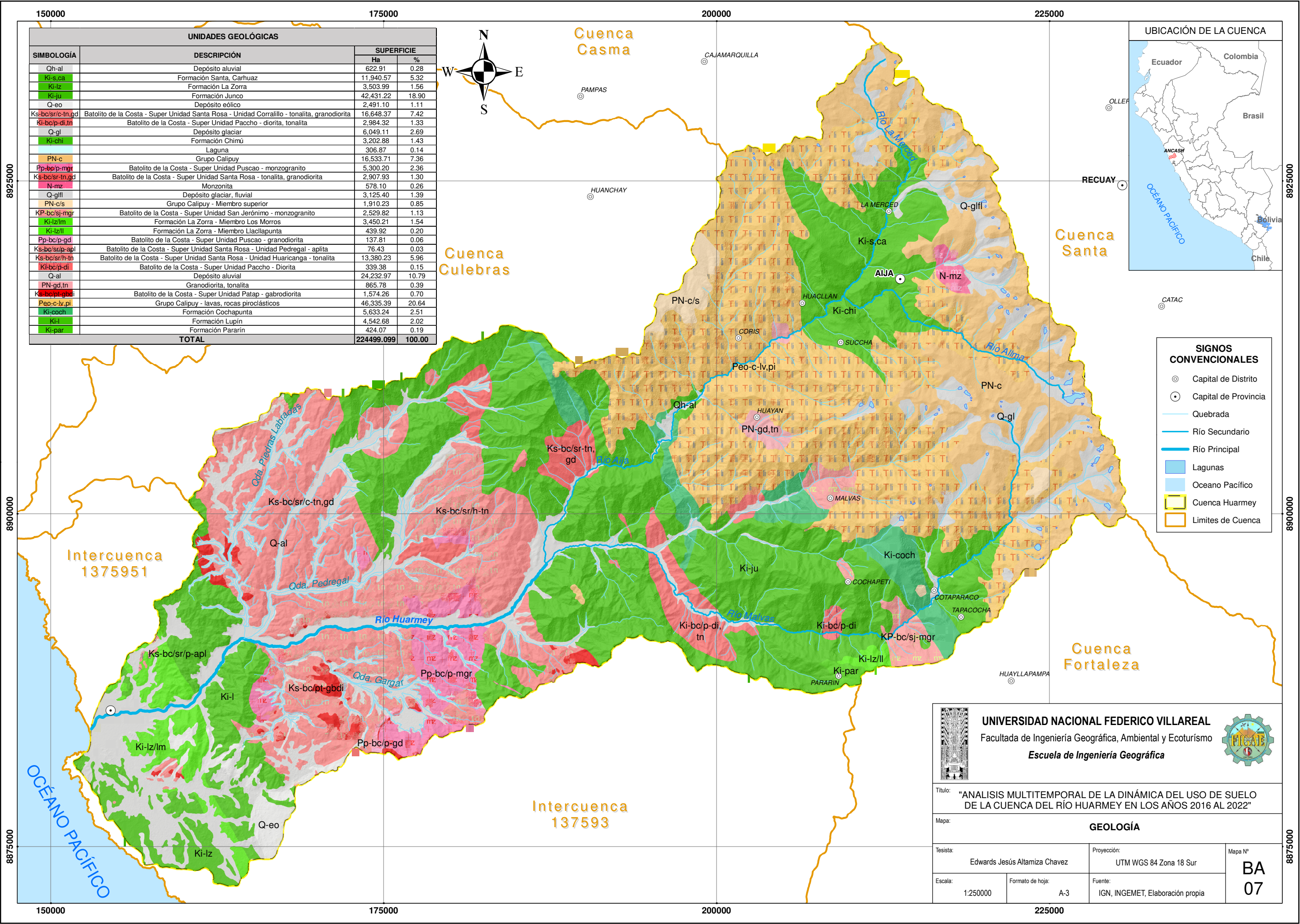
Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

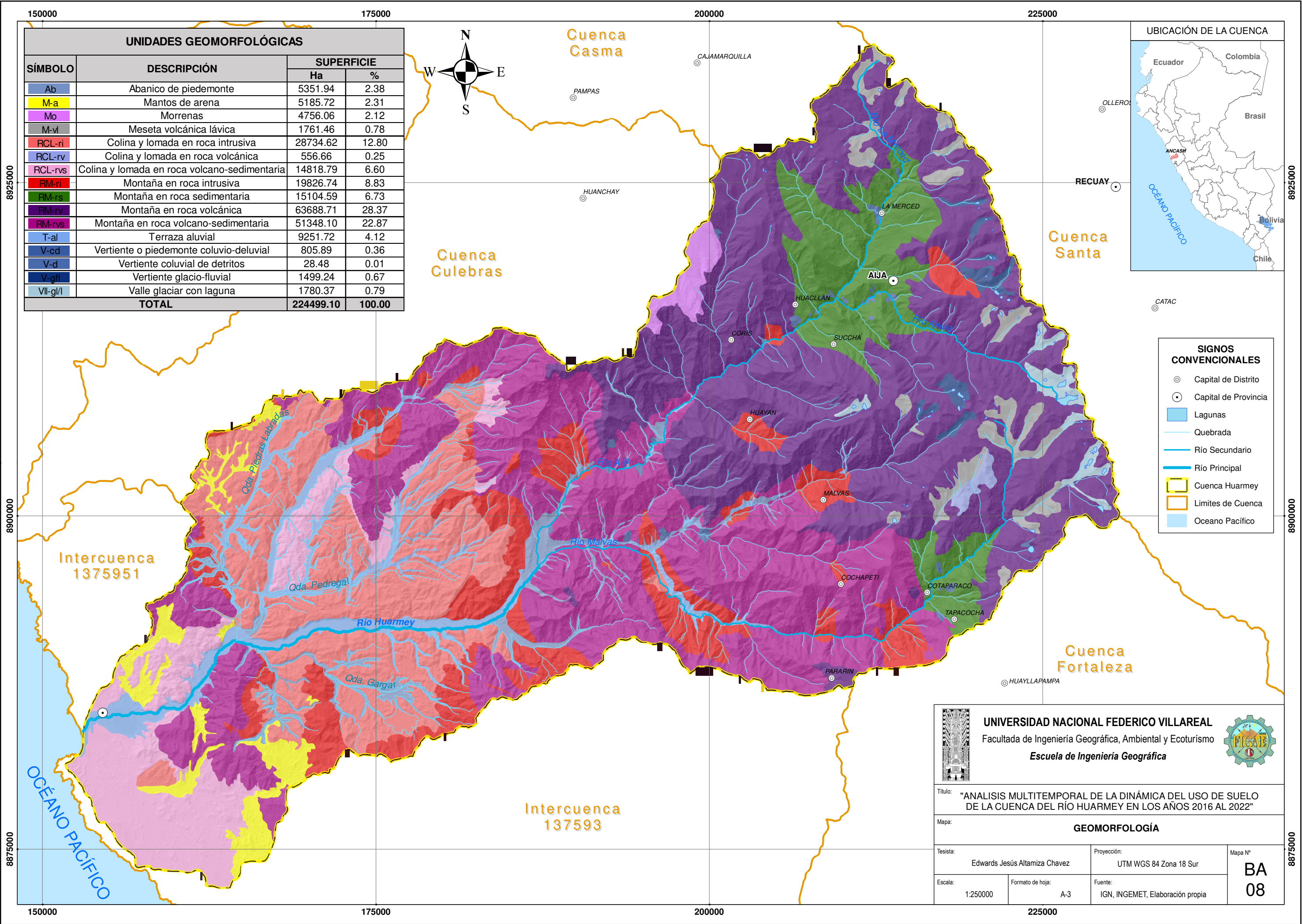
Mapa: **ACCESIBILIDAD Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

