

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la
subcuenca Pedregal 2000-2024**

TESIS

Para optar título profesional de Ingeniero Agrícola

Autor: Br. Daniel Aaron Polo Yengle

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la
subcuenca Pedregal 2000-2024**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (presidente)

Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

Mg. Deciderio Atoche Ortiz (secretario)

Código ORCID: 0000-0002-3300-330

Dr. Eber Gines Tafur (vocal)

Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

Mg. Clever Aleman Gonzales (acesitario)

Código ORCID: 0009-0009-6558-9075

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la
subcuenca Pedregal 2000-2024**

**Los suscritos declaramos que el proyecto de tesis es original en
su contenido y forma.**

Br. Daniel Aaron Polo Yengle (ejecutor)

Dr. Ing. Gines Tafur, Eber (Asesor)

Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

Tumbes, 2025

CERTIFICACIÓN

Dr. Ing. Gines Tafur, Eber (Asesor)

Docente principal de la Universidad Nacional de Tumbes, adscrito a la Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento Académico de Ingeniería Agrícola.

CERTIFICA:

La presente Tesis: **“Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la subcuenca Pedregal 2000-2024”**, elaborado por el bachiller en Ingeniería Agrícola, Daniel Aaron Polo Yengle, ha sido asesorado y revisado por mi persona.



**Dr. Ing. Gines Tafur, Eber
Asesor de Tesis**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
EX FUNDO FISCAL LA CRUZ-CAMPUS UNIVERSITARIO
SECRETARIA ACADÉMICA**



ANEXO VIII

"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los VEINTICINCO días, del mes de AGOSTO, del año DOS MIL VEINTICINCO; siendo las DOCE horas con CUARENTA Y CINCO minutos, se dio inicio en el ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias en el Aula 01 del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de forma presencial, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 0150-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, (19/08/2024), Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Presidente), Ing. Deciderio Atoche Ortiz (Secretario), Dr. Eber Gines Tafur (Vocal), Mg. Clever Aleman Gonzalez (Accesitario) reconociendo en la misma resolución además, al Dr. Eber Gines Tafur, como Asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la subcuenca de Quebrada Pedregal 2000-2024", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bach. Daniel Aaron Polo Yengle, concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado en concordancia con el artículo 75° del Reglamento de Tesis de Pre Grado y Post Grado de la Universidad Nacional de Tumbes, aprobado mediante Resolución N°714-UNTUMBES-CU de fecha 25 de mayo del año 2023, declara al: BACH. DANIEL AARON POLO YENGLE APROBADO, por UNANIMIDAD, con el calificativo MUY BUENO.

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda A.P.T.O. para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las CATORCE horas, con CUARENTA Y CINCO minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.


Tumbes, 25 de agosto del 2025

Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N° <u>00223850</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-0841-3069</u> Presidente	Ing. Deciderio Atoche Ortiz DNI N° <u>00251292</u> CODIGO ORCID <u>0000-0002-3300-3308</u> Secretario
Dr. Eber Gines Tafur DNI N° <u>17542075</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-0366-4438</u> Vocal	Mg. Clever Aleman Gonzalez DNI N° <u>00203861</u> CODIGO ORCID <u>0009-0009-6558-9075</u> Accesitario

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S.acad.

Daniel Aaron Polo Yengle

INFORME FINAL_DANIEL POLO YENGLE.

 Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la subcuenca Pedregal 2000-2024

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:491698910

Fecha de entrega

4 sept 2025, 13:00 GMT-5

Fecha de descarga

4 sept 2025, 13:05 GMT-5

Nombre del archivo

INFORME FINAL_DANIEL POLO YENGLE..pdf

Tamaño del archivo

14.7 MB

112 páginas

15.419 palabras

91.254 caracteres



12% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas
- ▶ N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad




N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Fuentes principales

- 11%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	5%
2	Internet	repositorio.unc.edu.pe	1%
3	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
4	Internet	www.ana.gob.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco on 2025-04-07	<1%
6	Internet	hdl.handle.net	<1%
7	Internet	repositorio.unp.edu.pe	<1%
8	Internet	vdocuments.mx	<1%
9	Internet	revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-24	<1%
11	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%



12	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco on 2025-04-29	<1%
13	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru on 2023-04-27	<1%
14	Trabajos del estudiante	UNIBA on 2019-08-14	<1%
15	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-04-22	<1%
16	Publicación	Lluén Vallejos, César Augusto. "Modelo de producción de información del uso del ..."	<1%
17	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-24	<1%
18	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Chimborazo on 2024-11-21	<1%
20	Internet	cybertesis.uni.edu.pe	<1%
21	Internet	repositorio.ana.gob.pe	<1%
22	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía on 2022-10-27	<1%
23	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-08-20	<1%
24	Internet	www.revistas.unp.edu.ar	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2024-10-15	<1%



26

Internet

repositorio.ucundinamarca.edu.co

<1%



DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a Dios, que me permitió seguir este camino de realización académica.

También, a mi familia que me motiva todos los días a esforzarme; mis padres, mis hijos, mi pareja, por ser mi pilar incondicional.

De igual manera dedico este trabajo a Dr. Ing. Gines Tafur, Eber, por su invaluable orientación, sus enseñanzas y su compromiso con la formación académica. Su apoyo fue clave en el desarrollo de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Extiendo mi agradecimiento a Dios por bendecir mi vida profesional y darme las herramientas para realizar este trabajo.

Profundo agradecimiento a mis padres que han promovido directamente mi camino y me otorgaron la confianza que necesito.

De igual manera, a la Autoridad Local del Agua por ofrecerme información valiosa para realizar el presente trabajo.

Al Dr. Ing. Gines Tafur, Eber, quien tuvo a bien ser mi asesor en el desarrollo del presente estudio.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	24
II.	ESTADO DEL ARTE.....	25
2.1.	SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	25
2.2.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
2.3.	JUSTIFICACIÓN.....	26
2.3.1.	Justificación Práctica	26
2.3.2.	Justificación Teórico-Científica:.....	26
2.3.3.	Justificación Metodológica:	26
2.3.4.	Justificación Socioeconómica:	26
2.3.5.	Justificación Político-Administrativa:	27
2.4.	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS.....	28
2.4.1.	Hipótesis General	28
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	28
2.5.	VARIABLES	28
2.5.1.	Conceptualización de la Variable.....	28
2.6.	OBJETIVOS.....	29
2.7.	ANTECEDENTES	30
2.7.1.	Antecedentes internacionales.....	30
2.7.2.	Antecedentes nacionales.....	30
2.7.3.	Antecedentes locales.....	31
2.8.	BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS.....	32
2.8.1.	Cuenca hidrográfica.....	32
2.8.2.	Fajas Marginales	32
2.8.3.	Normativa en fajas marginales.....	33
2.8.4.2.	Determinación del ancho de la faja marginal	34

III.	MATERIALES Y MÉTODOS	35
3.1.	LOCALIZACIÓN.....	35
3.1.1.	Ubicación Geopolítica.....	35
3.1.2.	Ubicación Geodésica.....	35
3.2.	MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS.....	35
3.2.1.	Materiales	35
3.2.2.	Equipos	35
3.2.3.	Instrumentos.....	36
3.3.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	36
3.3.1.	Área de estudio	36
3.3.2.	Topografía	36
3.3.3.	Climatología.....	37
3.3.4.	Punto de aforo	37
3.4.	MÉTODO	37
3.4.1.	Diseño	38
3.4.2.	Población y muestra	38
3.4.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	38
3.4.4.	Recopilación de la información	39
3.4.5.	Fase de campo.....	42
3.4.6.	Fase de gabinete.....	42
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
5.	CONCLUSIONES	101
6.	RECOMENDACIONES.....	102
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	103
8.	ANEXOS.....	105

Índice de Tablas

Tabla 1.- Cuadro de Operacionalización de Variables.....	29
Tabla 2.- Ubicación geodésica del centroide del área de estudio	35
Tabla 3.Ubicación geodésica del punto de aforo	37
Tabla 4 Clasificación del rango NDBI – año 2000	58
Tabla 5 Clasificación del rango NDBI – año 2024	59
Tabla 6 Clasificación del rango NDBI – año 2000	62
Tabla 7 Clasificación del rango NDBI – año 2024	63
Tabla 8 Clasificación de rango NDWI – año 2000	64
Tabla 9 clasificación de rango NDWI – año 2024	65
Tabla 10 Clasificación de rango NDWI - 2000.....	67
Tabla 11 clasificación del rango NDBI - 2024.....	68
Tabla 12 Matriz de clasificación combinada	68
Tabla 13 Clasificación y significado de categorización	74
Tabla 14 Categorización y significado de colores utilizados en QGIS	75
Tabla 15 Interpretación específica de colores utilizados en QGIS.....	76
Tabla 16 Descripción específica de las categorías y rango de valores	87
Tabla 17 Interpretación combinada de los índices NDWI y NDBI.....	98

Índice de Gráficos

Gráfico 1.- Mapa de ubicación.	36
-------------------------------------	----

Índice de Figuras

Figura 1: Misiones Landsat hacia el espacio desde 1972.	52
Figura 2 Bandas de Landsat 7 y 8 utilizados	52
Figura 3 Insertar las imágenes satelitales al software QGis	55
Figura 4 Insertar el shapefile de la provincia de Tumbes	55
Figura 5 Cortar las imágenes satelitales por la máscara de la provincia de Tumbes	56
Figura 6 Calculadora Raster	56
Figura 7 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2000	57
Figura 8 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024	58
Figura 9 Análisis de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2000.....	58
Figura 10 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024	59
Figura 11 Análisis de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024...59	
Figura 12 Delimitación del contorno de la subcuenca Pedregal.	60
Figura 13 Zona y subcuenca de estudio a analizar	61
Figura 14 Generación y Análisis del índice NDBI – año 2000	61
Figura 15 Generación y Análisis del índice NDBI – año 2024	62
Figura 16 Analizaremos el estudio del NDWI del año 2000 vs el año 2024.....	63
Figura 17 Interpretación de valores de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2000	63
Figura 18 Generación de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2024	64
Figura 19 Análisis de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2024	64

Figura 20 Área y subcuena de estudio a analizar	66
Figura 21 Generación del índice NDWI – año 2000	66
Figura 22 Análisis del índice NDWI – año 2000	66
Figura 23 Generación del índice NDBI – año 2024	67
Figura 24 Análisis del índice NDBI – año 2024	67
Figura 25 Análisis de índices - NDBI y NDWI, año 2000	70
Figura 26 Análisis de índices - NDBI y NDWI, año 2024	70

Índice de Imágenes

Imagen 1.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2005.....	44
Imagen 2.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2007	44
Imagen 3.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2012.....	45
Imagen 4.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2013.....	45
Imagen 5.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2014.....	46
Imagen 6.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2015.....	46
Imagen 7.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2016.....	47
Imagen 8.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2017.....	47
Imagen 9.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2018.....	48
Imagen 10.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2019.....	48
Imagen 11.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2020.....	49
Imagen 12.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2021.....	49
Imagen 13.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2022.....	50

Imagen 14.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2023.....	50
Imagen 15.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2024.....	51
Imagen 16.- Invasión urbana.....	51
Imagen 17 Mapa de NDWI - AÑO 2000	77
Imagen 18 Mapa de NDWI - AÑO 2003	78
Imagen 19 Mapa de NDWI - AÑO 2006	79
Imagen 20 Mapa de NDWI - AÑO 2009	80
Imagen 21 Mapa de NDWI - AÑO 2012	81
Imagen 22 Mapa de NDWI - AÑO 2015	82
Imagen 23 Mapa de NDWI - AÑO 2018	83
Imagen 24 Mapa de NDWI - AÑO 2021	84
Imagen 25 Mapa de NDWI - AÑO 2024	85
Imagen 26 Mapa de NDBI - AÑO 2000	88
Imagen 27 Mapa de NDBI - AÑO 2003	89
Imagen 28 Mapa de NDBI - AÑO 2006	90
Imagen 29 Mapa de NDBI - AÑO 2009	91
Imagen 30 Mapa de NDBI - AÑO 2012	92
Imagen 31 Mapa de NDBI - AÑO 2015	93
Imagen 32 Mapa de NDBI - AÑO 2018	94
Imagen 33 Mapa de NDBI - AÑO 2021	95
Imagen 34 Mapa de NDBI - AÑO 2024.....	96

Listado de anexos

Anexo 1.- Croquis General de la Zona de Estudio	105
Anexo 2.- Matriz de consistencia.....	106
Anexo 3.- Criterios generales para determinar el ancho mínimo de faja marginal en cauces naturales	107
Anexo 4.- Data Vectorial faja Marginal - Ana.....	108
Anexo 5.- Panel fotográfico	114

RESUMEN

El presente informe tiene como objetivo analizar el crecimiento urbano en el área de la FAJA MARGINAL de la QUEBRADA PEDREGAL de Tumbes a través de un enfoque multitemporal utilizando imágenes satelitales de Landsat 7 y 8 durante los años 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 y 2024. Mediante técnicas de teledetección y modelamiento espacial, se identificaron y cuantificaron las transformaciones en la cobertura urbana y su expansión territorial sobre suelos agrícolas, ecosistemas ribereños y zonas periurbanas. La metodología se basó en la descarga y procesamiento de imágenes Landsat 7 y Landsat 8, a partir de las cuales se calcularon índices espectrales como el NDWI (Índice Diferencial Normalizado de Agua) y NDBI (Índice de Construcción Urbana). Estos índices permitieron clasificar y delimitar las áreas urbanas en cada periodo analizado, así como detectar zonas con mayor grado de transformación antrópica. Los resultados muestran una tendencia clara de expansión urbana hacia las zonas agrícolas de la Quebrada Pedregal Tumbes, así como un incremento significativo en la superficie construida, especialmente en la zona sur y este de la ciudad. Se evidenció una disminución progresiva en áreas verdes y suelos con alta humedad superficial, lo que podría estar asociado al cambio en el uso del suelo y a la presión urbana sobre espacios ecosistémicamente sensibles. Este análisis permite comprender las dinámicas espaciales del crecimiento urbano en Tumbes y plantea la necesidad de integrar herramientas de monitoreo satelital en la planificación territorial, con el fin de promover un desarrollo urbano más sostenible y ordenado. Asimismo, se recomienda continuar con la actualización periódica de este tipo de análisis para fortalecer la toma de decisiones a nivel municipal y regional.

Los resultados obtenidos indican un aumento progresivo en la ocupación urbana dentro de estas zonas protegidas, alcanzando un total de 12.44 hectáreas invadidas en 2024. Este hallazgo confirma la hipótesis planteada y resalta la necesidad de fortalecer las estrategias de planificación territorial y la gestión ambiental para mitigar la ocupación indebida de las fajas marginales.

Palabras Claves: Fajas Marginales, Huella Máxima, Invasión Urbana.

ABSTRAC

This report aims to analyze urban growth in the MARGINAL BELT area of the PEDREGAL GORGE of Tumbes through a multitemporal approach using Landsat 7 and 8 satellite images during the years 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 and 2024. Using remote sensing and spatial modeling techniques, the transformations in urban cover and its territorial expansion over agricultural lands, riparian ecosystems and peri-urban areas were identified and quantified. The methodology was based on the download and processing of Landsat 7 and Landsat 8 images, from which spectral indices such as the NDWI (Normalized Difference Water Index) and NDBI (Urban Built-up Index) were calculated. These indices made it possible to classify and delimit urban areas in each period analyzed, as well as to identify areas with a greater degree of anthropogenic transformation. The results show a clear trend of urban expansion toward the agricultural areas of the Pedregal Gorge in Tumbes, as well as a significant increase in built-up area, especially in the southern and eastern parts of the city. A progressive decrease in green areas and soils with high surface moisture was evident, which could be associated with changes in land use and urban pressure on ecosystem-sensitive spaces. This analysis provides insight into the spatial dynamics of urban growth in Tumbes and raises the need to integrate satellite monitoring tools into territorial planning to promote more sustainable and orderly urban development. Furthermore, it is recommended that this type of analysis be continued to be periodically updated to strengthen decision-making at the municipal and regional levels. The results indicate a progressive increase in urban occupation within these protected areas, reaching a total of 12.44 hectares invaded in 2024. This finding confirms the proposed hypothesis and highlights the need to strengthen territorial planning strategies and environmental management to mitigate the unauthorized occupation of marginal strips.

Keywords: Marginal Strips, Maximum Footprint, Urban Invasion

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 24 años, la subcuenca de la Quebrada Pedregal ha sido testigo de un crecimiento urbano acelerado que ha transformado su paisaje y puesto en riesgo sus ecosistemas ribereños. Lo que antes eran áreas naturales de amortiguamiento, esenciales para la estabilidad del cauce y la mitigación de inundaciones, hoy presentan signos alarmantes de invasión y ocupación urbana.

Este fenómeno no es aislado. En diversas regiones del mundo, la presión urbana sobre las fajas marginales ha derivado en desastres ambientales, aumento de la vulnerabilidad ante eventos climáticos extremos y conflictos por el uso del suelo. La Quebrada Pedregal, ubicada en una zona seca y de alta sensibilidad ecológica, no es la excepción. El análisis de imágenes satelitales desde el año 2000 hasta la actualidad revela un crecimiento progresivo de construcciones en zonas que, por normativa, deberían permanecer libres de intervención humana.