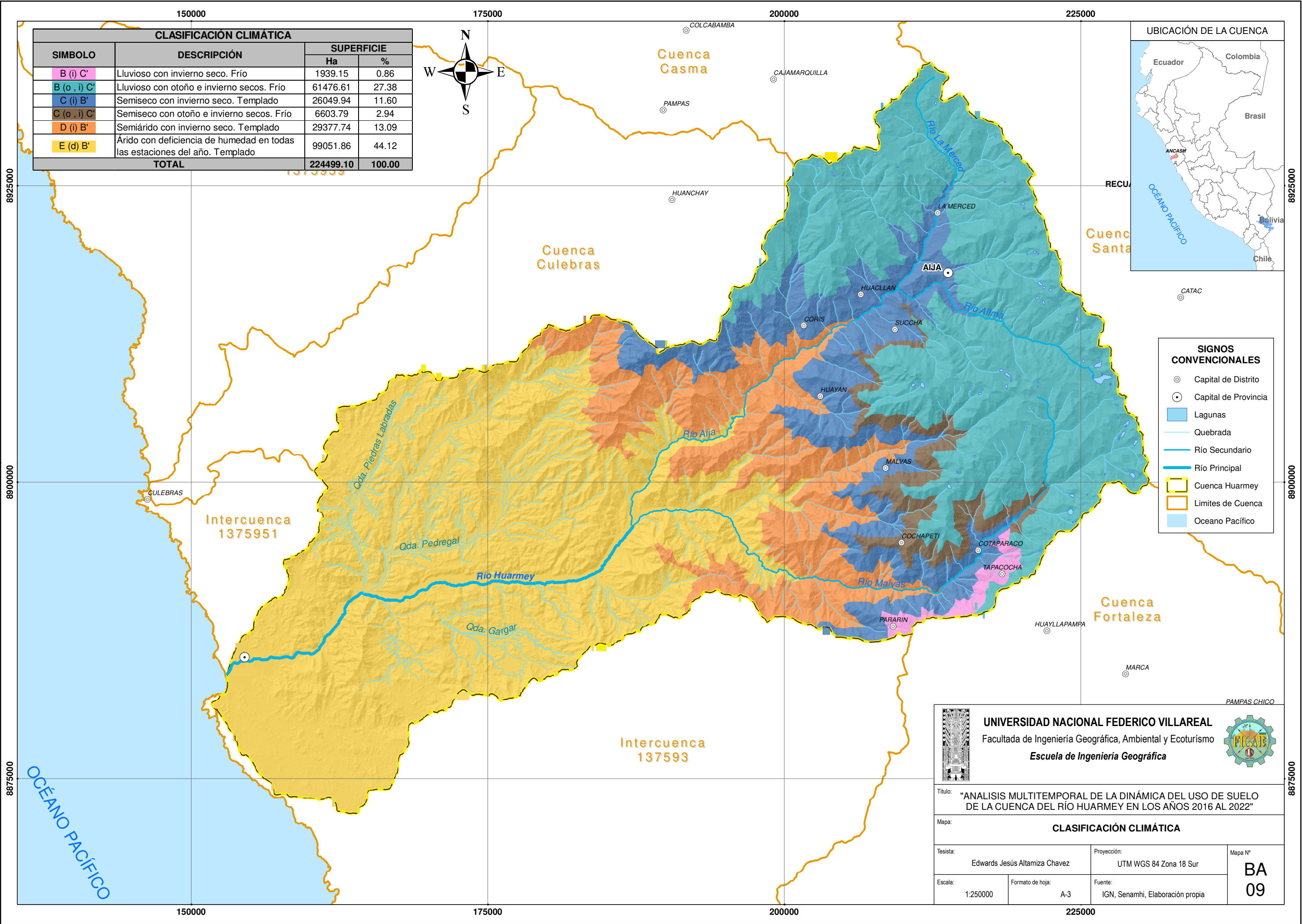
Tesisista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°: BA 04
Escala: 1:250000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, MTC, Elaboración propia