La delimitación de las fajas marginales es clave para la gestión sostenible de estos territorios. Determinar con precisión hasta dónde debería extenderse la ocupación urbana es una tarea compleja, pero necesaria para garantizar el equilibrio entre el desarrollo y la conservación. La metodología de huellas máximas, combinada con tecnologías geoespaciales, se ha convertido en una herramienta efectiva para establecer límites ribereños con rigor científico. La presente investigación busca aportar evidencias concretas y reflexiones clave para abordar este desafío con una visión integral y sustentable.

El análisis multitemporal del crecimiento urbano se realizó mediante la comparación de productos espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI correspondientes a nueve años seleccionados: 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 y 2024. El objetivo fue evaluar los cambios en las coberturas construidas y en la humedad superficial del terreno en los alrededores de la quebrada Pedregal, en la provincia de Tumbes, Perú, a través del cálculo e interpretación de los índices NDBI (Índice Diferencial de Construcción Urbana) y NDWI (Índice Diferencial de Agua).

II. ESTADO DEL ARTE

2.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

La subcuenca Pedregal, ubicada en una región semiárida, ha sido históricamente afectada por la invasión de fajas marginales, áreas de vegetación natural que han sido degradadas o destruidas debido a actividades humanas como la agricultura no sostenible, la deforestación y la urbanización descontrolada. Esta invasión de fajas marginales ha tenido un impacto significativo en la calidad del agua, la estabilidad del suelo y la resiliencia ante eventos climáticos extremos.

A pesar de los esfuerzos de conservación y restauración ambiental realizados en la subcuenca en los últimos años, la invasión de fajas marginales sigue siendo una problemática persistente y en aumento. La falta de un análisis detallado y sistemático de la evolución temporal de este fenómeno dificulta la comprensión de sus causas subyacentes, la identificación de áreas priorizadas en conservación y la formulación de estrategias efectivas de manejo del territorio.

Esta situación problemática se ve agravada por la creciente presión sobre los recursos naturales de la cuenca debido al crecimiento demográfico, el desarrollo urbano y la expansión agrícola. Sin un enfoque integral y basado en evidencia para abordar la invasión de fajas marginales, existe el riesgo de una mayor degradación del ecosistema, pérdida de servicios ambientales esenciales y conflictos socioambientales en la región.

En este contexto, se requiere urgentemente una investigación exhaustiva y sistemática que analice la invasión de fajas marginales en la subcuenca de Quebrada Pedregal a lo largo del tiempo, utilizando enfoques multitemporales y herramientas de análisis espacial avanzadas. Esta investigación busca abordar esta problemática mediante el estudio detallado de la dinámica de cambio en la cobertura vegetal de la subcuenca durante el periodo 2000-2024, con el objetivo de

proporcionar información clave para la toma de decisiones en materia de conservación, manejo del territorio y desarrollo sostenible en la región.

2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Acorde a lo detallado en la situación problemática, se plantea:

¿En qué medida el área urbana invade las fajas marginales incumpliendo con la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024?

2.3. JUSTIFICACIÓN

2.3.1. Justificación Práctica

La subcuenca de Quebrada Pedregal es un ecosistema vulnerable a la invasión de fajas marginales, lo que podría tener impactos negativos en la calidad del agua, la biodiversidad y la estabilidad de los suelos. Un análisis multitemporal permitirá comprender la evolución de este fenómeno y diseñar estrategias efectivas de gestión y conservación de recursos naturales.

2.3.2. Justificación Teórico-Científica:

La aplicación de tecnología satelital y sistemas de información geográfica (SIG) en el análisis multitemporal permitirá obtener datos precisos y actualizados sobre la distribución espacial de las fajas marginales a lo largo de un periodo de tiempo extenso.

2.3.3. Justificación Metodológica:

El enfoque multitemporal implicará comparar imágenes de distintos momentos temporales para detectar cambios en la cobertura vegetal y la presencia de fajas marginales a lo largo del tiempo, lo que proporciona una visión integral de la dinámica del paisaje.

2.3.4. Justificación Socioeconómica:

La invasión de fajas marginales podría afectar la disponibilidad de recursos hídricos en la subcuenca, lo que repercutirá en la seguridad alimentaria y el bienestar económico de las comunidades locales.

La identificación de áreas propensas a la invasión de fajas marginales es crucial para la gestión de riesgos naturales asociados, como inundaciones, deslizamientos de tierra y pérdida de suelos fértiles, lo que puede tener un impacto significativo en la economía y la calidad de vida de la población.

2.3.5. Justificación Político-Administrativa:

Los resultados del análisis multitemporal pueden incentivar a la formulación de políticas públicas y la toma de decisiones a nivel gubernamental, proporcionando información objetiva y actualizada sobre la dinámica de la invasión de fajas marginales y sus implicaciones socioeconómicas y ambientales.

La información generada a partir del estudio puede contribuir al desarrollo de planes de ordenamiento territorial y medidas de conservación y restauración ambiental en la subcuenca de Quebrada Pedregal, promoviendo un uso sostenible de los recursos naturales y la protección del medio ambiente.

En resumen, esta investigación aborda una necesidad práctica y científica importante al analizar la invasión del área urbana que incumple la normativa de fajas marginales en la subcuenca de Quebrada Pedregal. Su enfoque metodológico y su relevancia socioeconómica y política justifican su importancia para la gestión y conservación de recursos naturales en la región. La delimitación de fajas marginales en cuencas secas es crucial para la gestión y mitigación de inundaciones en regiones vulnerables a estas, como Tumbes. Estas áreas tienen un alto potencial de inundación durante eventos de lluvias intensas, lo que puede provocar daños materiales, pérdida de vidas humanas, afectar la infraestructura y a la agricultura de la región.

2.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

2.4.1. Hipótesis General

La invasión del área urbana en las fajas marginales es alta, incumpliendo la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024.

2.4.2. Hipótesis Específicas

1. Es posible determinar el límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas.
2. Se puede delimitar las fajas marginales en el cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal.
3. La invasión del área urbana en las fajas marginales en los años 2000-2024 es mayor a través de los años.

2.5. VARIABLES

En la presente investigación se trabajará con dos variables, Fajas marginales e Invasión de áreas urbanas.

2.5.1. Conceptualización de la Variable

2.5.1.1. Variable independiente

Invasión de áreas urbanas. - Se refiere al área en (m²) que ocupa la zona urbana dentro de los límites de las fajas marginales.

2.5.1.2. Variable dependiente

Fajas Marginales. - Son áreas en las riberas de las fuentes de agua delimitados para la defensa del recurso hídrico, en donde se prohíben actividades industriales, uso poblacional y/o agrícolas.

2.5.2. Operacionalización de la Variable

Las variables serán operacionalizadas como:

Tabla 1.- Cuadro de Operacionalización de Variables

Variables	Indicadores	Índices	Ítems
<u>Independiente:</u> Invasión de áreas urbanas	1. Área invadida por la población en los límites de las fajas marginales.	1.1. Crecimiento poblacional.	- Imágenes satelitales. - Encuestas poblacionales.
<u>Dependiente:</u> Fajas marginales	1. Límite superior de la ribera. 2. Ancho mínimo de fajas marginales.	2.1. Método de huella máxima. 2.2. Condiciones del cauce principal de la subcuenca.	- Delimitación de Fajas Marginales - Cuestionarios.

Fuente: Elaboración propia (2025).

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Determinar en qué medida el área urbana invade en las fajas marginales incumpliendo la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024.

2.6.2. Objetivos Específicos

- a) Determinar el límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas.
- b) Delimitar las fajas marginales del cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal.
- c) Realizar el análisis multitemporal de la invasión del área urbana en las fajas marginales en los años 2000-2024.

2.7. ANTECEDENTES

2.7.1. Antecedentes internacionales

Alcántara Boza & Castro Tenorio (2021); en su estudio “Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín” concluye que:

Los peligros relacionados con las inundaciones se detectan principalmente al inicio de la zona de estudio, lo que resulta en diversas áreas propensas a inundaciones, especialmente en terrenos con poca pendiente. Estas inundaciones pueden alcanzar alturas de hasta 10 metros y anchuras de 140 metros. Los tiempos de retorno de 30, 50 y 100 años analizados no evidencia una diferencia significativa en aumento del caudal en la cuenca del río Saraus. Por lo tanto, los efectos, tampoco causan cambios importantes en las características geomorfológicas del área a explorar, dado que se trata de un río principal.

Elsie Araseli Ojeda et all. (2022); en su estudio “Modelación Hidrológica de la Subcuenca del Rio Balsar en el Distrito de Ciudad Cortés” concluye que:

Un breve repaso histórico de los diferentes momentos de expansión que ha experimentado el desarrollo de la infraestructura urbana en San Roque (Corrientes) ha revelado el origen de los problemas de inundaciones en la cuenca inferior del arroyo Baró. Se destaca especialmente la ubicación actual de la Ruta Nacional 12 como un hito significativo que dirigió el crecimiento del área urbana hacia la cuenca del arroyo Baró. Esto ilustra cómo las decisiones estatales y privadas influyen de manera crucial en la gestión del riesgo, subrayando la importancia de llevar a cabo estudios ambientales para proporcionar información que permita desarrollar herramientas efectivas de mitigación del riesgo de inundaciones.

2.7.2. Antecedentes nacionales

Choque Huanca & Mamani Ccantuta (2020); en su tesis “Modelamiento Hidráulico con fines de Delimitación de Fajas Marginales del Rio Caplina en los Distritos de Pachia – Calana” concluye que:

El área de inundaciones que se ha obtenido del río Caplina se identifica claramente los puntos críticos en el que se produce inundación debido a la existencia de aberturas del encauzamiento realizado con material propio y utilizados como cruce peatonal por lo que este tipo de acciones realizadas por el hombre convierte en puntos críticos y zonas de riesgo ante la crecida de máximas avenidas durante los meses de diciembre a marzo.

Jhonatan Arthur Santa Cruz (2023); en su estudio “Estimación del riesgo por inundación del río Marañón en la faja marginal de la zona urbana de la localidad Cumba, Utcubamba - Amazonas” concluye que:

La franja marginal de la zona urbana de la localidad de Cumba es muy propensa a inundaciones ante fuertes lluvias ya que tiende a subir el caudal del agua y causar daños a las casas ubicadas en la orilla del río y todo esto provoca desastres.

El nivel de peligrosidad generado por el río Marañón en la faja marginal de la localidad de Cumba es muy alto, produciéndose mediante el modelamiento hidráulico, áreas de inundación para todos los tiempos de retorno excepto a los 10 años.

El área total inundable ante máximas avenidas en la zona delimitada del río Marañón a la altura de la zona urbana de la localidad de Cumba es de 14790,191m².

2.7.3. Antecedentes locales

Pedro Francesco Espinoza Cardeña & Grecia Rosaly Rodriguez Achulle (2023); en su estudio “Delimitación de la faja marginal mediante el modelamiento hidráulico bidimensional en el río Tumbes entre el sector Malval y el puente Tumbes, región Tumbes” concluye que:

Al realizar la evaluación del río Tumbes, se identificaron que los distritos Corrales, Tumbes y Garbanzal presentan zonas vulnerables, debido a que se reportaron recurrentes inundaciones. Entre el 2020 y 2022 se registraron perjuicios de 800 viviendas en el margen derecho y 1000 has de cultivo en

el margen izquierdo. Por lo que, la zona de estudio presenta un alto nivel de susceptibilidad ante el desbordamiento del río.

Oyola Romero & Medina Troncos (2019); en su estudio “Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Rio Zarumilla – 2018” concluye que:

Las zonas más vulnerables ante un desborde del Río por motivo de las crecidas son las llanuras que están en ambas márgenes lo cual corresponden a zonas que los pobladores utilizan para la agricultura centros poblados.

En el estudio hidráulico del río encontramos que presenta un ancho de cauce entre los 100 m y 150 m, con cotas de 34m y 22 m teniendo así un pendiente promedio 0,004. Posee una topografía plana con algunos cerros de a lo más de 10 m de altura y de 50 m a 100 m de largo en algunas partes de las orillas del cauce; en algunos tramos existen estructuras hidráulicas como espigones y muros enrocados; y el lecho del cauce mayormente arenosos con algo de vegetación.

2.8. BASES TEÓRICAS CIENTÍFICAS

2.8.1. Cuenca hidrográfica

“Una cuenca hidrográfica es un área definida por su relieve, drenada por un sistema conectado de cursos de agua o un curso hidrográfico, de tal forma que todas las aguas son descargadas a través de una salida simple” (Monsalve Sáenz, 1999).

Acorde a la Ley de Recursos Hídricos, las fajas marginales son áreas en las riberas de las fuentes de agua delimitados por la ANA a fin de lograr la protección de las fuentes naturales del recurso hídrico, en donde se prohíben actividades industriales, agrícolas y/o uso poblacional (urbanización).

2.8.2. Fajas Marginales

Las fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico conformados por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, sean estas

naturales o artificiales. Estas áreas cumplen funciones esenciales para la protección de los cuerpos de agua, el uso primario del recurso hídrico, el libre tránsito, la pesca, la construcción de caminos de vigilancia y otros servicios públicos (Autoridad Nacional del Agua [ANA], s.f.).

La delimitación de las fajas marginales está regulada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y se basa en diversos factores técnicos, tales como la presencia de estructuras hidráulicas, la necesidad de defensa ribereña, el espacio requerido para usos públicos y la máxima crecida de las fuentes naturales de agua, excluyendo eventos excepcionales (ANA, s.f.).

De acuerdo con la normativa vigente, está prohibido utilizar las fajas marginales para asentamientos humanos, actividades agrícolas u otras que puedan afectar su integridad. Además, la ANA, en coordinación con los gobiernos locales y Defensa Civil, promueve mecanismos de reubicación para las poblaciones asentadas en estas áreas, con el objetivo de garantizar la seguridad de las comunidades y preservar la función ecológica y social de las fajas marginales (ANA, s.f.).

2.8.3. Normativa en fajas marginales

Según el reglamento para la delimitación y mantenimiento de fajas marginales en cursos fluviales y cuerpos naturales y artificiales, la metodología que se aplicará para la delimitación de la faja marginal de cauces naturales comprende las siguientes fases:

- a) Determinación del límite superior de la ribera.
- b) Determinación del ancho de la faja marginal.

2.8.4. Determinación del límite superior de la ribera

El límite superior de la ribera se realiza utilizando alguno de los siguientes procedimientos: Modelamiento Hidráulico o Huellas Máximas.

Para efectos de resumen, en la presente investigación se utilizará el método de Huellas máximas.

2.8.4.1. Huellas máximas

Las huellas máximas es un método alternativo al modelamiento hidráulico. Se emplea únicamente en los casos en los que las huellas sean claramente identificables. Para tal efecto, debe seguirse el siguiente procedimiento:

- a) Segmentar el cauce natural en secciones transversales y tramos longitudinales; y, definir para cada una de ellas el eje longitudinal.
- b) Identificar en cada sección transversal las huellas máximas; es decir, las marcas dejadas por las aguas durante el periodo de crecientes máximas.
- c) En las lagunas y lagos, el límite superior de la ribera está dado por el nivel que alcanza la máxima creciente.

2.8.4.2. Determinación del ancho de la faja marginal

Una vez determinado límite superior de la ribera se establecerá el ancho mínimo de la faja marginal utilizando criterios generales que se muestran en la tabla del anexo 3.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

3.1.1. Ubicación Geopolítica

Región : Tumbes
Provincia : Tumbes
Distrito : Tumbes
Sector : “Las Malvinas” y “Mafalda Lama”

3.1.2. Ubicación Geodésica

Tabla 2.- Ubicación geodésica del centroide del área de estudio

Norte (m)	Este (m)	Datum Georreferenciado	Datum UTM
9 603 938,766	564 000,024	WGS 84	Zona 17S

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.2. MATERIALES, EQUIPOS E INSTRUMENTOS

3.2.1. Materiales

- Herramientas manuales (Palana, machete, pico, estacas).
- Cinta métrica o wincha.
- Libreta de apuntes.

3.2.2. Equipos

- Navegador móvil GPS GARMIN – GPSMAP 64s.
- Cámara fotográfica – Teléfono celular.
- Laptop marca HP - Intel CORE i5.

3.2.3. Instrumentos

- Softwares (QGIS, Civil 3D).
- Softwares (Microsoft Word, Microsoft Power Point, Microsoft Excel).

3.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.3.1. Área de estudio

El área de estudio se desarrollará en la Quebrada Pedregal ubicada en el distrito de Tumbes.