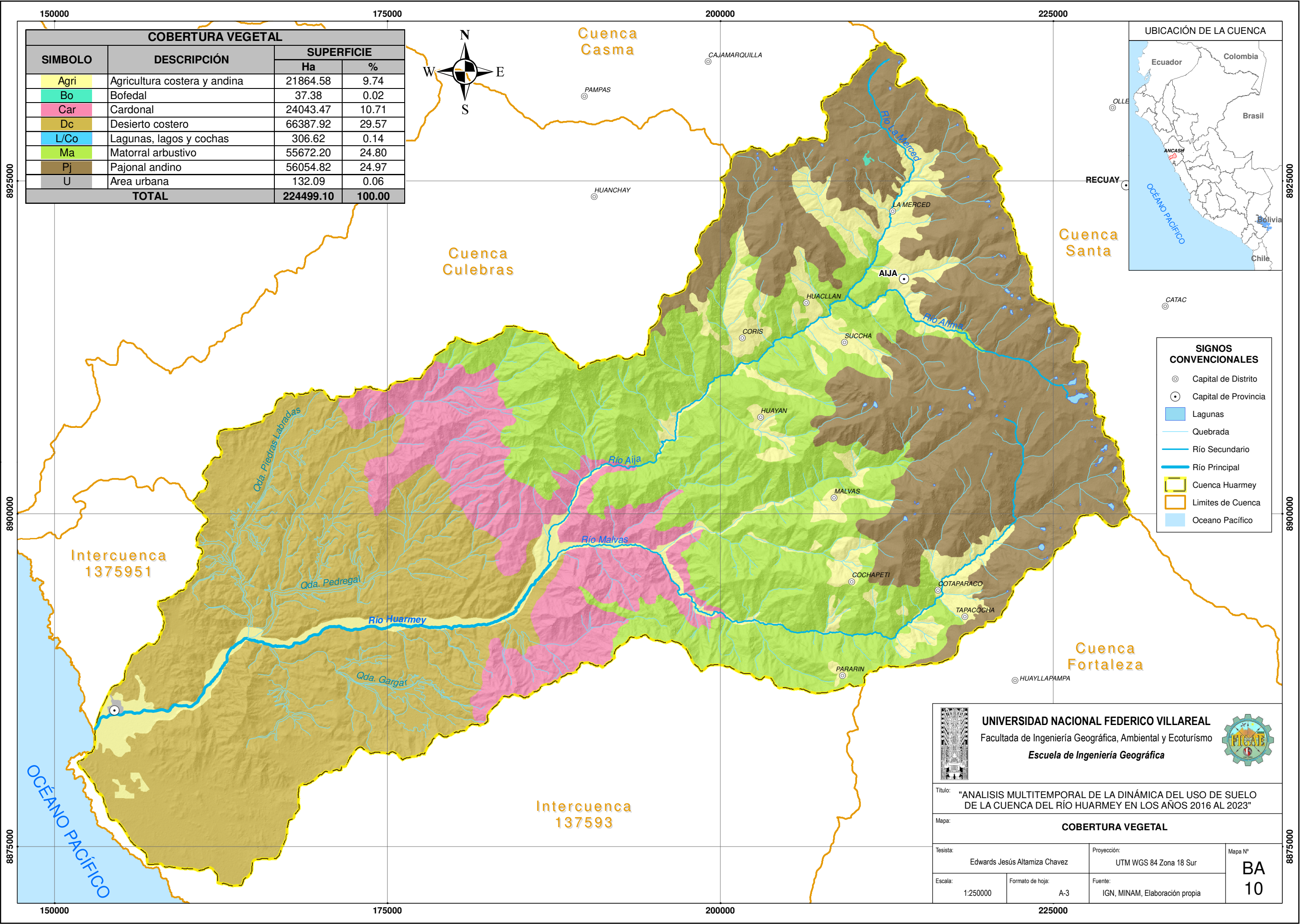


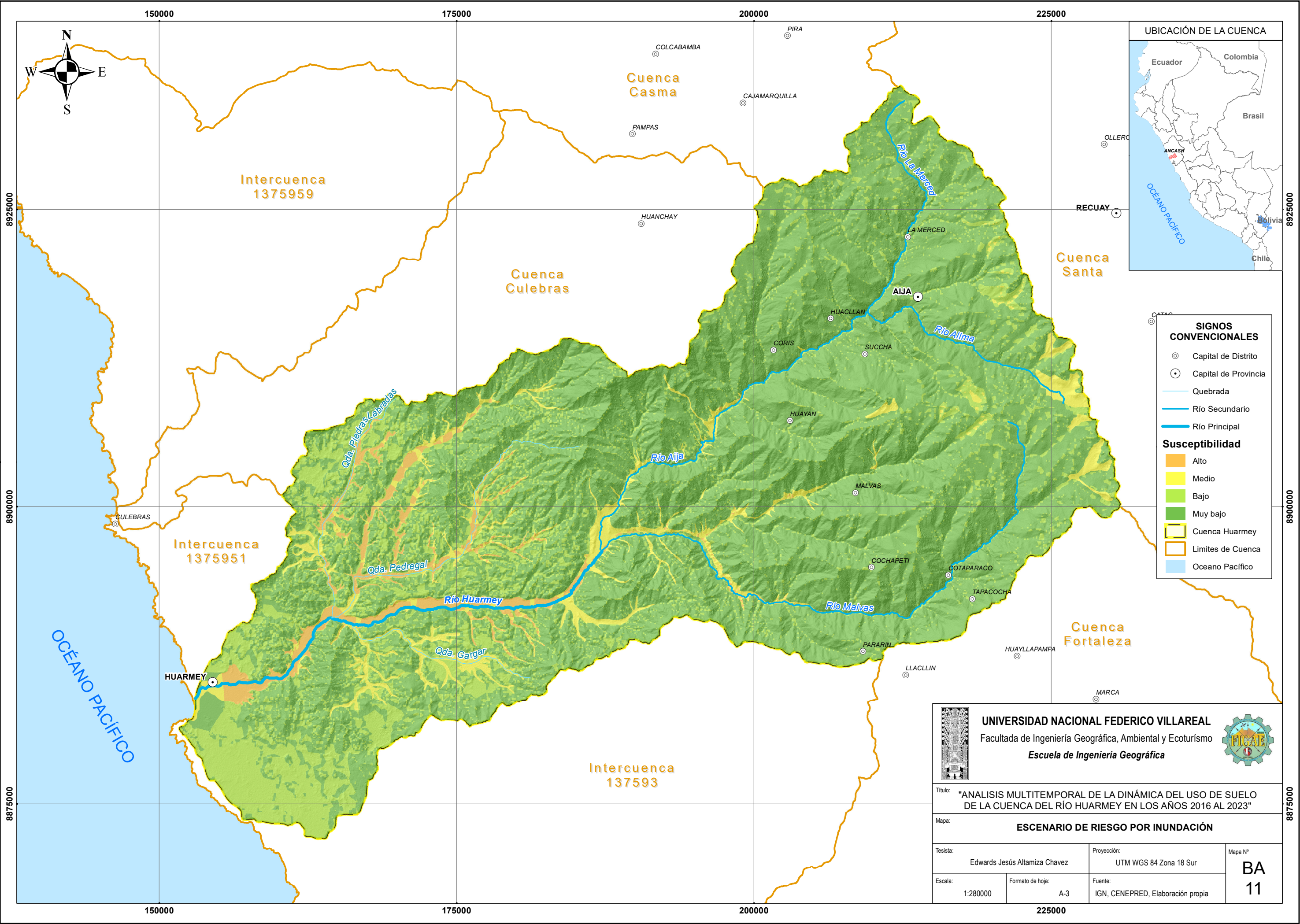


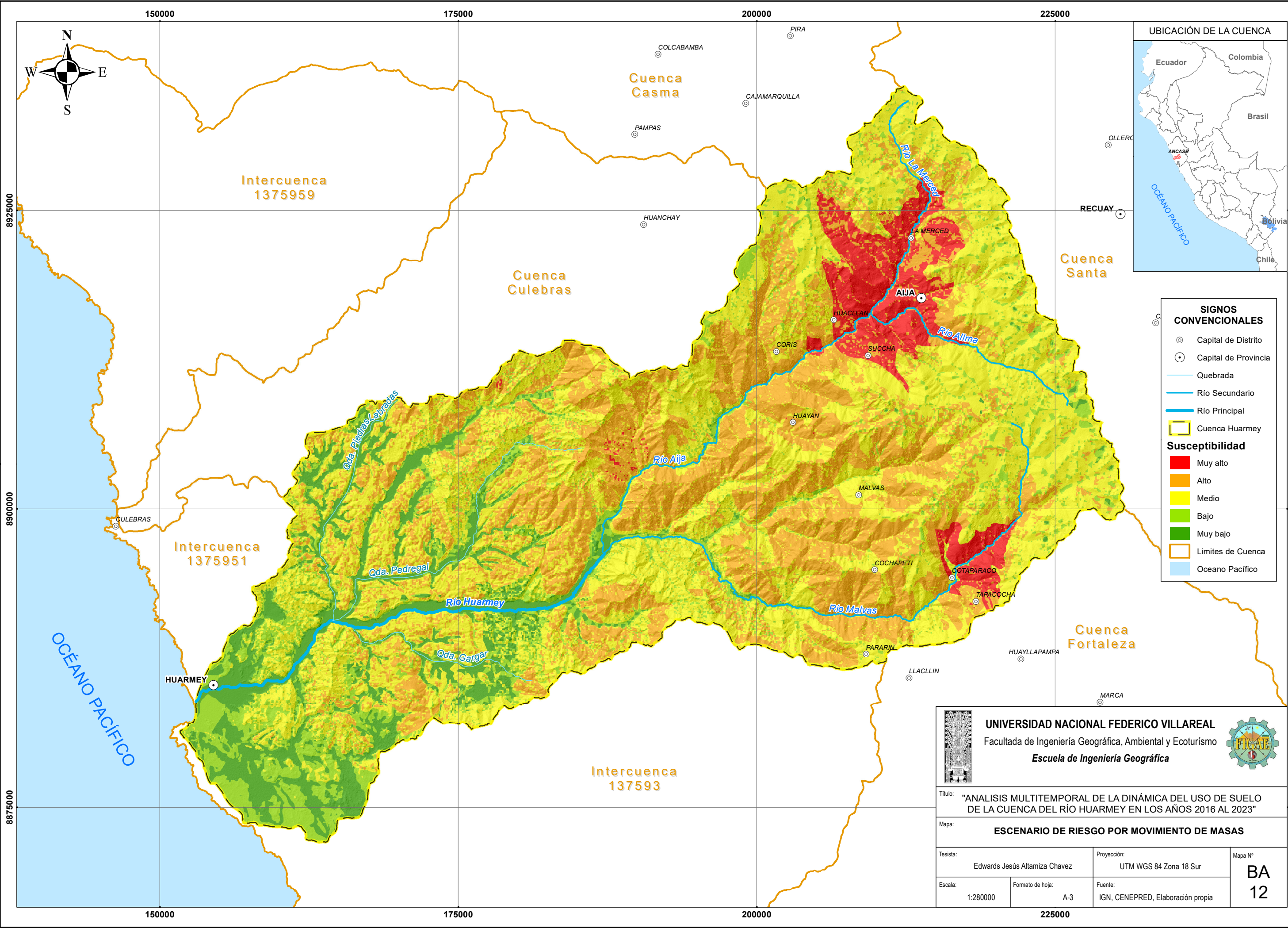












SIGNOS CONVENCIONALES

- Capital de Distrito
- Capital de Provincia
- Quebrada
- Río Secundario
- Río Principal
- Cuenca Huarney

Susceptibilidad

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo
- Limites de Cuenca
- Oceano Pacífico



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

Facultada de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Geográfica

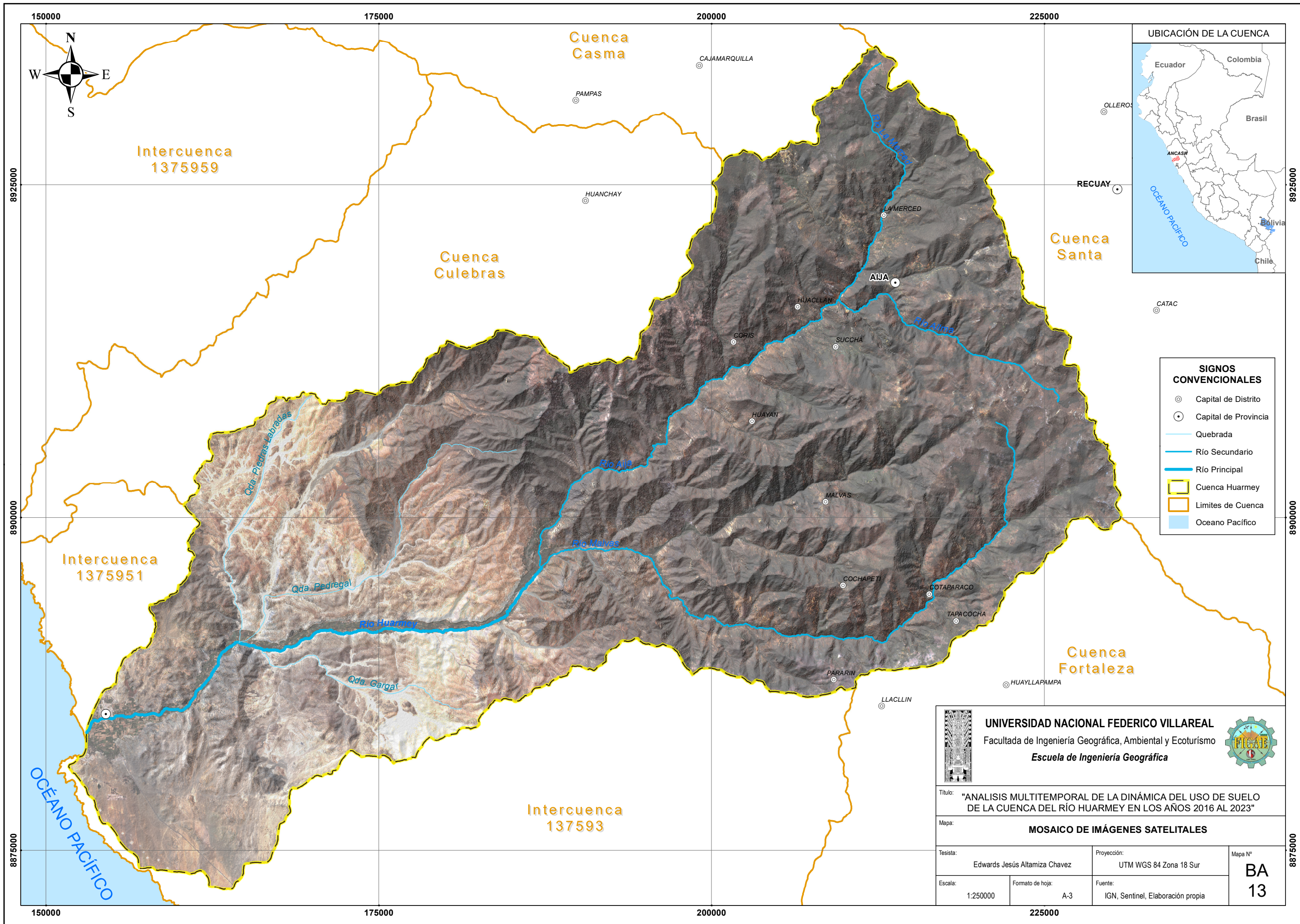


Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

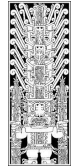
Mapa: **ESCENARIO DE RIESGO POR MOVIMIENTO DE MASAS**

Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°
Escala: 1:280000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, CENEPRED, Elaboración propia

BA
12



- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Capital de Distrito
 - Capital de Provincia
 - Quebrada
 - Río Secundario
 - Río Principal
 - Cuenca Huarney
 - Límites de Cuenca
 - Océano Pacífico



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Geográfica



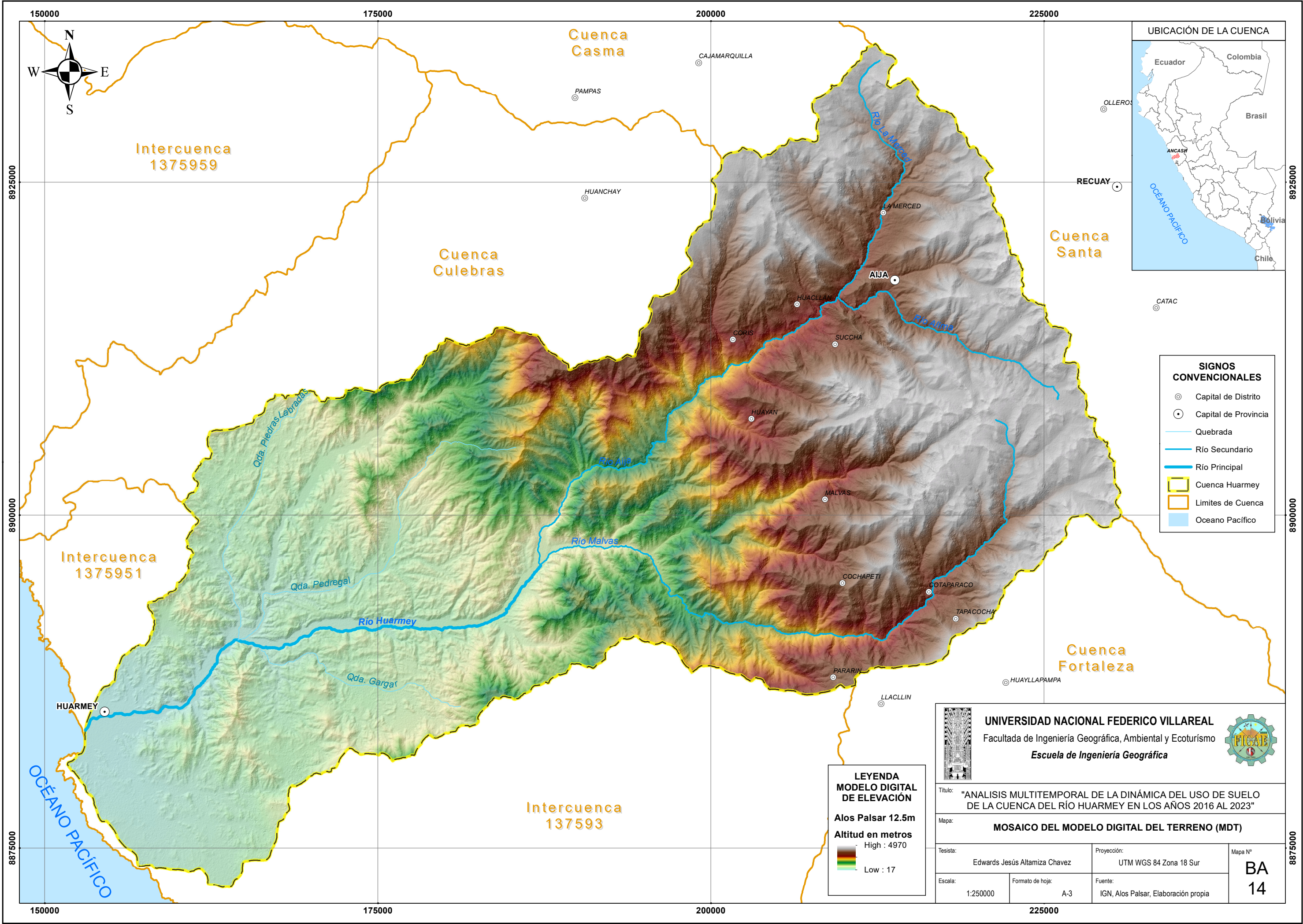
Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

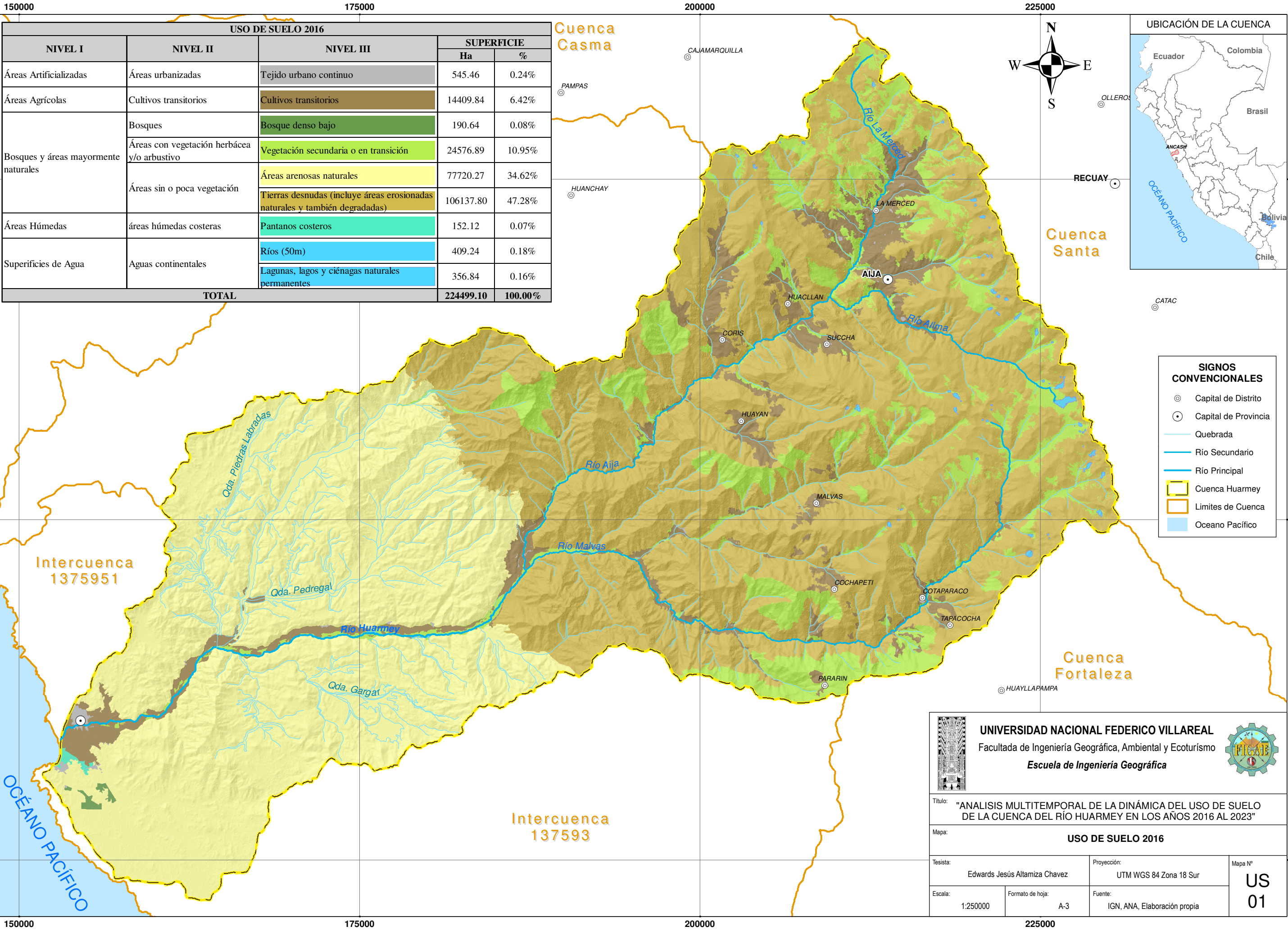
Mapa: **MOSAICO DE IMÁGENES SATELITALES**

Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°
Escala: 1:250000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, Sentinel, Elaboración propia

BA

13

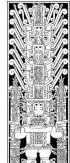




USO DE SUELO 2016				
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE	
			Ha	%
Áreas Artificializadas	Áreas urbanizadas	Tejido urbano continuo	545.46	0.24%
Áreas Agrícolas	Cultivos transitorios	Cultivos transitorios	14409.84	6.42%
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	Bosque denso bajo	190.64	0.08%
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Vegetación secundaria o en transición	24576.89	10.95%
		Áreas sin o poca vegetación	Áreas arenosas naturales	77720.27
			Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	106137.80
Áreas Húmedas	áreas húmedas costeras	Pantanos costeros	152.12	0.07%
Superficies de Agua	Aguas continentales	Ríos (50m)	409.24	0.18%
		Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%
TOTAL			224499.10	100.00%



- SIGNOS CONVENCIONALES
- Capital de Distrito
 - Capital de Provincia
 - Quebrada
 - Río Secundario
 - Río Principal
 - Cuenca Huarmey
 - Límites de Cuenca
 - Océano Pacífico



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL
Facultada de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo
Escuela de Ingeniería Geográfica