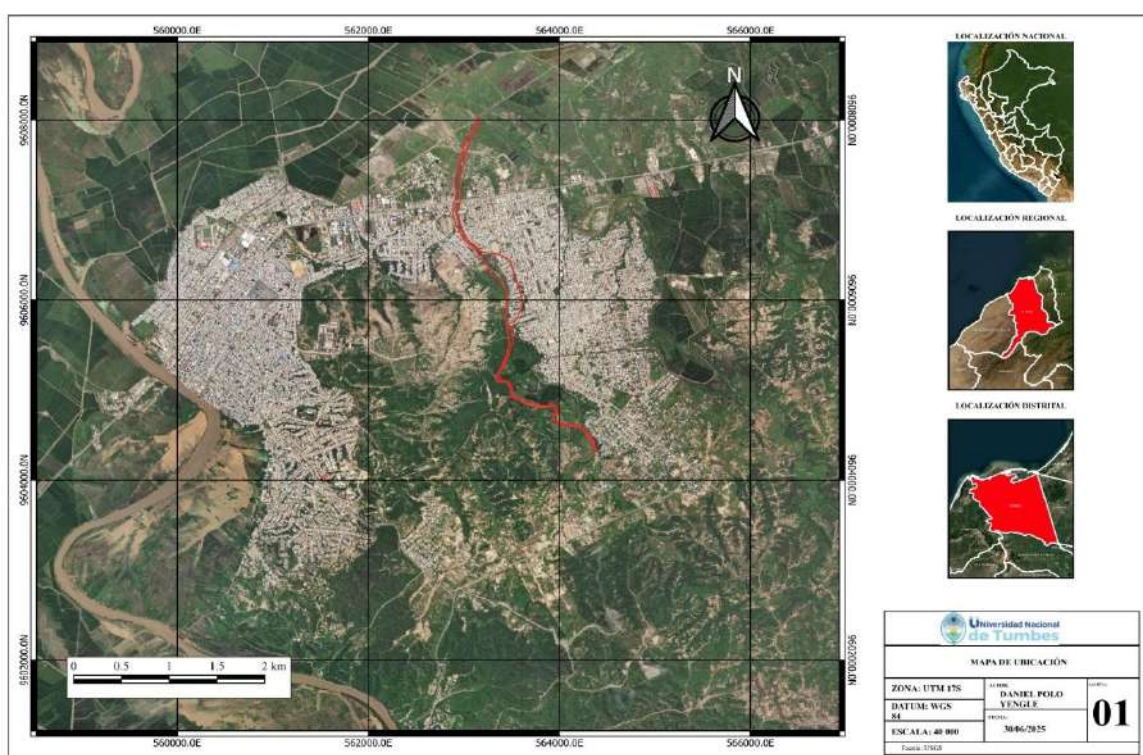


Gráfico 1.- Mapa de ubicación.

Fuente: Elaboración propia (2025), ArcGIS 10.5 - Arcmap

3.3.2. Topografía

La región analizada exhibe una topografía mayormente llana típica de las áreas costeras, con suaves inclinaciones y una altitud promedio de 44 metros sobre el nivel del mar. Asimismo, hay áreas vulnerables a inundaciones durante periodos de crecidas máximas.

3.3.3. Climatología

La quebrada pedregal, según el ANA presenta un clima semitropical, considerada como el departamento más cálido de la costa del Perú con unas temperaturas que fluctúan entre 23° (entre junio a septiembre) y 30° (en los meses” de enero a abril).

3.3.4. Punto de aforo

El cauce principal de la subcuenca de la Quebrada Pedregal confluye con el de la Quebrada Luey, por lo que, el punto de aforo será en la intercepción del cauce principal de la Quebrada Pedregal y de la Quebrada Luey.

Tabla 3. Ubicación geodésica del punto de aforo

Norte (m)	Este (m)	Datum Georreferenciado	Datum UTM
9 608 003,00	563 152,00	WGS 84	Zona 17S

Fuente: Elaboración propia (2025).

3.4. MÉTODO

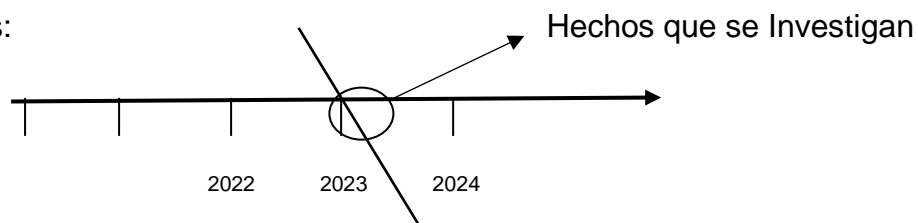
El presente trabajo de investigación se elaboró a través de cinco etapas principales que consisten en:

- Diseño.
- Recopilación de la información.
- Fase de campo.
- Fase de gabinete.
- Elaboración del informe final.

3.4.1. Diseño

“La presente investigación se basa en un diseño No Experimental – Transeccional – Descriptivo; porque se conocerán y analizarán las propiedades, cualidades y características de un fenómeno de la realidad en un momento determinado del tiempo” (Carrasco, 2019).

Su diseño es:



3.4.2. Población y muestra

3.4.2.1. Población

La población será la totalidad de subcuencas secas sin información hidrométrica de la región Tumbes.

3.4.2.2. Muestra

En este estudio se trabajó con una muestra No Probabilística – Intencionada.

Intencionada. - Porque no se hará uso de una regla estadística o matemática solo a criterio del investigador”.

No probabilística. - porque no todas las partes de la población formarán parte de la muestra e intencionada.

La muestra está representada por la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal.

3.4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la compilación de la información y datos se trabajó con los siguientes instrumentos:

a) Documentos escritos (Libros, leyes, informes oficiales, revistas, entre otros).

- b) Data e información de internet, obtenidas de páginas confiables como SENAMHI y/o ANA para la información meteorológica y USGS (United States Geological Survey), EARTH EXPLORER o SIGRID CENEPRED para la información geográfica y cartográfica.
- c) Encuestas y entrevistas, que constituye un diálogo interpersonal entre los pobladores de la zona y tesista.
- d) Instrumentos y equipos de medición, que puedan realizar mediciones en campo (como unidad móvil GPS, Wincha, entre otros).

3.4.4. Recopilación de la información

3.4.4.1. Información geográfica

Para el desarrollo de la presente investigación se descargó data geográfica de los distintos medios de internet tales como: y USGS (United States Geological Survey) y EARTH EXPLORER (para información de los modelos de elevación digital), SIGRID CENEPRED (para datos vectoriales), a fin de poder tener una interface gráfica a fin de realizar el análisis gráfico correspondientes.

3.4.4.2. Información socioeconómica

La data socioeconómica fue descargada de la página oficial del INEI, se analizaron los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a través de los años. Las variables a analizar fueron la cantidad personas y viviendas construidas dentro del ámbito de la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal.

3.4.4.3. Información cartográfica

El presente estudio se ha realizado en colaboración con el ANA, la misma que en el año 2024 ha determinado las fajas marginales de la Quebrada Pedregal y Luey con INFORME TECNICO N° 0002-2024-ANA-AAA.JZ/CALC. Por lo que, en el presente trabajo de investigación se trabajará con la información cartográfica otorgada por el ANA.

3.4.4.4. Periodicidad del análisis multitemporal

La periodicidad ideal para realizar análisis multitemporales está sujeta a factores como la disponibilidad de información, la resolución espacial de los datos y la velocidad del crecimiento urbano. En general, se sugiere trabajar con intervalos de entre 5 y 10 años; sin embargo, en zonas donde el desarrollo urbano es más acelerado, se pueden utilizar lapsos más cortos, de aproximadamente 2 a 3 años (Herold, Couclelis, & Clarke, 2005) (Dewan & Yamaguchi, 2009)

3.4.4.5. Crecimiento Poblacional y Fajas Marginales con Imágenes Landsat 8/9

Crecimiento Poblacional con Landsat 8/9

Objetivo: Detectar expansión urbana como proxy del crecimiento poblacional.

Como Landsat no mide población directamente, se puede **inferir el crecimiento urbano (suelo construido)** y correlacionarlo con población usando:

- Clasificación supervisada o no supervisada.
- Índices como el **NDBI** (Índice Diferencial Construido Normalizado).
- Comparación multitemporal.

Fórmula en QGIS (Calculadora Raster):

NDBI (para identificar áreas urbanas o construidas):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

Para Landsat 8/9:

- SWIR = Banda 6
- NIR = Banda 5

En el **Calculador Raster** de QGIS:

$$("B6" - "B5") / ("B6" + "B5")$$

Asegúrate de que los nombres de las bandas coincidan con tus capas cargadas.

Luego:

1. Calcular NDBI para dos fechas y/o varias fechas.
2. Clasificar valores altos de NDBI como zonas urbanizadas.
3. Comparar mediante **clasificación de cambio o diferencia de área urbana**.
4. Correlacionar con datos censales si se desea obtener tasas reales de crecimiento.

Faja Marginal con Landsat 8/9

Objetivo: Delimitar el cauce actual y su zona de influencia o inundación.

Enfoque:

Utiliza índices para identificar cuerpos de agua y aplicar buffers.

NDWI (Índice Diferencial de Agua Normalizado)

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

Para Landsat 8/9:

- Green = Banda 3
- NIR = Banda 5

En el **Calculador Raster** de QGIS:

$$("B3" - "B5") / ("B3" + "B5")$$

Luego:

1. Calcular el NDWI.
2. Aplicar **reclasificación** para delimitar cuerpos de agua (ej. NDWI > 0.3 = agua).
3. Vectorizar (Raster > Conversión > Raster a vector).
4. Generar **buffer** de la línea o polígono de agua → esta será tu faja marginal (ej. 50 m).

Requisitos:

- Imágenes corregidas (nivel 2, reflectancia de superficie).

- Preferencia por meses secos para analizar cauces reales.
- Uso de máscaras de nubes o filtros QA_PÍXEL.

3.4.5. Fase de campo

3.4.5.1. Inspección de campo.

En “primera instancia se realizará las coordinaciones pertinentes con las autoridades u representantes de la población en general constituida en las márgenes de la Quebrada Pedregal, de tal manera que se logren acuerdos de colaboración con respecto a las actividades de investigación” a realizar.

Se realizará la visita para determinar la situación actual de la Quebrada Pedregal y el manejo que se le viene dando por parte de la población aledaña, autoridades y terceros.

- Características de la población asentada.
- Uso actual de suelo.
- Tipo de vegetación.
- Punto de aforo.

3.4.6. Fase de gabinete

3.4.6.1. Determinación del límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas

A partir de las imágenes satelitales se escogieron tramos y secciones transversales, a las cuales se definieron las huellas máximas (marcas dejadas por las aguas durante el periodo de máxima creciente), y se utilizó un software GIS como instrumento para trabajar la data vectorial.

En el campo, se localizó y ajustó la huella máxima identificada a partir de imágenes satelitales, y se tomaron las mediciones de las coordenadas y altitudes, lo que permitió obtener los datos planimétricos necesarios para determinar las

coordenadas del límite superior de la ribera (huella máxima) y proceder con el dimensionamiento de la faja marginal a través de un estudio topográfico.

3.4.6.2. Determinación del ancho mínimo de la faja marginal.

El dimensionamiento de la faja marginal se realizó tras evaluar los criterios establecidos en el Artículo 12°, cuadro N° 01: Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua, del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales. Así, considerando que el tramo de estudio tiene una pendiente inferior al 1% y sus riberas están desprotegidas, se asumió un ancho mínimo de 10 m.

3.4.6.3. Determinación de faja marginal en el cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal.

En este apartado se delimitó la faja marginal teniendo en cuenta el límite superior de la ribera y el ancho mínimo de 10 m. A partir del INFORME TECNICO N° 0002-2024-ANA-AAA.JZ/CALC, y lo verificado en campo, se ha establecido un total de 269 vértices de delimitación de la faja marginal y 277 vértices de límite superior de la ribera (Huella Máxima) para la margen derecha y 178 vértices de delimitación de faja marginal y 180 vértices de delimitación del límite superior de la ribera (Huella Máxima) para la margen izquierda del tramo de estudio.

3.4.6.4. Análisis multitemporal de la invasión del área urbana en las fajas marginales de la Quebrada Pedregal.

En este apartado se realizó el análisis temporal a partir de imágenes satelitales utilizando el software Google Earth Pro, a fin de determinar el área de invasión urbana en las fajas marginales en los años 2000-2024.



Imagen 1.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2005



Imagen 2.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2007



Imagen 3.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2012

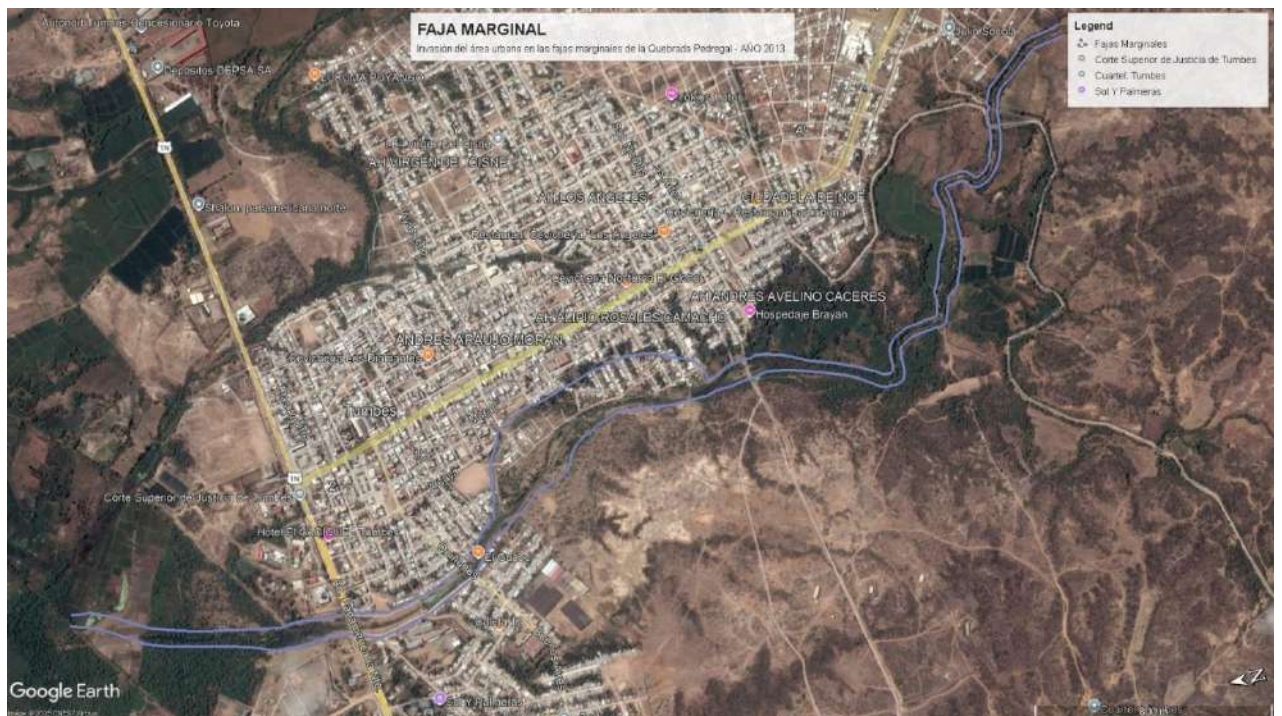


Imagen 4.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2013



Imagen 5.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2014



Imagen 6.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2015

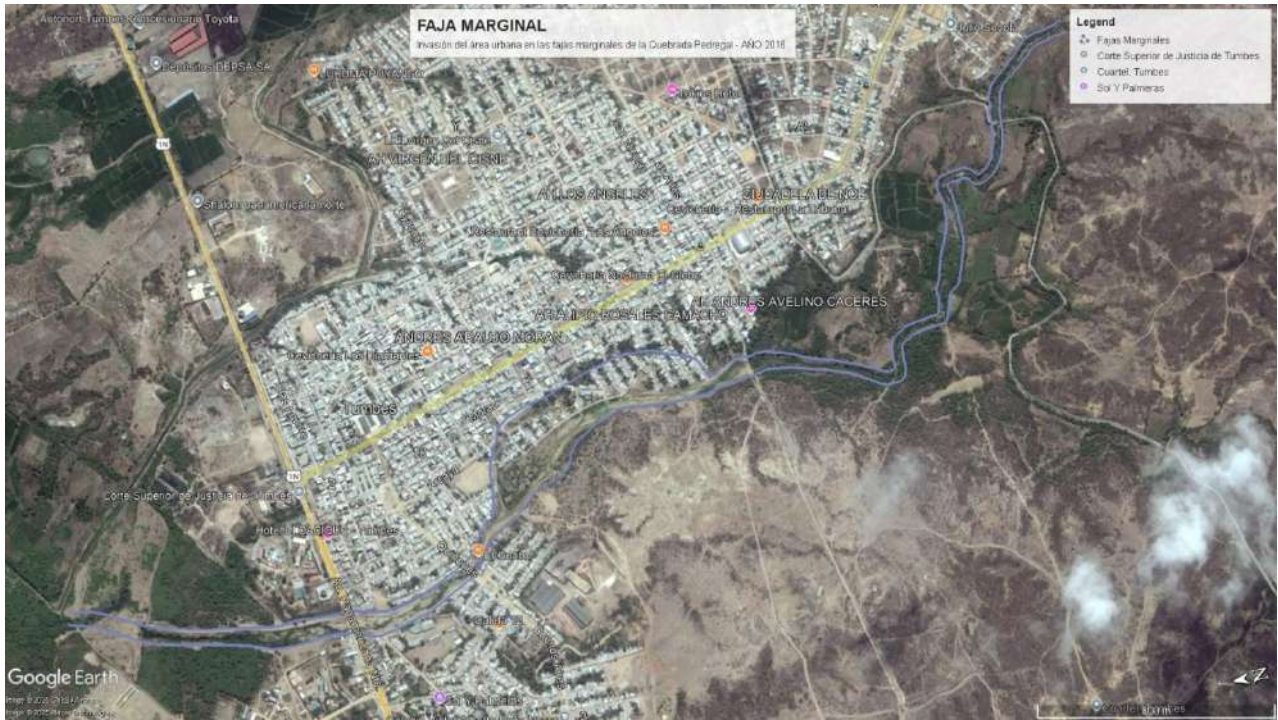


Imagen 7.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2016

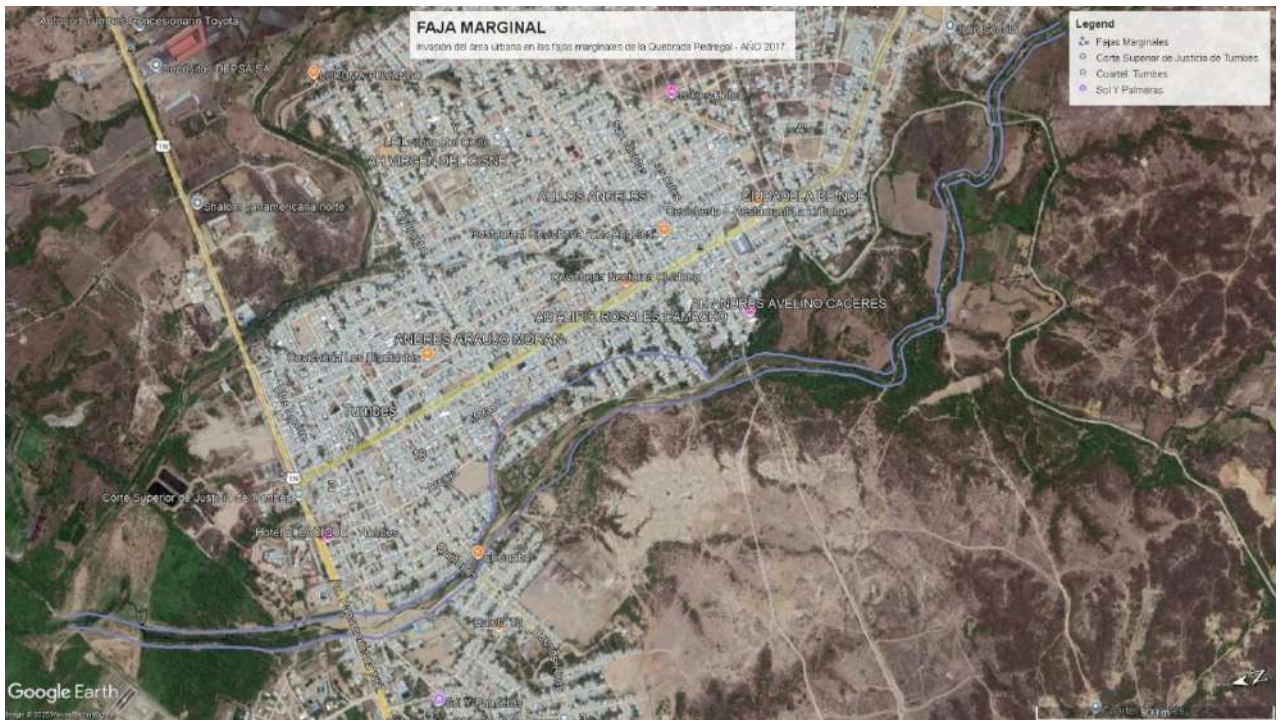


Imagen 8.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2017

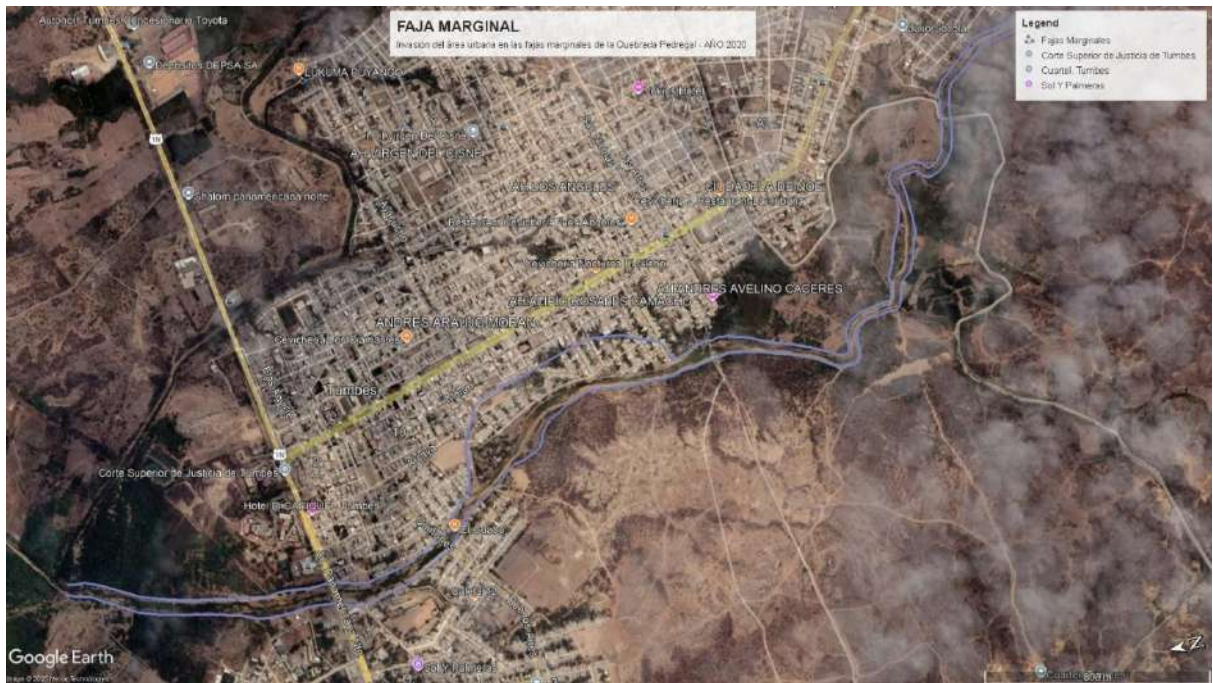


Imagen 11.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2020

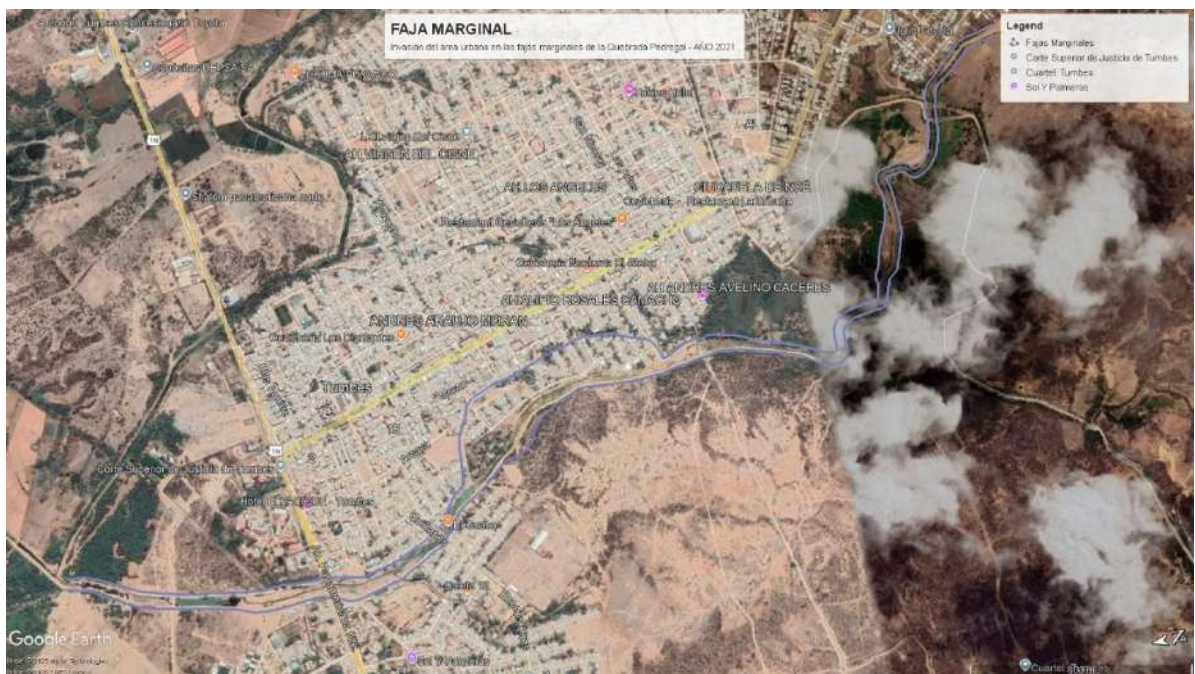


Imagen 12.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2021

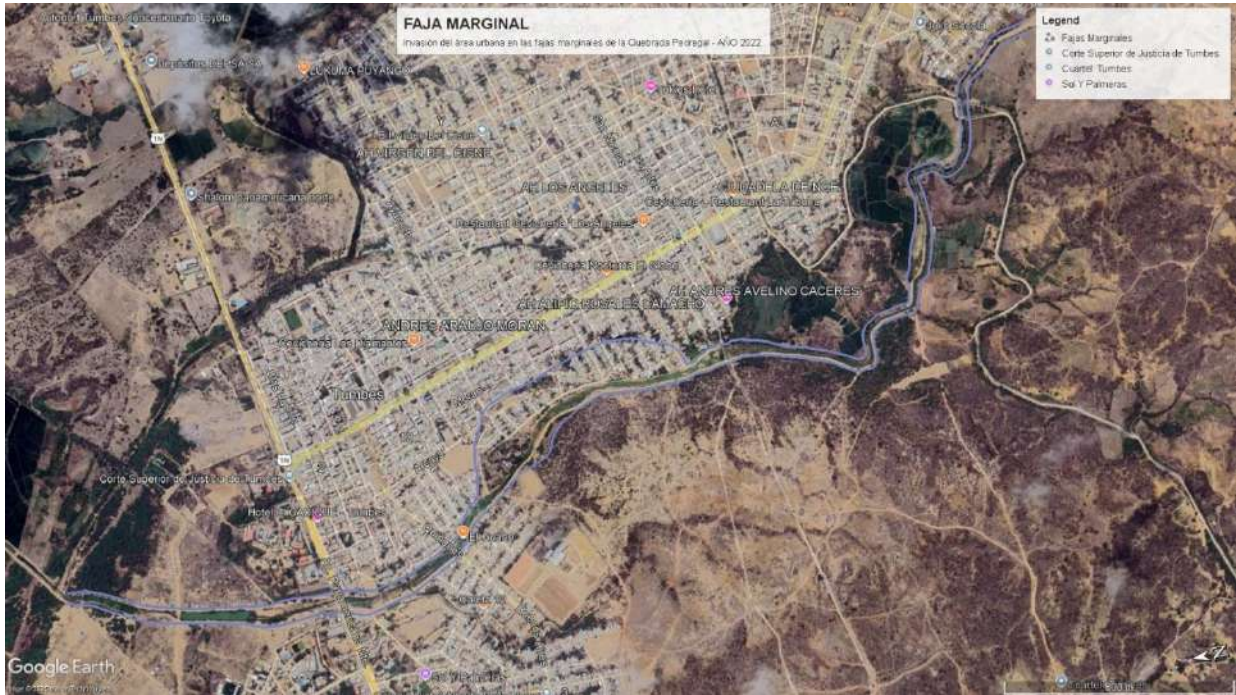


Imagen 13.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2022



Imagen 14.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2023

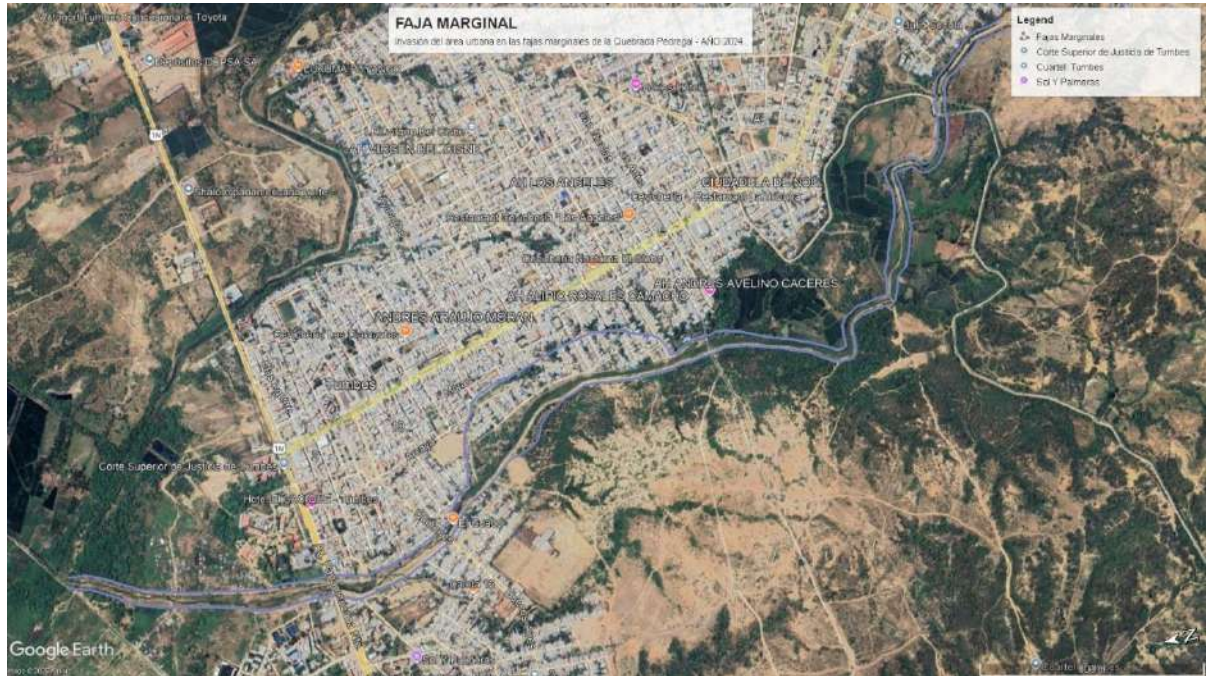


Imagen 15.- Invasión urbana en las fajas marginales de la quebrada Pedregal - Año 2024

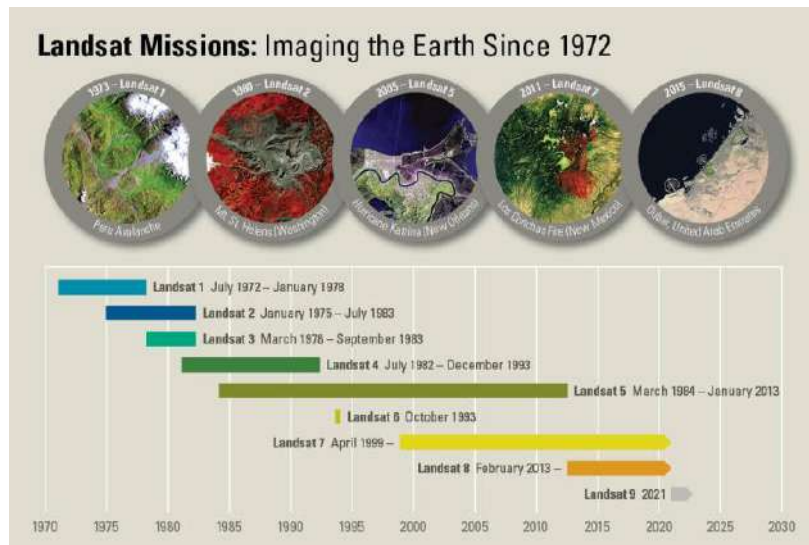


Imagen 16.- Invasión urbana

Adquisición de Datos

Las imágenes satelitales fueron obtenidas del portal de datos del USGS (United States Geological Survey), garantizando imágenes con cobertura libre de nubes o con mínima interferencia atmosférica.

Figura 1: Misiones Landsat hacia el espacio desde 1972.



Sensores utilizados:

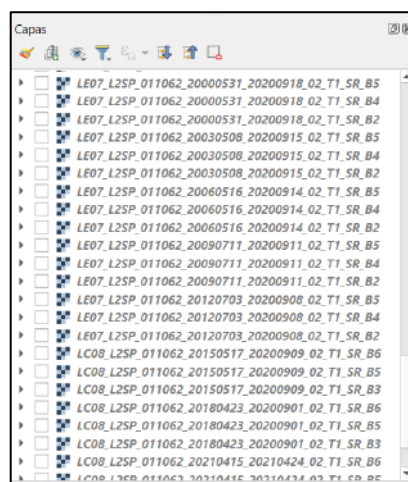
Landsat 7 ETM+ para los años 2000 - 2012

Landsat 8 OLI para los años 2015 - 2024

Resolución espacial: 30 metros

Corrección atmosférica: Imágenes procesadas con nivel Surface Reflectance (SR)

Figura 2 Bandas de Landsat 7 y 8 utilizados



Procesamiento digital de imágenes

El procesamiento se realizó íntegramente en QGIS, empleando complementos y herramientas nativas para el manejo de datos raster y cálculo de índices espectrales.

Pasos principales:

Importación y recorte espacial:

Se cargaron las imágenes Landsat correspondientes a cada año y se recortaron al límite del área de estudio utilizando una capa vectorial que delimita la zona alrededor de la quebrada Pedregal. Esto redujo el volumen de datos y centró el análisis en la zona de interés.

Corrección atmosférica:

Se trabajó con las imágenes ya corregidas de nivel 1 (TOA reflectance) proporcionadas por USGS. No se aplicó corrección adicional, debido a la coherencia y calidad de los datos disponibles.

Cálculo de índices espectrales:

Para cada imagen se calcularon los siguientes índices, que permiten diferenciar áreas urbanas y cuerpos de agua:

NDBI (Normalized Difference Built-up Index):

$$NDBI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

donde SWIR corresponde a la banda 5 en Landsat 7 y banda 6 en Landsat 8, y NIR corresponde a banda 4 en Landsat 7 y banda 5 en Landsat 8. Este índice destaca las áreas construidas o superficies urbanas.