Título:
"ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

Mapa:
USO DE SUELO 2016

Tesista:
Edwards Jesús Altamiza Chavez

Proyección:
UTM WGS 84 Zona 18 Sur

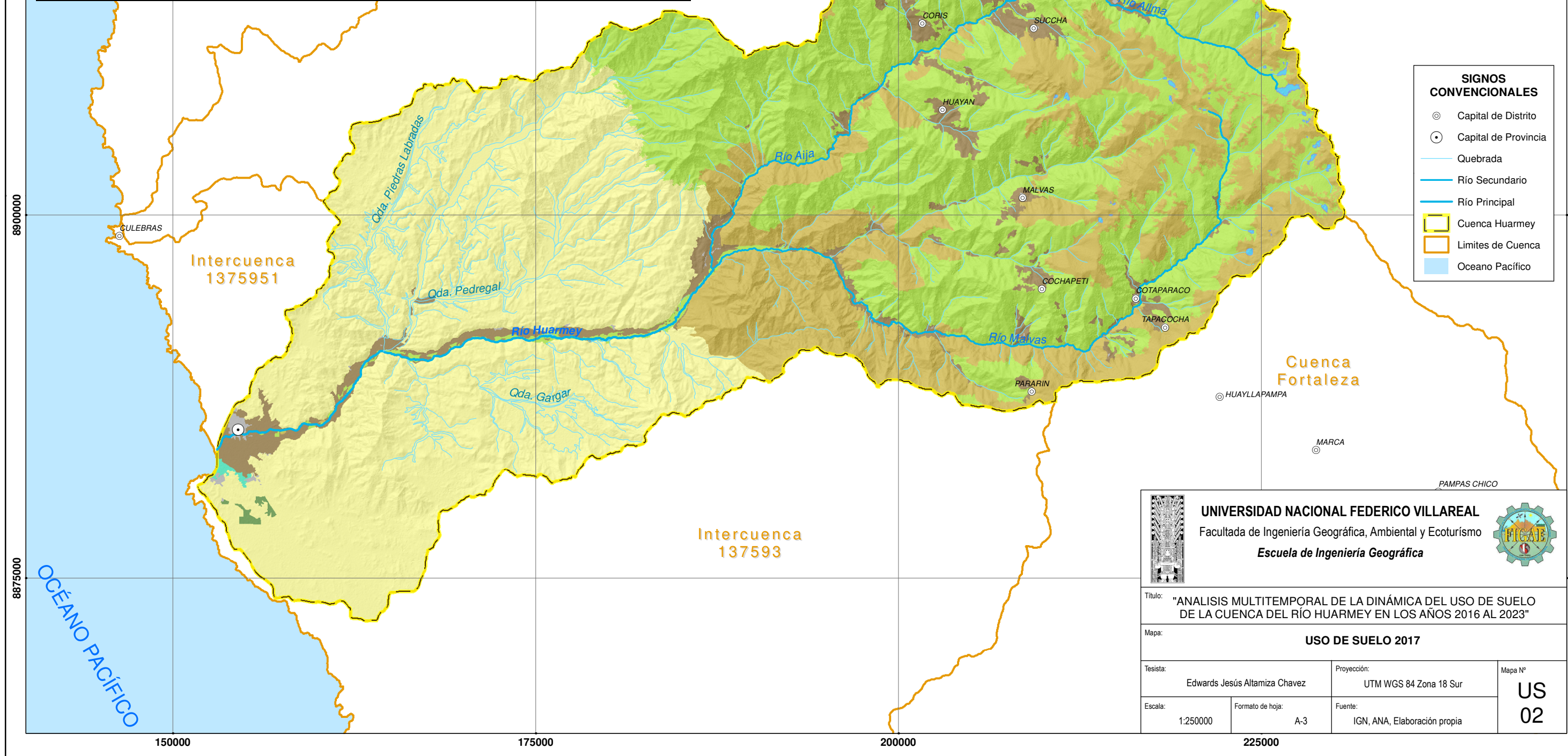
Mapa N°
US 01

Escala:
1:250000

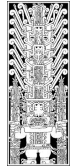
Formato de hoja:
A-3

Fuente:
IGN, ANA, Elaboración propia

USO DE SUELO 2017				
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE	
			Ha	%
Áreas Artificializadas	Áreas urbanizadas	Tejido urbano continuo	554.21	0.25%
Áreas Agrícolas	Cultivos transitorios	Cultivos transitorios	14450.87	6.44%
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	Bosque denso bajo	190.64	0.08%
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Vegetación secundaria o en transición	78731.94	35.07%
		Áreas arenosas naturales	77690.47	34.61%
		Áreas sin o poca vegetación	Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	51962.76
Áreas Húmedas	áreas húmedas costeras	Pantanos costeros	152.12	0.07%
Superficies de Agua	Aguas continentales	Ríos (50m)	409.24	0.18%
		Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%
TOTAL			224499.10	100.00%



- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Capital de Distrito
 - Capital de Provincia
 - Quebrada
 - Río Secundario
 - Río Principal
 - Cuenca Huarney
 - Limites de Cuenca
 - Oceano Pacífico



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Geográfica

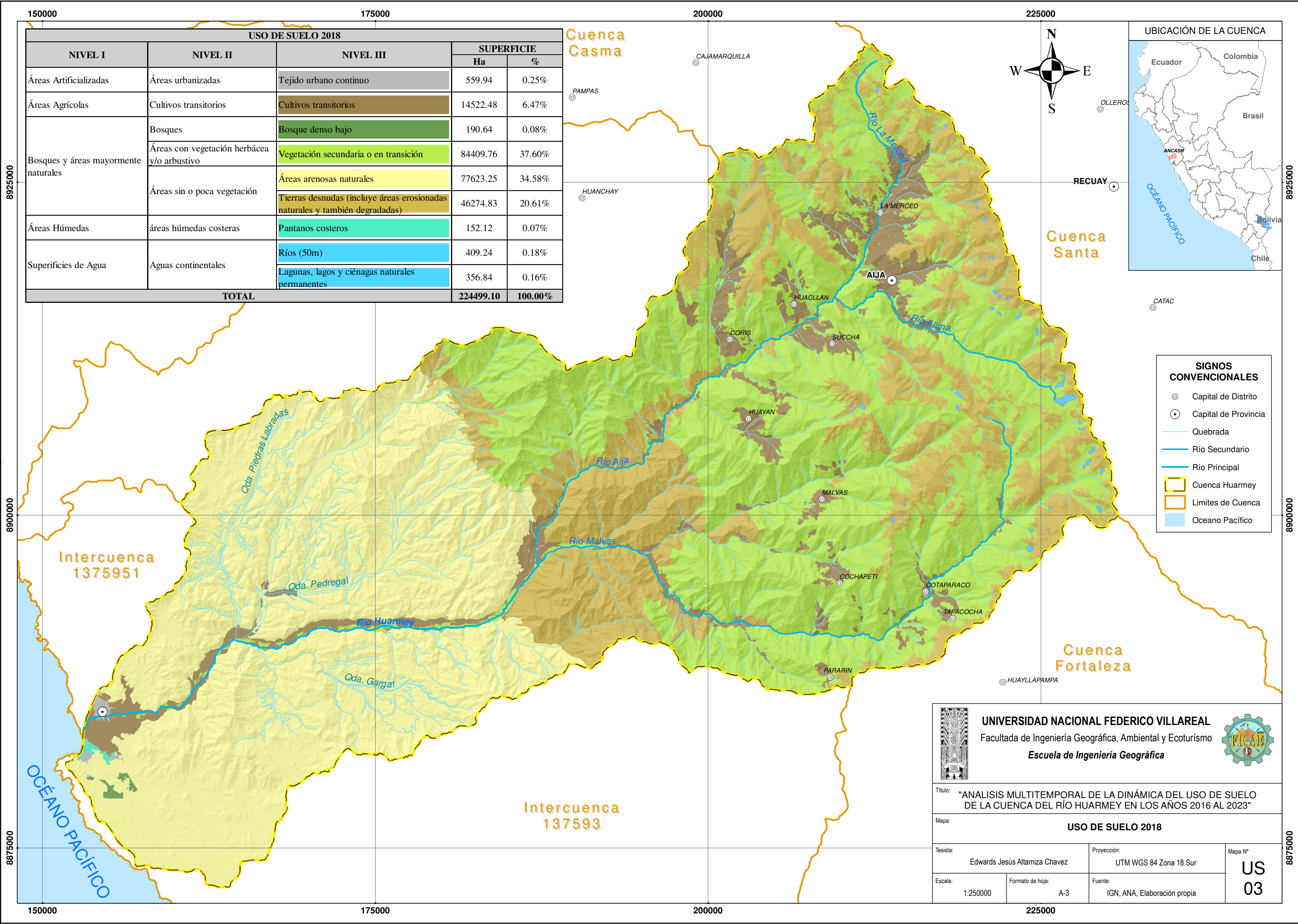


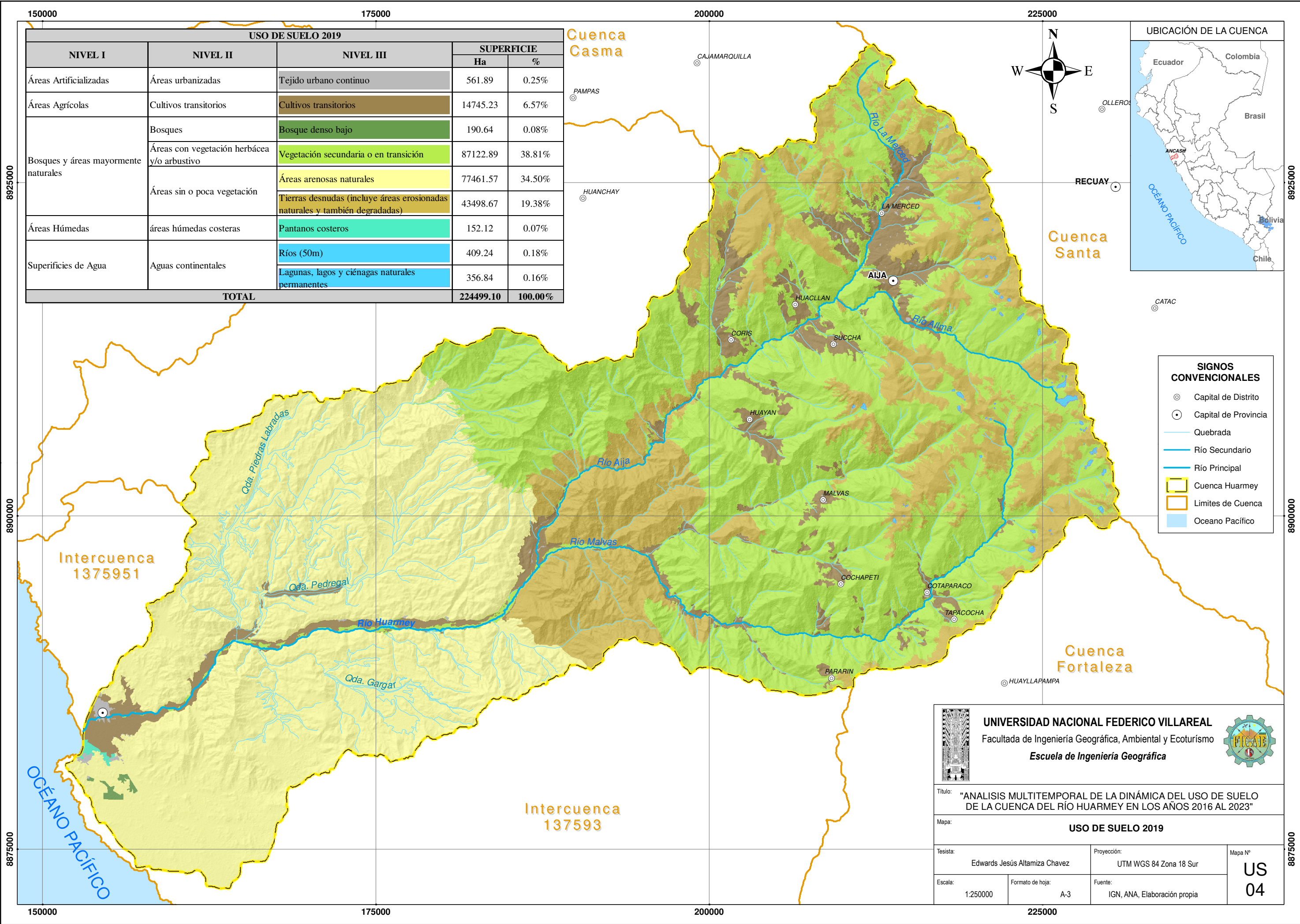
Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