NDWI (Normalized Difference Water Index):

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR}$$

donde Green es la banda 2 en ambos sensores y NIR es la banda 4 en Landsat 7 y banda 5 en Landsat 8. El NDWI facilita la detección de cuerpos de agua y zonas con humedad.

Generación de capas índice:

Los índices se calcularon utilizando la calculadora raster de QGIS, produciendo mapas raster para cada índice en cada año analizado.

Clasificación y Análisis Multitemporal

Clasificación simple por umbrales:

Para identificar las áreas urbanas y cuerpos de agua se aplicaron umbrales basados en valores de NDBI y NDWI, respectivamente:

Las áreas urbanas se definieron donde el valor de NDBI fue mayor que un umbral preestablecido (ejemplo: $NDBI > 0$), que indica presencia de superficie construida.

Las áreas de agua se delimitaron con valores positivos significativos de NDWI (ejemplo: $NDWI > 0$), diferenciándolas del resto de cobertura terrestre.

Comparación temporal:

Se compararon los mapas clasificados de cada año para detectar incrementos o decrementos en la superficie urbana, observando la evolución de la expansión alrededor de la quebrada Pedregal.

Cálculo de superficies:

Con las capas clasificadas, se calculó el área total en hectáreas o kilómetros cuadrados de zonas urbanas para cada año, utilizando las herramientas de zonificación y estadística raster de QGIS.

Elaboración de mapas temáticos:

Finalmente, se generaron mapas temáticos con los resultados de clasificación para cada año, facilitando la visualización del crecimiento urbano y la evolución espacial en la zona de estudio.

PROCESO N° 01

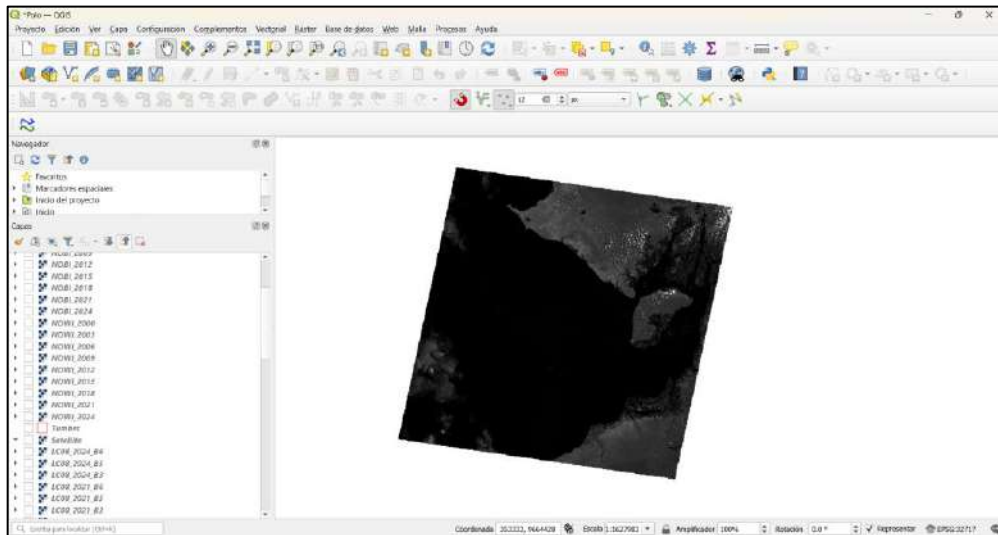


Figura 3 Insertar las imágenes satelitales al software QGIS

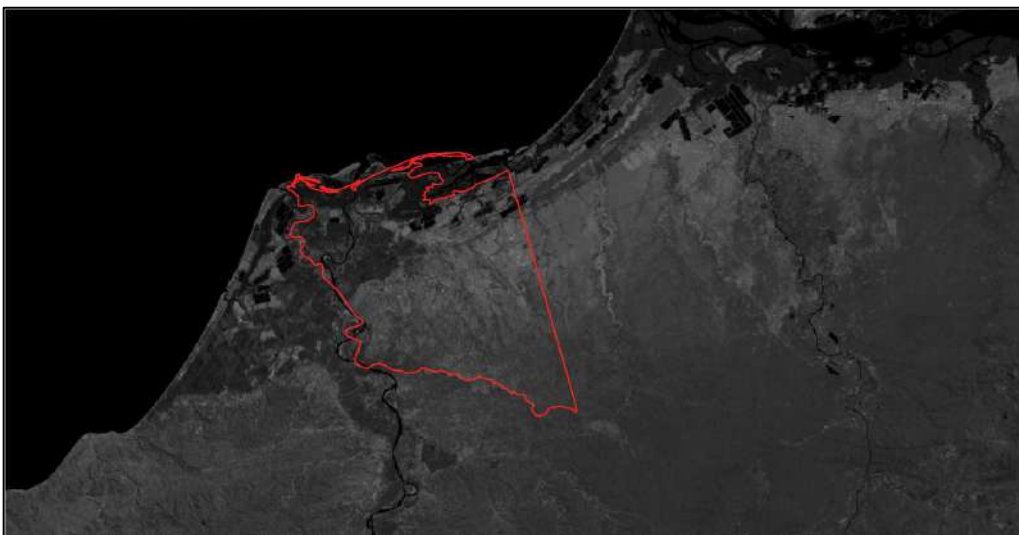
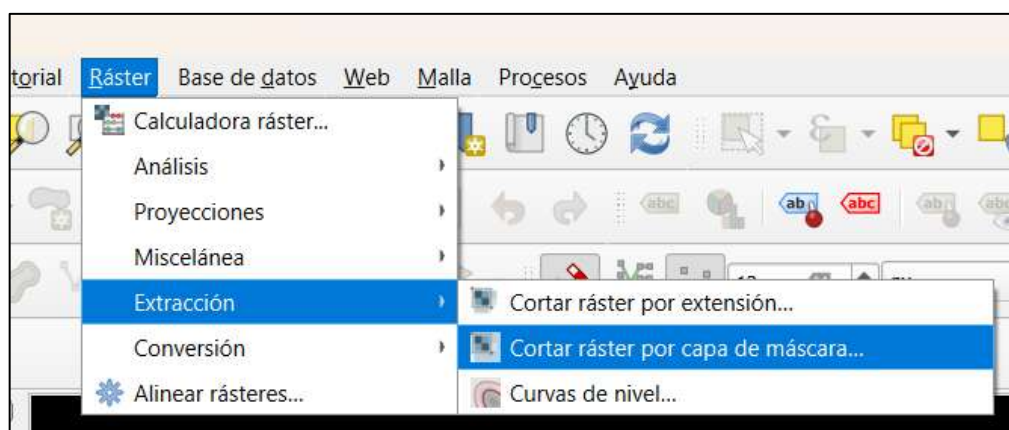


Figura 4 Insertar el shapefile de la provincia de Tumbes



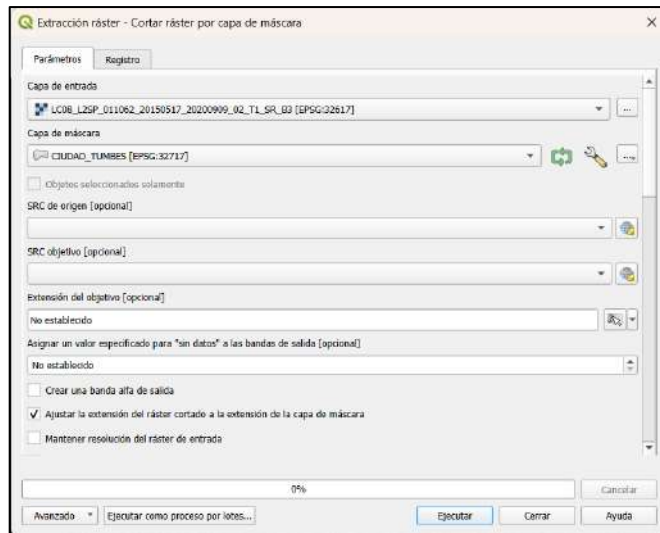


Figura 5 Cortar las imágenes satelitales por la máscara de la provincia de Tumbes

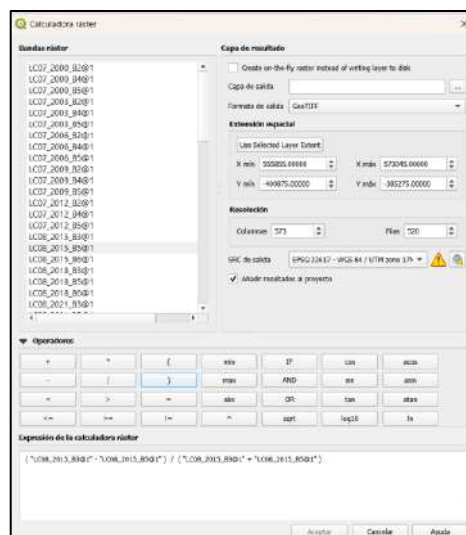
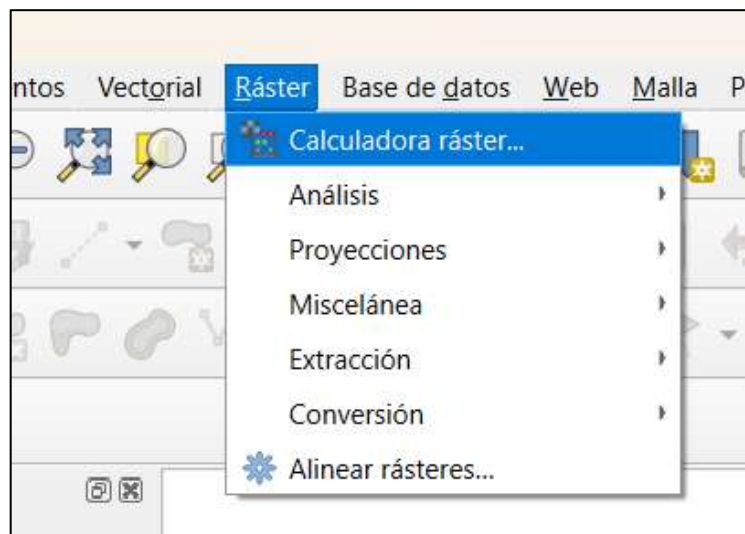
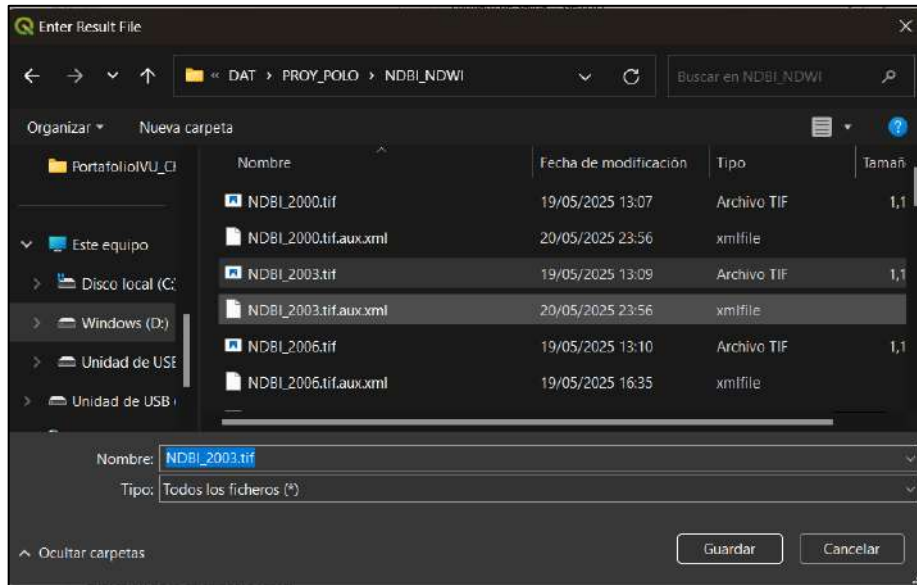


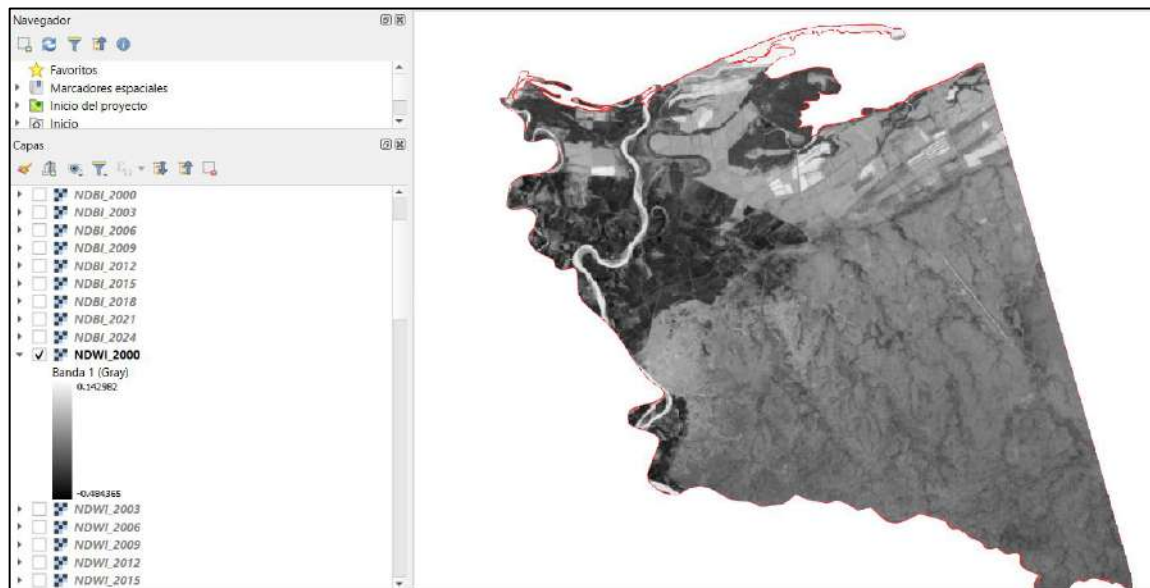
Figura 6 Calculadora Raster

Mediante la calculadora Raster, empezar a realizar los cálculos para todas la imágenes satelitales.



Colocar el nombre correspondiente, según el tipo valor y el año de análisis.

Figura 7 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2000

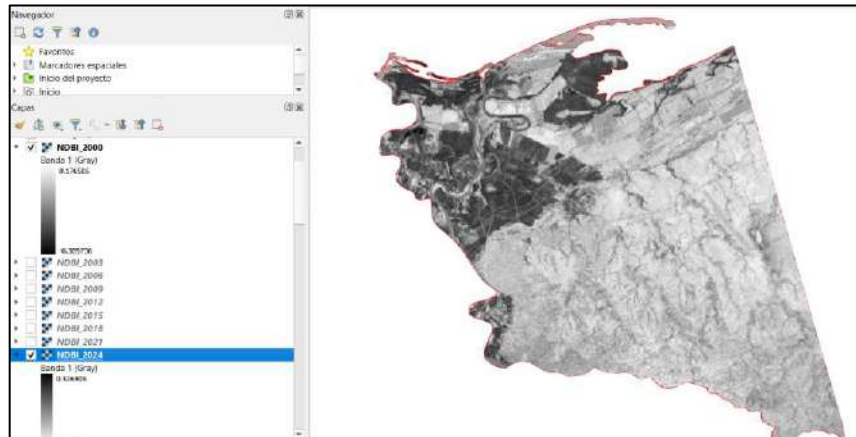


Generando todas las combinaciones y colocando sus nombres correspondientes; revisar que ambos NDBI y NDWI, sus valores varían del -1 al +1; esto indicaría que los resultados estarían de manera correcta.