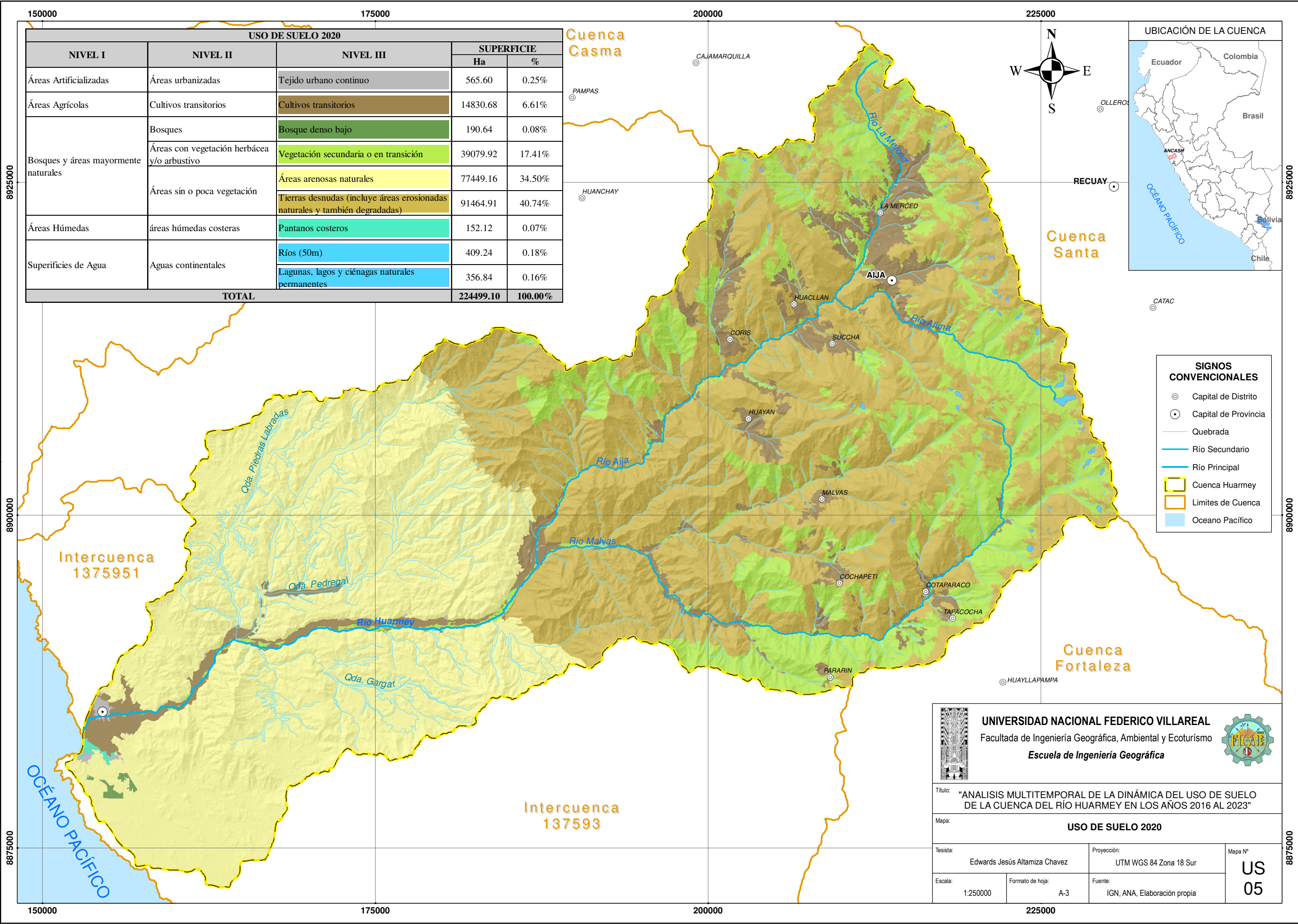
Mapa: **USO DE SUELO 2017**

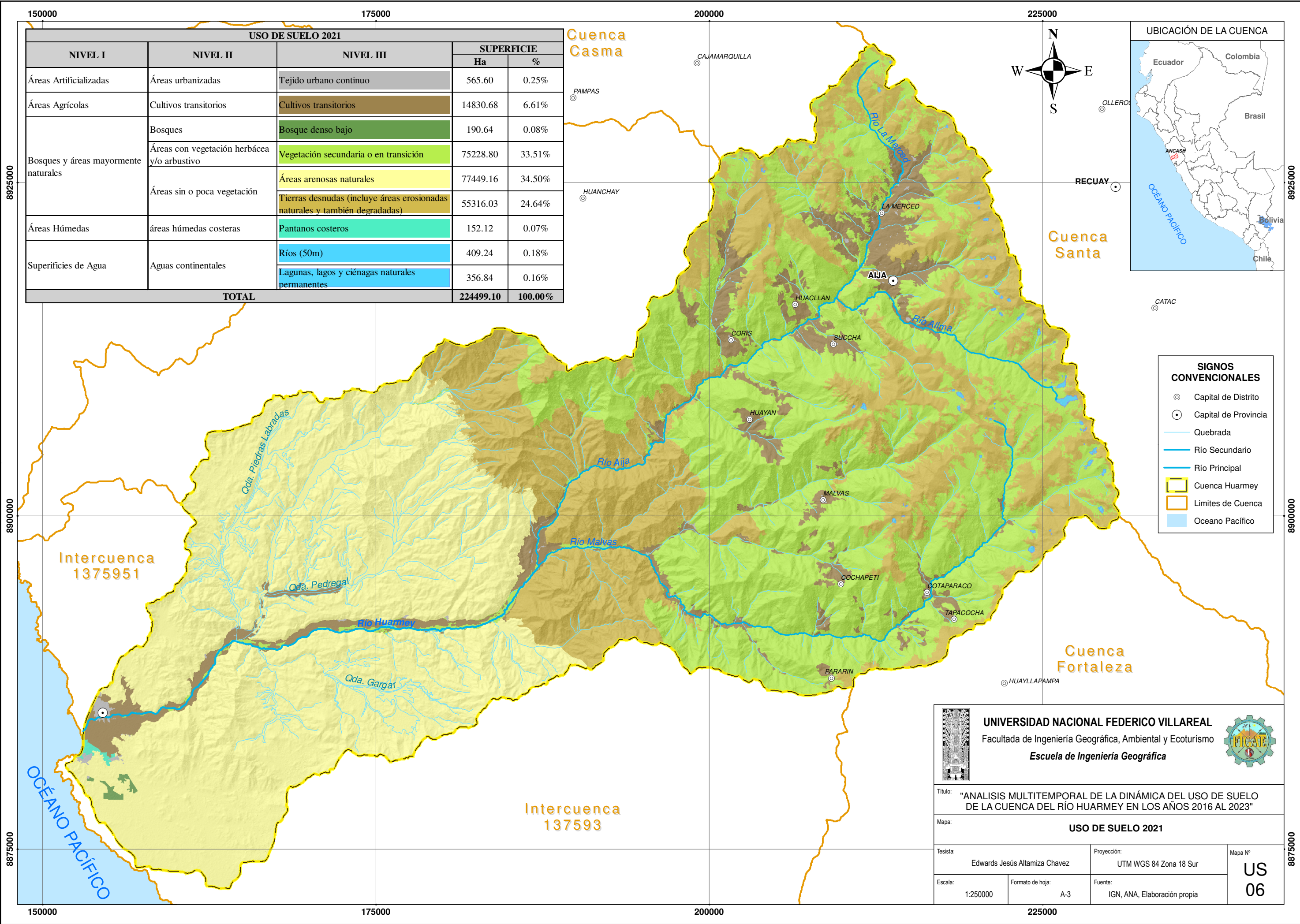
Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°
Escala: 1:250000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, ANA, Elaboración propia

US02





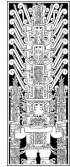




150000		175000		
USO DE SUELO 2021				
NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III	SUPERFICIE	
			Ha	%
Áreas Artificializadas	Áreas urbanizadas	Tejido urbano continuo	565.60	0.25%
Áreas Agrícolas	Cultivos transitorios	Cultivos transitorios	14830.68	6.61%
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	Bosque denso bajo	190.64	0.08%
	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Vegetación secundaria o en transición	75228.80	33.51%
	Áreas sin o poca vegetación	Áreas arenosas naturales	77449.16	34.50%
		Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)	55316.03	24.64%
Áreas Húmedas	áreas húmedas costeras	Pantanos costeros	152.12	0.07%
Superficies de Agua	Aguas continentales	Ríos (50m)	409.24	0.18%
		Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	356.84	0.16%
TOTAL			224499.10	100.00 %



- SIGNOS CONVENCIONALES**
- Capital de Distrito
 - Capital de Provincia
 - Quebrada
 - Río Secundario
 - Río Principal
 - Cuenca Huarmey
 - Límites de Cuenca
 - Oceano Pacífico



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Geográfica

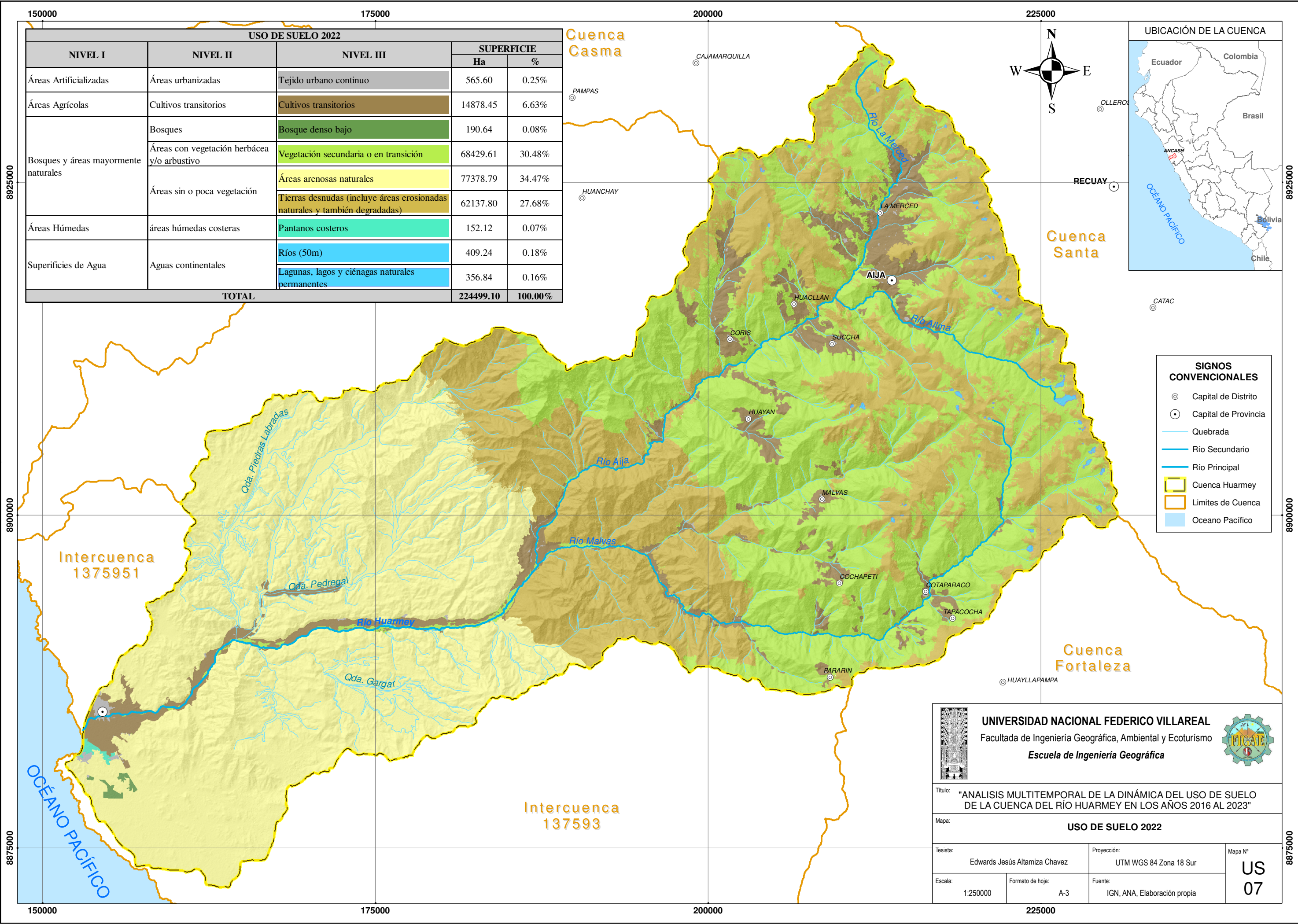


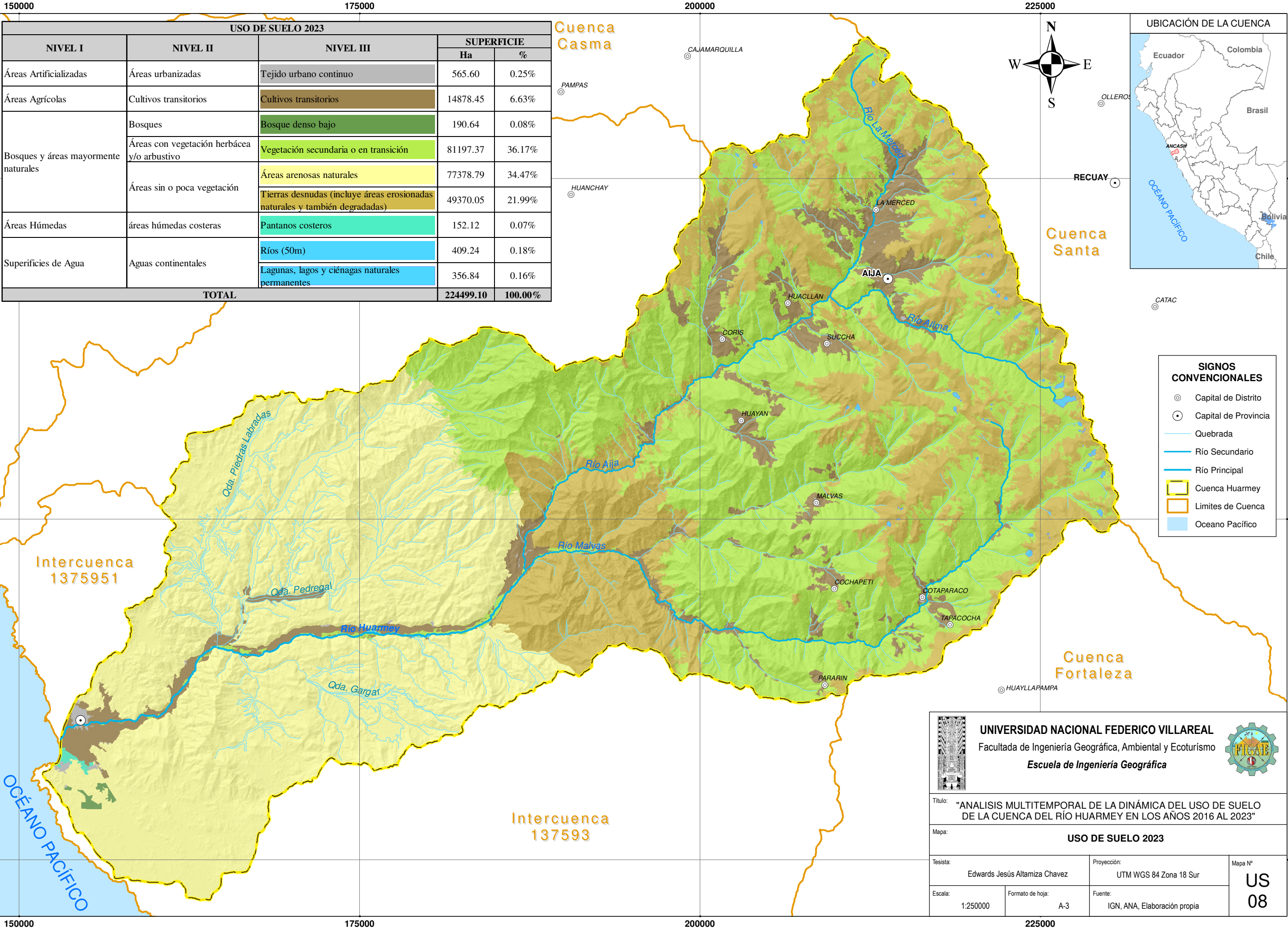
Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