ANÁLISIS DE DATOS - NDBI

Analizaremos el estudio del NDBI del año 2000 vs el año 2024

Figura 8 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024



En el análisis del 2000 varía entre (-0.389736 a 0.176505)

Los valores son correctos ya que respetan el intervalo de -1 a +1

Figura 9 Análisis de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2000

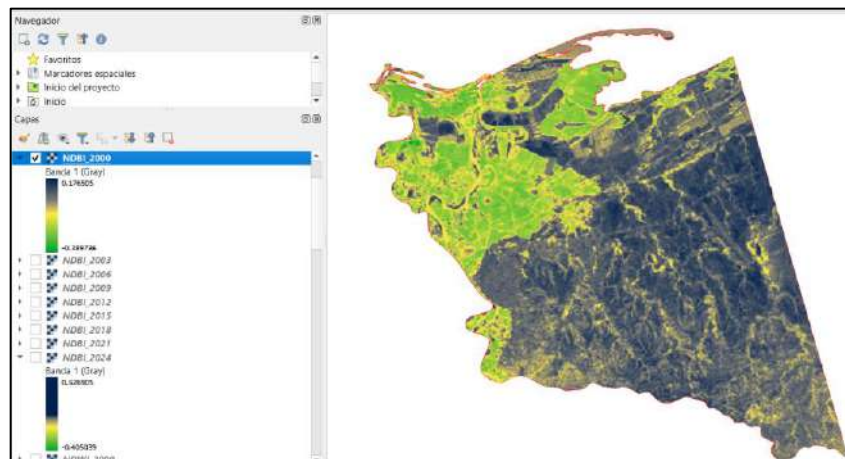
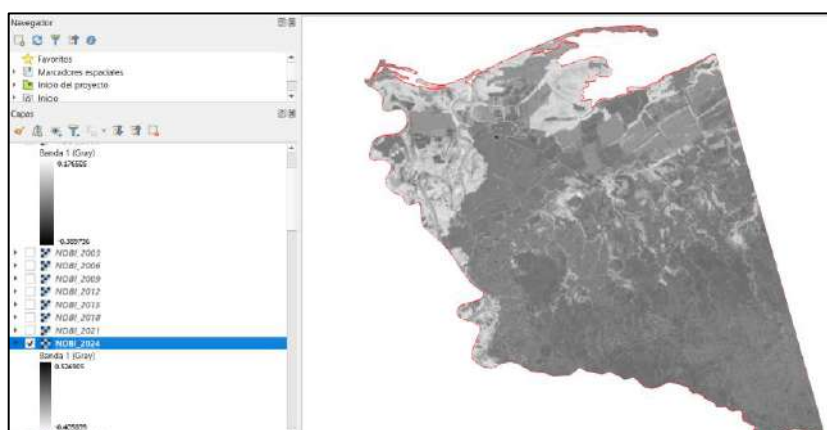


Tabla 4 Clasificación del rango NDBI – año 2000

Rango NDBI - 2000	Clasificación	Interpretación
-0.39 a -0.10	Áreas naturales	(verde) presencia de vegetación
-0.10 a 0.00	Áreas rurales	(amarillo) suelos descubiertos
0.00 a 0.10	Áreas de expansión	(plomo) casas dispersas
0.10 a 0.17	Áreas urbanas localizadas	(negro) núcleos de urbanización

Figura 10 Generación de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024



En el análisis del 2024 varía entre (-0.405039 a 0.526905)

Los valores son correctos ya que respetan el intervalo de -1 a +1

Figura 11 Análisis de Normalized Difference Built-up Index (NDBI) – año 2024



Tabla 5 Clasificación del rango NDBI – año 2024

Rango NDBI - 2024	Clasificación	Interpretación
-0.41 a -0.10	Áreas naturales	(verde) presencia de vegetación
-0.10 a 0.05	Áreas rurales	(amarillo) suelos descubiertos
0.05 a 0.25	Áreas de expansión	(plomo) casas dispersas
0.25 a 0.53	Áreas urbanas localizadas	(negro) núcleos de urbanización

Realizando observaciones realistas con imágenes satelitales de mapas y otros; se hace reconocimiento que no se detalla con exactitud los valores de interpretación en las imágenes satelitales analizadas en el software.

Lo que se puede corroborar es un caso clásico de error de sobreestimación del NDBI.

- El suelo agrícola seco (sin vegetación) tiene reflectancia alta en el SWIR, similar a superficies urbanas.
- No distingue entre concreto y ciertos suelos áridos; sólo compara SWIR vs. NIR.
- El análisis de NDBI debe combinarse con otros índices para filtrar vegetación y agua.

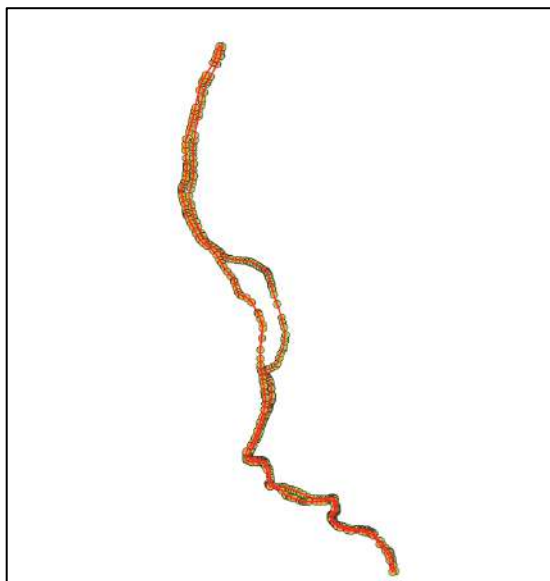
Y todo tiene solución si se ajusta el enfoque o se analiza:

- Compara cada año con Google Earth u ortofotos para ajustar umbrales.

Esto puede ayudar, pero puede tener errores en la visualización en diferentes años, más si no se ha vivido en la zona.

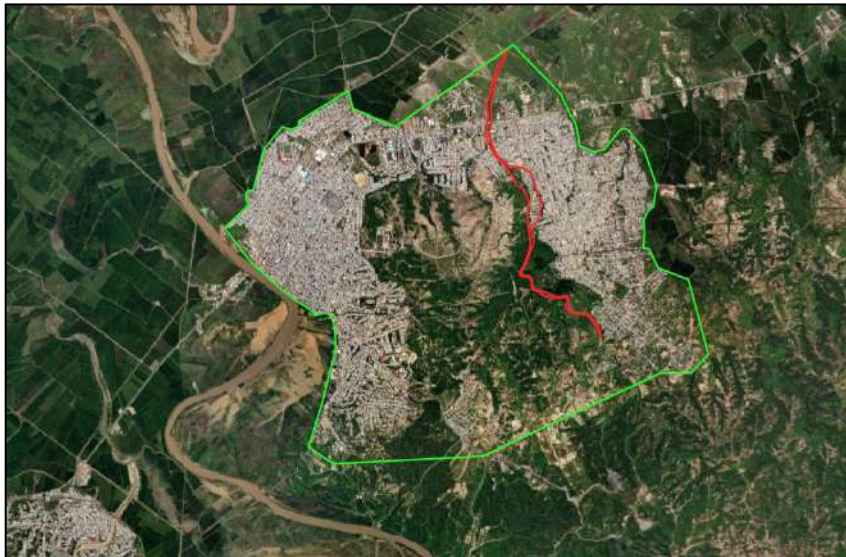
- Cortar mediante otra máscara, teniendo más detalle; mejor si se elimina las zonas agrícolas y deja la zona de estudio en un área más determinada y detallada.

Figura 12 Delimitación del contorno de la subcuenca Pedregal.



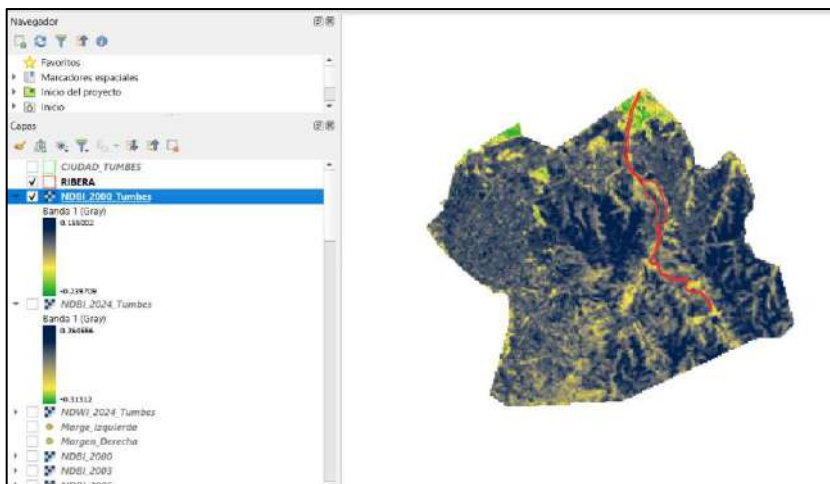
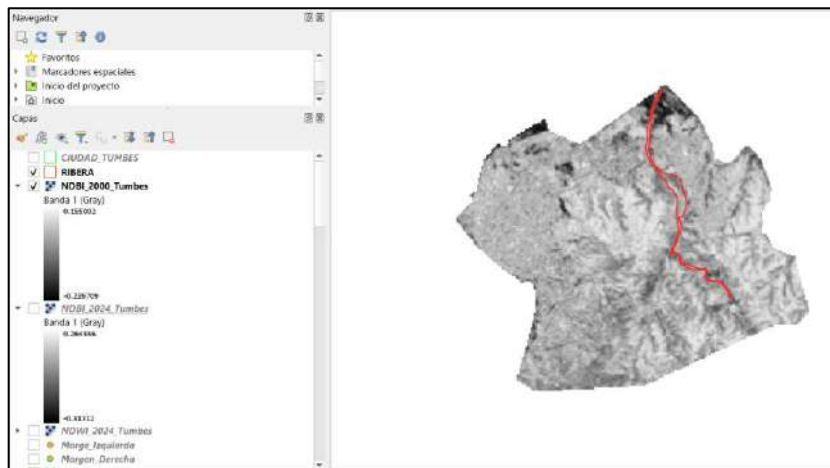
La imagen representa los puntos obtenidos por la ANA (Autoridad Nacional del Agua) en el año 2024, lo cual es un dato respaldado y validado para el estudio.

Figura 13 Zona y subcuena de estudio a analizar



La imagen muestra el área a recortar, conteniendo dentro la zona de estudio a analizar.

Figura 14 Generación y Análisis del índice NDBI – año 2000

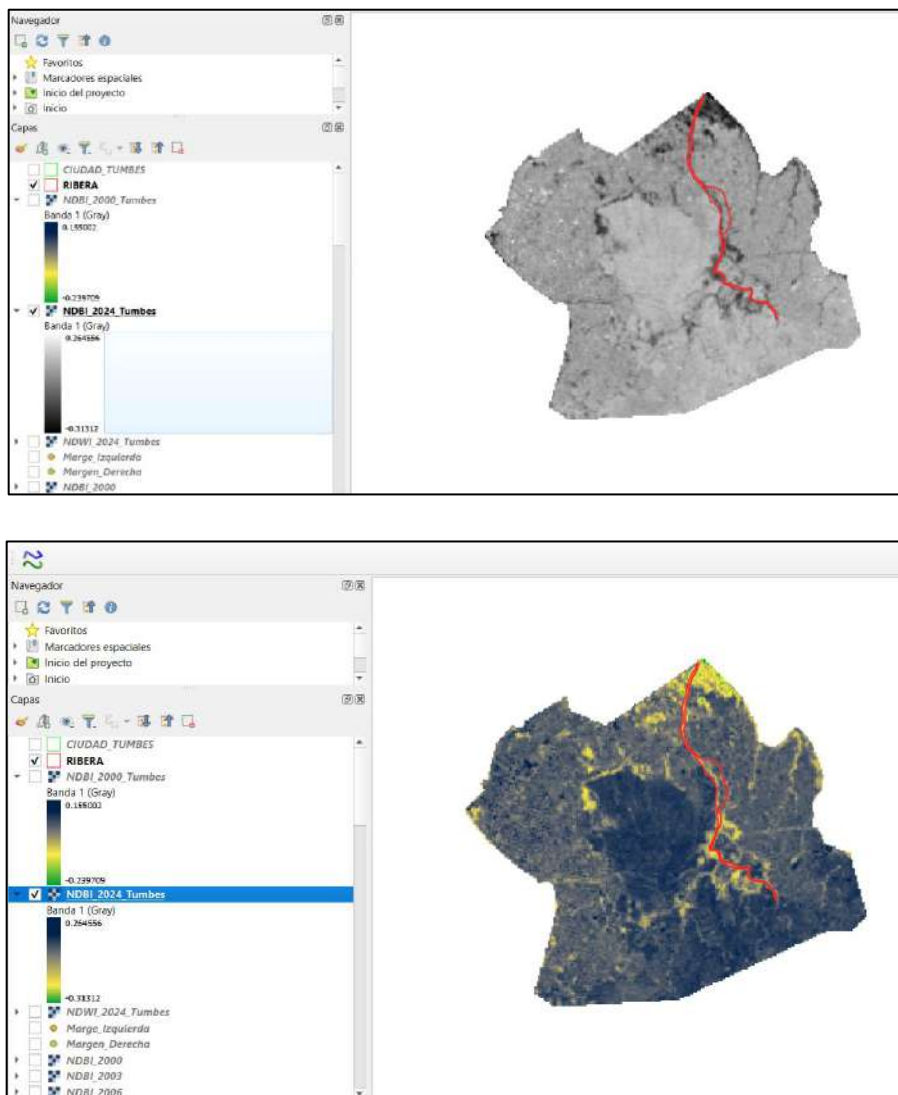


En el análisis del 2000 varía entre (-0.239709 a 0.155002)

Tabla 6 Clasificación del rango NDBI – año 2000

Rango NDBI - 2000	Clasificación	Interpretación
-0.24 a -0.10	Áreas naturales	(verde) presencia de vegetación
-0.10 a 0.00	Áreas en transición	(amarillo) suelos descubiertos
0.00 a 0.10	Áreas semiurbanas	(plomo) zonas en crecimiento
0.10 a 0.15	Áreas urbanas localizadas	(negro) núcleos de urbanización

Figura 15 Generación y Análisis del índice NDBI – año 2024



En el análisis del 2024 varía entre (-0.31312 a 0.264556)

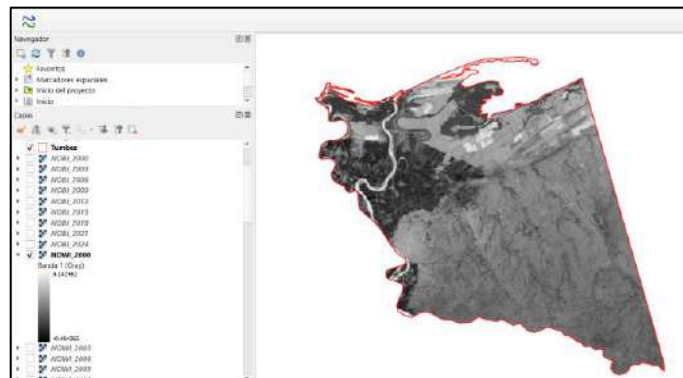
Tabla 7 Clasificación del rango NDBI – año 2024

Rango NDBI - 2024	Clasificación	Interpretación
-0.31 a -0.20	Áreas naturales	(verde) presencia de vegetación
-0.20 a 0.00	Áreas de transición	(amarillo) zonas de expansión
0.00 a 0.15	Áreas semiurbanas	(plomo) barrios nuevos
0.15 a 0.26	Áreas de núcleos densos	(negro) núcleos de urbanización

En 2024, se observa un aumento en el valor máximo del NDBI, indicando un crecimiento urbano notable respecto al año 2000. Aparecen áreas densamente construidas que no existían en el análisis anterior.

ANÁLISIS DE DATOS - NDWI

Figura 16 Analizaremos el estudio del NDWI del año 2000 vs el año 2024



En el análisis del 2000 varía entre (-0.484365 a 0.142982)

Los valores son correctos ya que respetan el intervalo de -1 a +1

Figura 17 Interpretación de valores de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2000

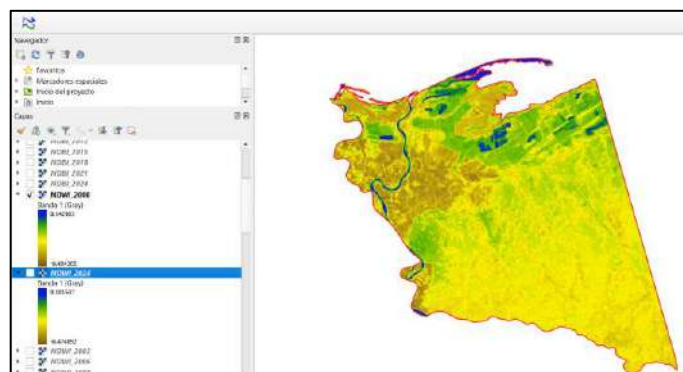
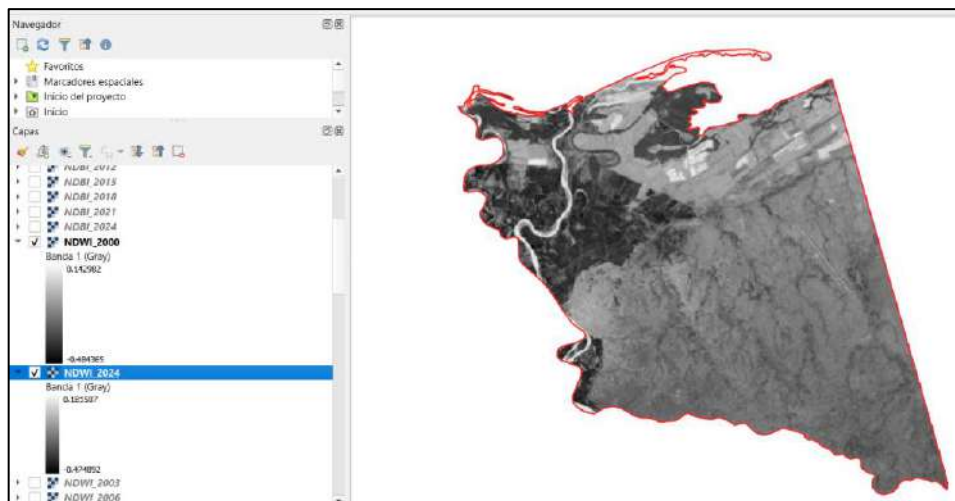


Tabla 8 Clasificación de rango NDWI – año 2000

Rango NDWI - 2000	Clasificación	Interpretación
-0.48 a -0.20	Suelos secos	(marrón) Áreas construidas
-0.20 a 0.00	Presencia de vegetación	(amarillo) Poca vegetación
0.00 a 0.08	Zonas de alta Evaporación	(verde) Chacras, canales
0.08 a 0.14	Agua superficial visible	(negro) Cuerpos de agua

Figura 18 Generación de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2024



En el análisis del 2024 varía entre (-0.474892 a 0.181507)

Los valores son correctos ya que respetan el intervalo de -1 a +1

Figura 19 Análisis de Normalized Difference Water Index (NDWI) – año 2024

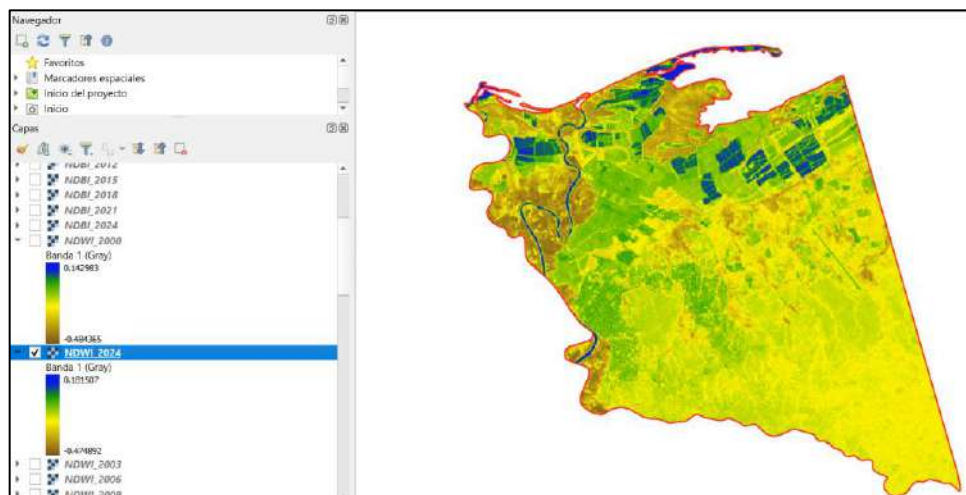


Tabla 9 clasificación de rango NDWI – año 2024

Rango NDWI - 2024	Clasificación	Interpretación
-0.47 a -0.20	Suelos secos	(marron) Áreas construidas
-0.20 a 0.00	Presencia de vegetación	(amarillo) Poca vegetación
0.00 a 0.10	Zonas de alta Evaporación	(verde) Chacras, canales
0.10 a 0.18	Agua superficial visible	(negro) Cuerpos de agua

Realizando observaciones realistas con imágenes satelitales de mapas y otros; se hace reconocimiento que no se detalla con exactitud los valores de interpretación en las imágenes satelitales analizadas en el software.