Mapa: **USO DE SUELO 2021**

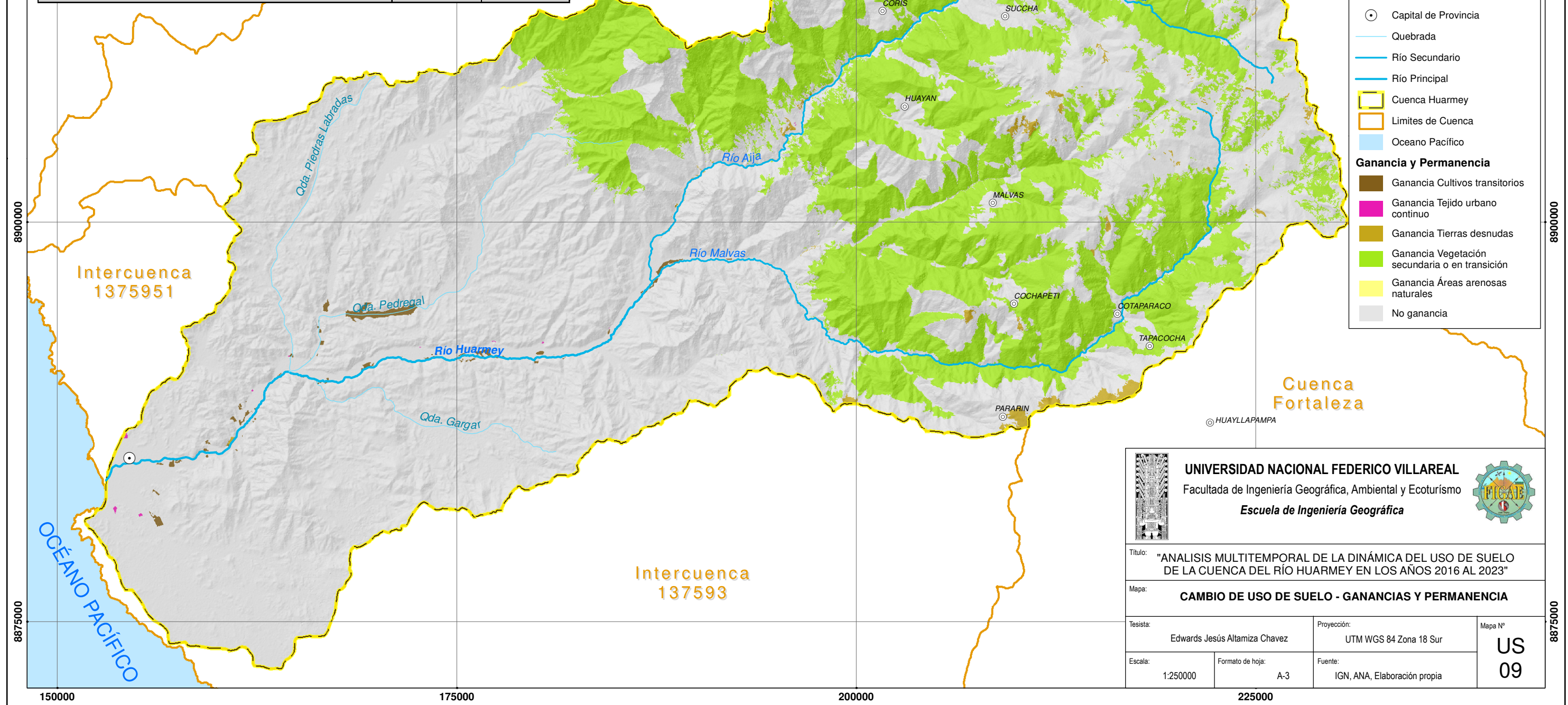
Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°
Escala: 1:250000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, ANA, Elaboración propia

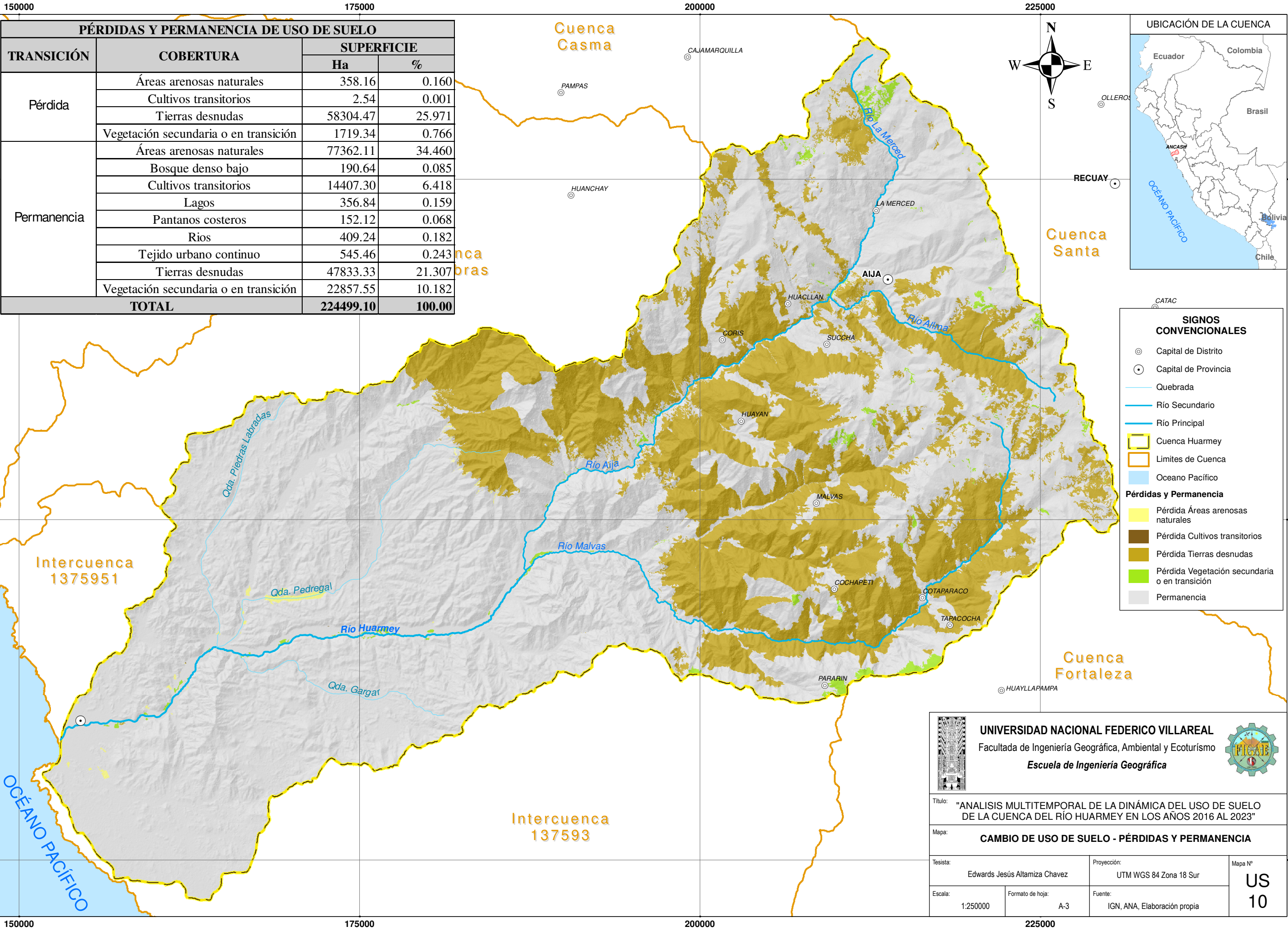
US06





GANANCIA Y PERMANENCIA DE USO DE SUELO			
TRANSICIÓN	COBERTURA	SUPERFICIE	
		Ha	%
Ganancia	Áreas arenosas naturales	15.00	0.007
	Cultivos transitorios	471.16	0.210
	Tejido urbano continuo	20.14	0.009
	Tierras desnudas	1536.72	0.685
	Vegetación secundaria o en transición	58341.50	25.987
Permanencia	Áreas arenosas naturales	77362.11	34.460
	Bosque denso bajo	190.64	0.085
	Cultivos transitorios	14407.30	6.418
	Lagos	356.84	0.159
	Pantanos costeros	152.12	0.068
	Ríos	409.24	0.182
	Tejido urbano continuo	545.46	0.243
	Tierras desnudas	47833.33	21.307
	Vegetación secundaria o en transición	22857.55	10.182
TOTAL		224499.10	100.00





PÉRDIDAS Y PERMANENCIA DE USO DE SUELO			
TRANSICIÓN	COBERTURA	SUPERFICIE	
		Ha	%
Pérdida	Áreas arenosas naturales	358.16	0.160
	Cultivos transitorios	2.54	0.001
	Tierras desnudas	58304.47	25.971
	Vegetación secundaria o en transición	1719.34	0.766
Permanencia	Áreas arenosas naturales	77362.11	34.460
	Bosque denso bajo	190.64	0.085
	Cultivos transitorios	14407.30	6.418
	Lagos	356.84	0.159
	Pantanos costeros	152.12	0.068
	Ríos	409.24	0.182
	Tejido urbano continuo	545.46	0.243
	Tierras desnudas	47833.33	21.307
	Vegetación secundaria o en transición	22857.55	10.182
TOTAL		224499.10	100.00

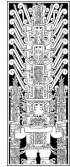


SIGNOS CONVENCIONALES

- Capital de Distrito
- Capital de Provincia
- Quebrada
- Río Secundario
- Río Principal
- Cuenca Huarmey
- Límites de Cuenca
- Oceano Pacífico

Pérdidas y Permanencia

- Pérdida Áreas arenosas naturales
- Pérdida Cultivos transitorios
- Pérdida Tierras desnudas
- Pérdida Vegetación secundaria o en transición
- Permanencia



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLAREAL

Facultada de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo

Escuela de Ingeniería Geográfica



Título: "ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE LA DINÁMICA DEL USO DE SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO HUARMEY EN LOS AÑOS 2016 AL 2023"

Mapa: **CAMBIO DE USO DE SUELO - PÉRDIDAS Y PERMANENCIA**

Tesista: Edwards Jesús Altamiza Chavez	Proyección: UTM WGS 84 Zona 18 Sur	Mapa N°
Escala: 1:250000	Formato de hoja: A-3	Fuente: IGN, ANA, Elaboración propia

US
10