Lo que se puede corroborar es un caso clásico de error de sobreestimación del NDWI.

- Poca resolución radiométrica o atmosférica en Landsat 8 y Landsat 7.
- Urbanización acompañada de obras hidráulicas (parques con lagunas, reservorios).
- Algunas superficies de concreto (techos reflectantes o suelos pulidos) pueden generar falsos valores positivos de NDWI si no se filtran adecuadamente.
- Algunas superficies pueden generar falsos valores positivos de NDWI si hubo tiempo de lluvia.

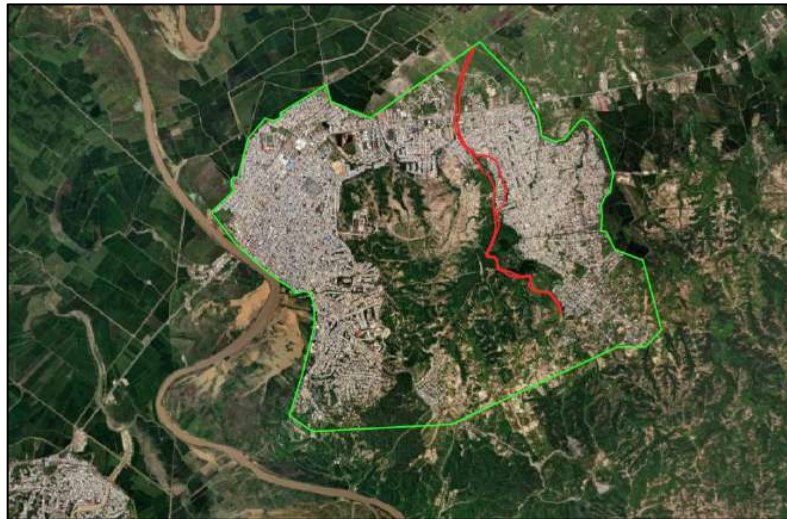
Y todo tiene solución si se ajusta el enfoque o se analiza:

- Compara cada año con Google Earth u ortofotos para ajustar umbrales.

Esto puede ayudar, pero puede tener errores en la visualización en diferentes años, más si no se ha vivido en la zona.

- Cortar mediante otra máscara, teniendo más detalle; mejor si se elimina las zonas agrícolas y deja la zona de estudio en un área más determinada y detallada.

Figura 20 Área y subcuenca de estudio a analizar



La imagen muestra el área a recortar, conteniendo dentro la zona de estudio a analizar.

Figura 21 Generación del índice NDWI – año 2000

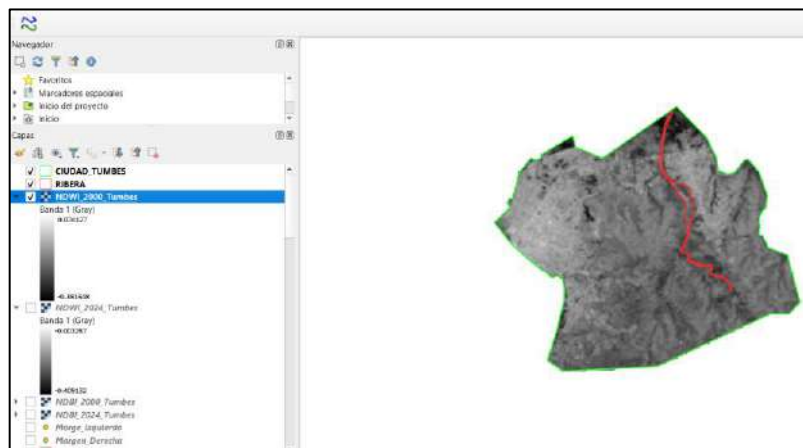


Figura 22 Análisis del índice NDWI – año 2000



En el análisis del 2000 varía entre (-0.381548 a 0.074127)

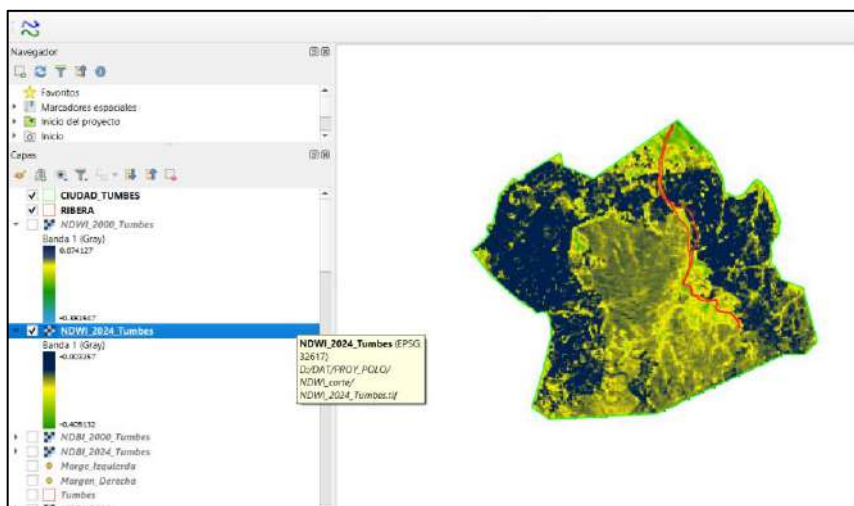
Tabla 10 Clasificación de rango NDWI - 2000

Rango NDWI - 2000	Clasificación	Interpretación
-0.38 a -0.20	Superficie seca	(negro) concreto y calles
-0.20 a 0.05	Vegetación seca	(amarillo) campos urbanos
0.05 a 0.00	Vegetación húmeda	(verde) puntos de humedad, riego
0.00 a 0.07	Agua superficial	(celeste) quebradas

Figura 23 Generación del índice NDBI – año 2024



Figura 24 Análisis del índice NDBI – año 2024



En el análisis del 2024 varía entre (-0.409132 a -0.003257)

Tabla 11 clasificación del rango NDBI - 2024

Rango NDBI - 2024	Clasificación	Interpretación
-0.41 a -0.20	Superficie construida	(negro) concreto y calles
-0.20 a -0.10	Superficie seca	(amarillo) campos urbanos
-0.10 a -0.003	Vegetación húmeda	(verde) puntos de humedad, riego

En 2024, se observa una disminución en los valores del NDWI, indicando un crecimiento urbano notable respecto al año 2000, se sugiere una disminución en la permanencia de los cuerpos de agua superficiales. Aparecen áreas densamente urbanizadas, lo cual ayuda al análisis del NDBI a detectar mejor las zonas urbanizadas.

MATRIZ DE CLASIFICACIÓN COMBINADA

Interpretación cruzada para imágenes Landsat en análisis multitemporal (2000 y 2024)

Tabla 12 Matriz de clasificación combinada

Categoría	NDWI	NDBI	Descripción
Zona urbana seca	< -0.2	> 0.1	Áreas construidas, pavimento, techos, calles sin humedad superficial.
Zona urbana húmeda	-0.2 a 0.0	> 0.1	Calles con riego, veredas mojadas, techos con agua estancada.
Área agrícola húmeda / riego	0.0 a 0.1	-0.1 a 0.1	Suelos con vegetación o cultivos con riego reciente o humedad intermedia.
Zona agrícola / vegetación seca	-0.2 a 0.0	-0.1 a 0.1	Vegetación sin riego, campos en descanso, áreas verdes no saturadas.
Cuerpos de agua claros	> 0.1	< 0.0	Canales, ríos, quebradas, lagunas con presencia de agua visible.
Suelos desnudos / áreas en transición	-0.2 a 0.0	-0.1 a 0.1	Áreas entre lo urbano y agrícola; posibles futuras zonas urbanizadas.

APLICACIÓN DE LOS DATOS

Año 2000:

NDWI: -0.3815 a 0.0741

NDBI: -0.2397 a 0.1550

Se detectan algunas zonas con valores positivos de NDWI, indicando presencia marginal de agua, combinada con valores bajos a medios de NDBI.

Conclusión:

- Se identifican zonas urbanas en crecimiento incipiente.
- Posiblemente existen zonas agrícolas húmedas cerca de cuerpos de agua estacionales o canales.

Año 2024:

NDWI: -0.4091 a -0.0033

NDBI: -0.3131 a 0.2646

El NDWI no alcanza valores positivos, mientras que el NDBI sí tiene valores más elevados.

Conclusión:

- El área analizada está altamente urbanizada y seca.
- Disminución significativa de agua superficial detectable.
- Posible impermeabilización del suelo o pérdida de áreas verdes húmedas.

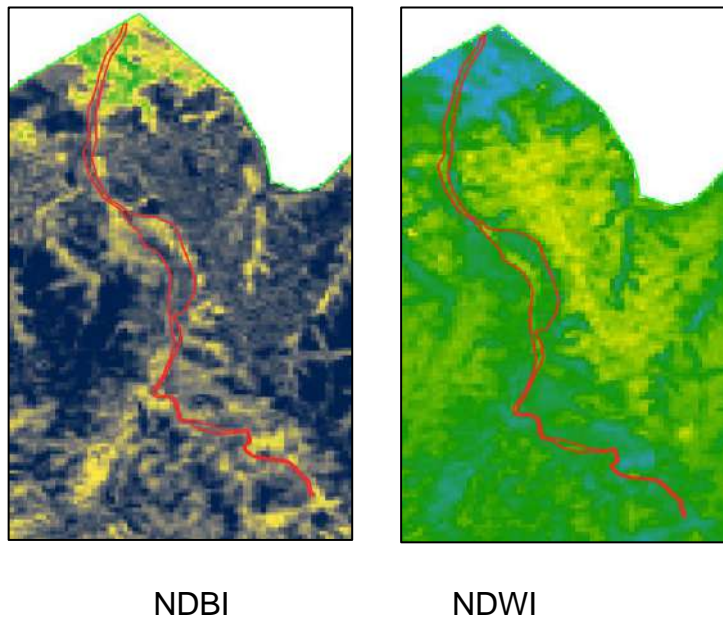
RECOMENDACIONES

- Representa la clasificación en mapas por clases usando la tabla (tabla 12).
- Añade una capa de validación con imágenes de alta resolución (Google Earth o Sentinel-2).
- Crea una tabla de cambio de uso de suelo basada en esta matriz (ej. de agrícola húmedo a urbano seco).

CONCLUSIÓN

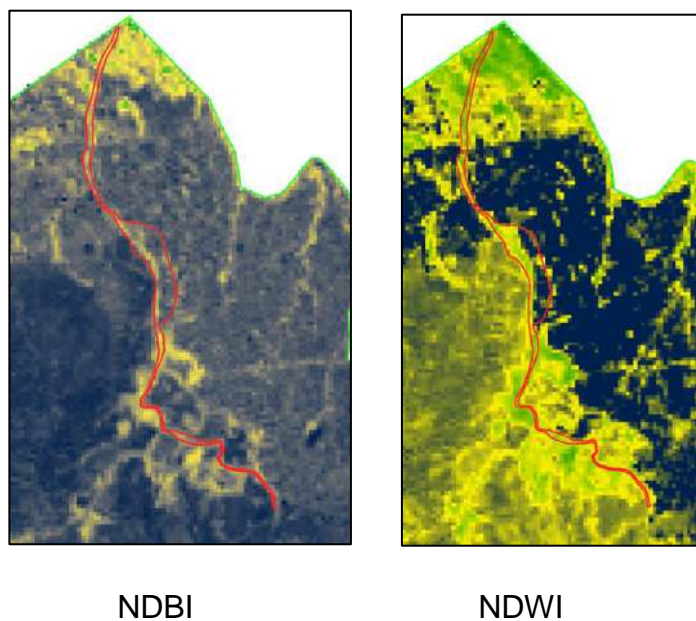
Para el 2000 y 2024:

Figura 25 Análisis de índices - NDBI y NDWI, año 2000



No se muestra presencia población ni urbana, dejando la faja marginal libre.

Figura 26 Análisis de índices - NDBI y NDWI, año 2024



Se muestra presencia población urbana dentro de la faja marginal, obstaculizando el trayecto de la faja marginal. Proporcionando un peligro en épocas de máximas avenidas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas.

Se ha determinado el límite superior de la ribera utilizando el método de huellas máximas, como se describe en el objetivo específico de la investigación. El enfoque metodológico se basó en la identificación de las huellas máximas a partir de imágenes satelitales, lo cual permitió trazar de manera precisa las marcas dejadas por las aguas durante el periodo de máxima creciente. Este proceso no solo se sustentó en la observación de las imágenes satelitales, sino que también se complementó con un trabajo de campo en el que se ajustaron y verificaron las huellas máximas, lo que brindó una mayor precisión en la determinación de las coordenadas y altitudes necesarias.

El uso de un software GIS para trabajar con los datos vectoriales resultó ser una herramienta adecuada para la manipulación y análisis de la información espacial, facilitando la generación de los datos planimétricos necesarios para la posterior definición del límite superior de la ribera. Esto contribuyó a la obtención de coordenadas precisas y la realización del dimensionamiento de la faja marginal.

Los resultados obtenidos coinciden con la hipótesis planteada, en la que se planteaba que era posible determinar el límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas. Esta metodología, al combinar el análisis remoto con la validación en campo, demuestra ser una herramienta efectiva y precisa para el monitoreo de cambios en las márgenes de los cuerpos de agua, lo que tiene implicaciones directas en la gestión del entorno fluvial y en la toma de decisiones en cuanto a la planificación territorial y la protección de los ecosistemas ribereños.

4.2. Determinación de las fajas marginales del cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal

La delimitación de las fajas marginales del cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal, siguiendo los lineamientos establecidos en el objetivo específico de la investigación. La hipótesis planteada, que indicaba que sería posible delimitar las fajas marginales en el cauce principal, fue corroborada a lo largo del proceso metodológico, en el cual se tomaron en cuenta tanto los aspectos normativos como las condiciones locales del área de estudio.

El procedimiento empleado para la delimitación de las fajas marginales incluyó la aplicación del criterio de ancho mínimo estipulado en el Artículo 12° del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, que establece un ancho mínimo de 10 metros para cuerpos de agua con pendientes inferiores al 1% y riberas desprotegidas, como es el caso del tramo estudiado. Este criterio normativo fue validado mediante la verificación de campo, lo que permitió asegurar la fiabilidad de los datos obtenidos.

El trabajo de campo y la utilización de las coordenadas geográficas y altitudes de los vértices de delimitación fueron fundamentales para llevar a cabo una delimitación precisa. En total, se establecieron 269 vértices para la margen derecha y 178 vértices para la margen izquierda, correspondientes a la faja marginal, y 277 vértices en la margen derecha y 180 vértices en la margen izquierda para el límite superior de la ribera (huella máxima). Estos puntos de referencia fueron procesados mediante herramientas GIS para obtener la delimitación precisa de las fajas marginales y su comparación con los límites establecidos por la normativa.

Los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada inicialmente, ya que la delimitación de las fajas marginales en el cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal fue posible gracias a la combinación de la metodología normativa, la verificación de campo y el uso de tecnología GIS. Este procedimiento demuestra que es factible y efectivo delimitar las fajas marginales de acuerdo con los criterios técnicos y legales vigentes, lo que tiene implicaciones importantes para la gestión sostenible del recurso hídrico en la subcuenca y la protección de sus ecosistemas ribereños.

4.3. Análisis multitemporal de la invasión del área urbana en las fajas marginales de la Quebrada Pedregal.

El análisis multitemporal de la invasión urbana en las fajas marginales de la Quebrada Pedregal se realizó mediante la interpretación de imágenes satelitales en el software Google Earth Pro. Se compararon imágenes de los años 2000, 2005, 2010, 2015, 2020 y 2024 y la interpretación de imágenes satelitales con Landsat 7 y 8 en el software Qgis durante los años 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 y 2024, identificando cambios en la cobertura del suelo y el avance de construcciones dentro de las fajas marginales.

Los resultados evidencian un incremento progresivo en la ocupación urbana dentro de estas zonas protegidas. En el año 2000, la invasión urbana en las fajas marginales era mínima, y en 2024, el área invadida ascendió a 12.44 hectáreas, lo que representa un aumento significativo.

Los resultados confirman la hipótesis específica planteada, ya que la invasión del área urbana en las fajas marginales ha aumentado a lo largo de los años. El crecimiento urbano acelerado en la subcuenca de la Quebrada Pedregal ha generado una presión constante sobre estos espacios, lo que podría derivar en impactos ambientales y riesgos ante eventos hidrometeorológicos.

ANALIZANDO EL NDWI

Clasificación y Simbología del NDWI para el Análisis del Crecimiento Urbano

En el marco del presente estudio se ha considerado pertinente incluir el cálculo y análisis del Índice de Diferencia Normalizada de Agua (NDWI) con el objetivo de complementar la interpretación de la expansión de la huella urbana con la evolución de zonas húmedas o presencia de cuerpos de agua dentro y alrededor del área urbanizada.

Los valores de NDWI procesados para el área recortada específica muestran una tendencia general de valores negativos dominantes (zonas secas/urbanas) y algunos valores positivos bajos (agua marginal o zonas húmedas).

Rangos observados:

- ✓ 2000: -0.381548 a 0.074127
- ✓ 2003: -0.416127 a 0.019491
- ✓ 2006: -0.342904 a -0.026206
- ✓ 2009: -0.40597 a 0.079595
- ✓ 2012: -0.357237 a 0.033318
- ✓ 2015: -0.462863 a 0.034257
- ✓ 2018: -0.446601 a 0.022687
- ✓ 2021: -0.44873 a 0.022582
- ✓ 2024: -0.409132 a -0.003257

Este índice resulta clave para diferenciar zonas de suelo húmedo, canales, charcas o quebradas activas frente a sectores secos o completamente urbanizados, lo cual permite reforzar la interpretación de la dinámica urbano-ambiental, especialmente en sectores donde la expansión de infraestructura puede invadir áreas tradicionalmente húmedas o ribereñas.

Para garantizar la coherencia temporal y la comparabilidad de los resultados, se estableció una clasificación estandarizada del NDWI basada en el rango total de valores observados en las imágenes Landsat (7 y 8) de los años 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 y 2024, descargadas de la base de datos del USGS.

Tabla 13 Clasificación y significado de categorización

Categoría revisada	Significado local en Tumbes
Muy seco	Terreno despoblado, sin vegetación, sin infraestructura ni humedad retenida (arenal, suelo pelado).
Seco	Áreas agrícolas abandonadas, suelo expuesto, zonas de baja vegetación o infraestructura dispersa con mal drenaje.
Semi-húmedo	Zonas urbanas y periurbanas con vegetación dispersa y humedad moderada por drenaje deficiente (barrios, parques, avenidas).
Alta humedad / Agua	Cuerpos de agua naturales (quebradas, canales, charcos), zonas inundables o con saturación de agua.

Esta categorización permite evaluar no solo la extensión de la mancha urbana, sino también su relación con la dinámica hídrica de la zona de estudio, identificando potenciales conflictos de uso de suelo entre el crecimiento urbano y las zonas húmedas remanentes, especialmente en torno a la quebrada Pedregal y áreas ribereñas cercanas.

Para la representación cartográfica en los mapas multitemporales, se aplicó la simbología de forma uniforme en todos los periodos, de modo que la comparación interanual sea precisa y permita identificar cambios tanto en la extensión de la urbanización como en la reducción o permanencia de cuerpos de agua superficiales.

Tabla 14 Categorización y significado de colores utilizados en QGIS

Categoría	Color	HEX
Muy seco	Gris claro	#D3D3D3
Seco	Amarillo claro	#FFFF99
Semi-húmedo	Verde claro	#90EE90
Alta humedad / Agua	Azul intenso	#0000FF

El NDWI en Tumbes debe interpretarse considerando su clima tropical-húmedo y su deficiente infraestructura de drenaje. Por tanto, NDWI bajo no siempre implica urbanización, sino también suelo desnudo o bajo uso agrícola. Los rangos medios revelan la humedad retenida en zonas urbanas, y los valores altos indican cuerpos de agua o zonas inundadas.

Tabla 15 Interpretación específica de colores utilizados en QGIS.

Categoría	Rango NDWI	Interpretación específica	Color sugerido	Código HEX
Muy seco	-0.50 a -0.30	Terreno desnudo o sin uso, arenales o lotes sin vegetación ni infraestructura.	Gris claro	#D3D3D3
Seco	-0.30 a -0.10	Áreas agrícolas poco activas o parcelas con poca cobertura vegetal.	Amarillo pálido	#FFFF99
Semi-húmedo	-0.10 a 0.00	Áreas urbanas con vegetación dispersa, calles con humedad retenida por drenaje deficiente.	Verde claro	#90EE90
Alta humedad / Agua	0.00 a 0.10	Cuerpos de agua, zonas inundables, charcos o canales visibles.	Azul brillante	#0000FF

Imagen 17 Mapa de NDWI - AÑO 2000

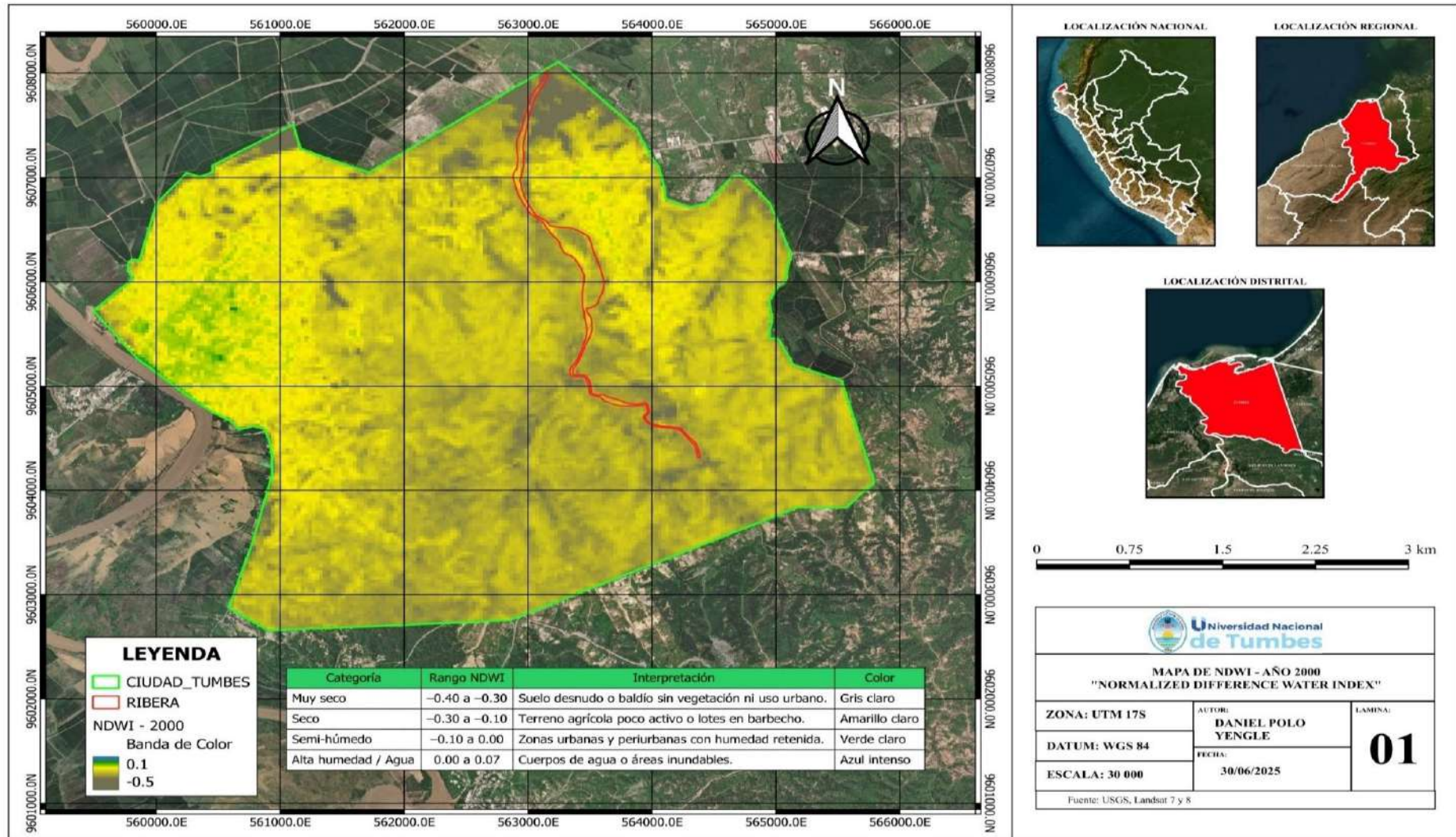


Imagen 18 Mapa de NDWI - AÑO 2003

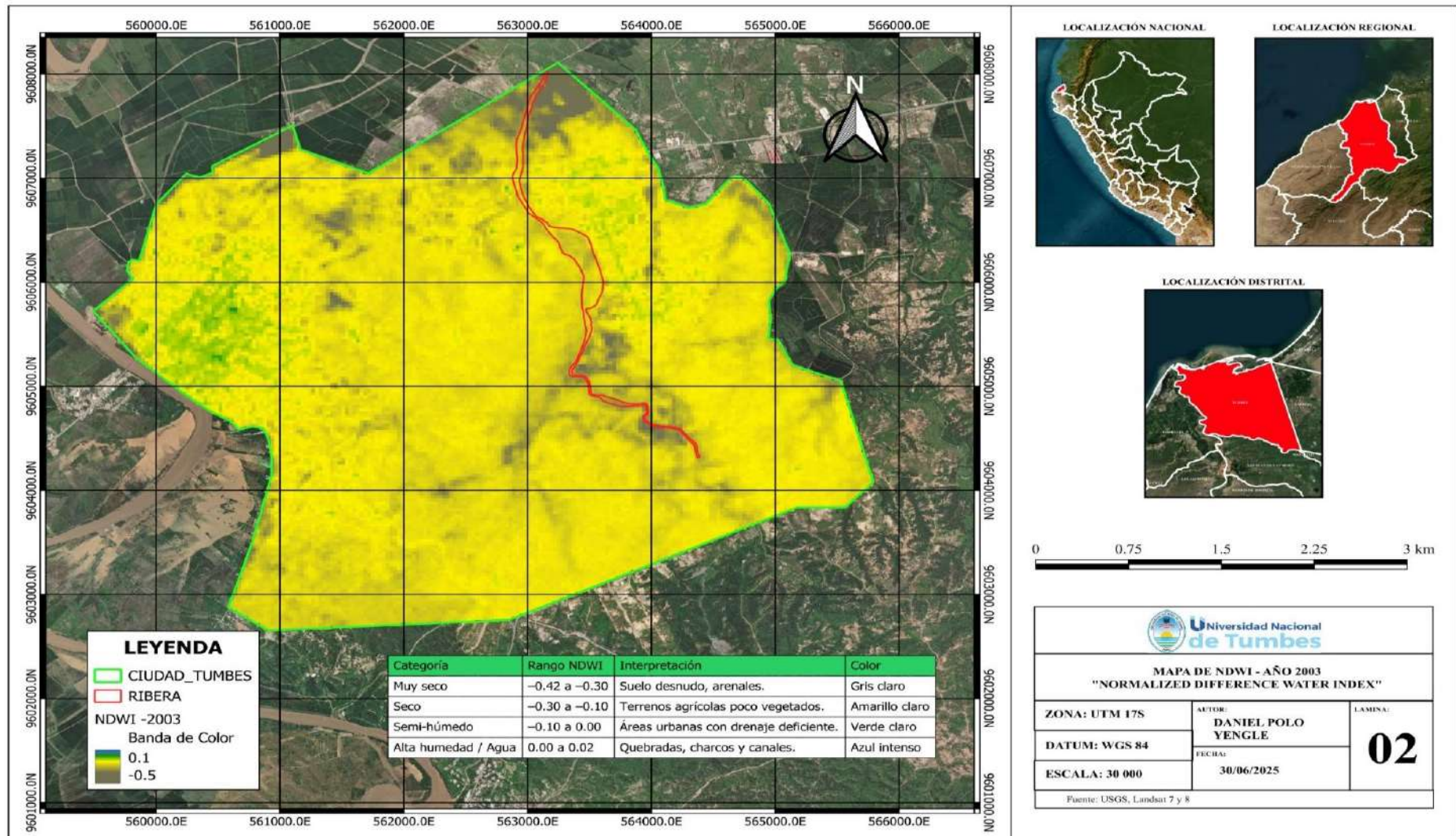


Imagen 19 Mapa de NDWI - AÑO 2006

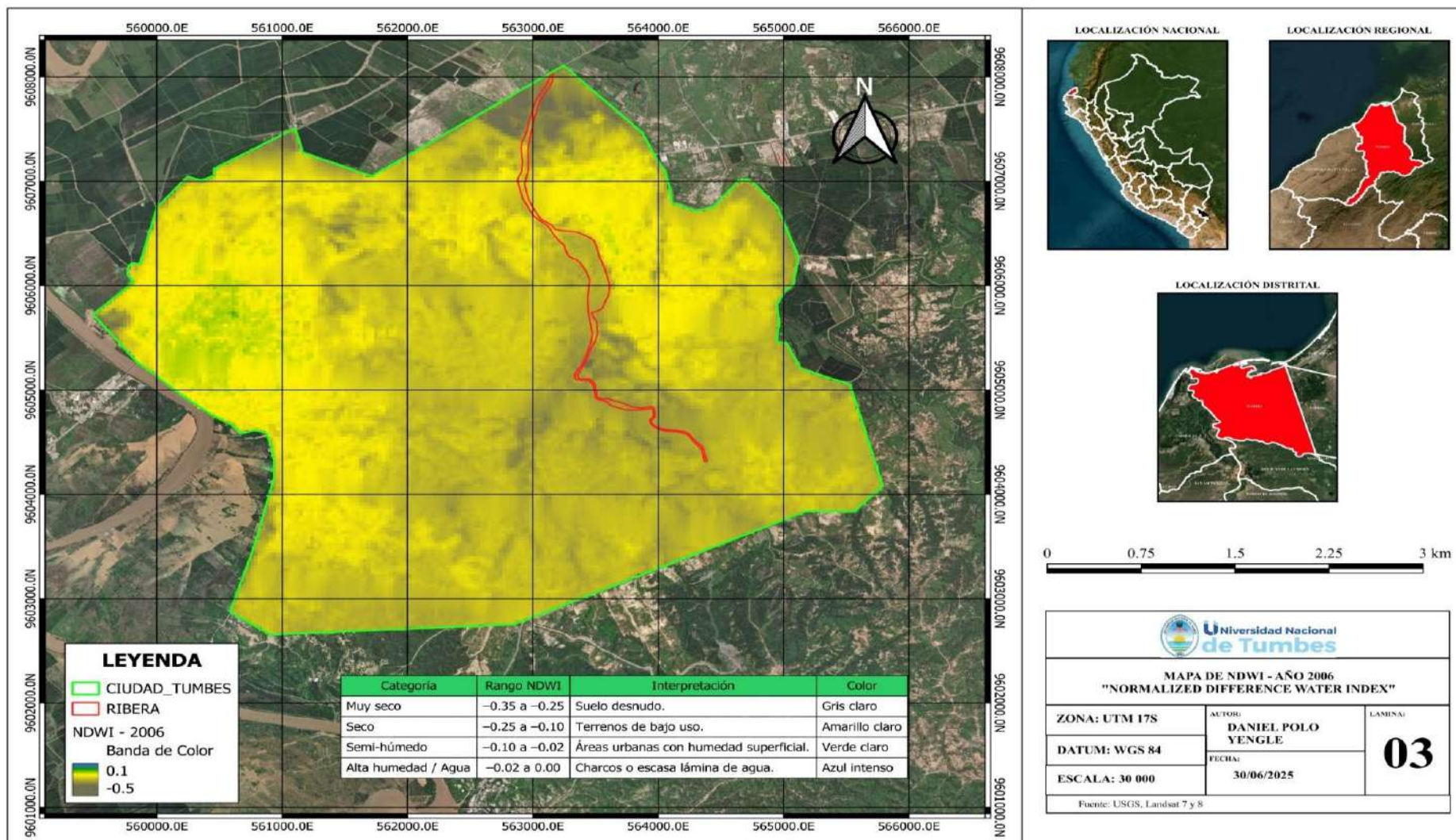


Imagen 20 Mapa de NDWI - AÑO 2009

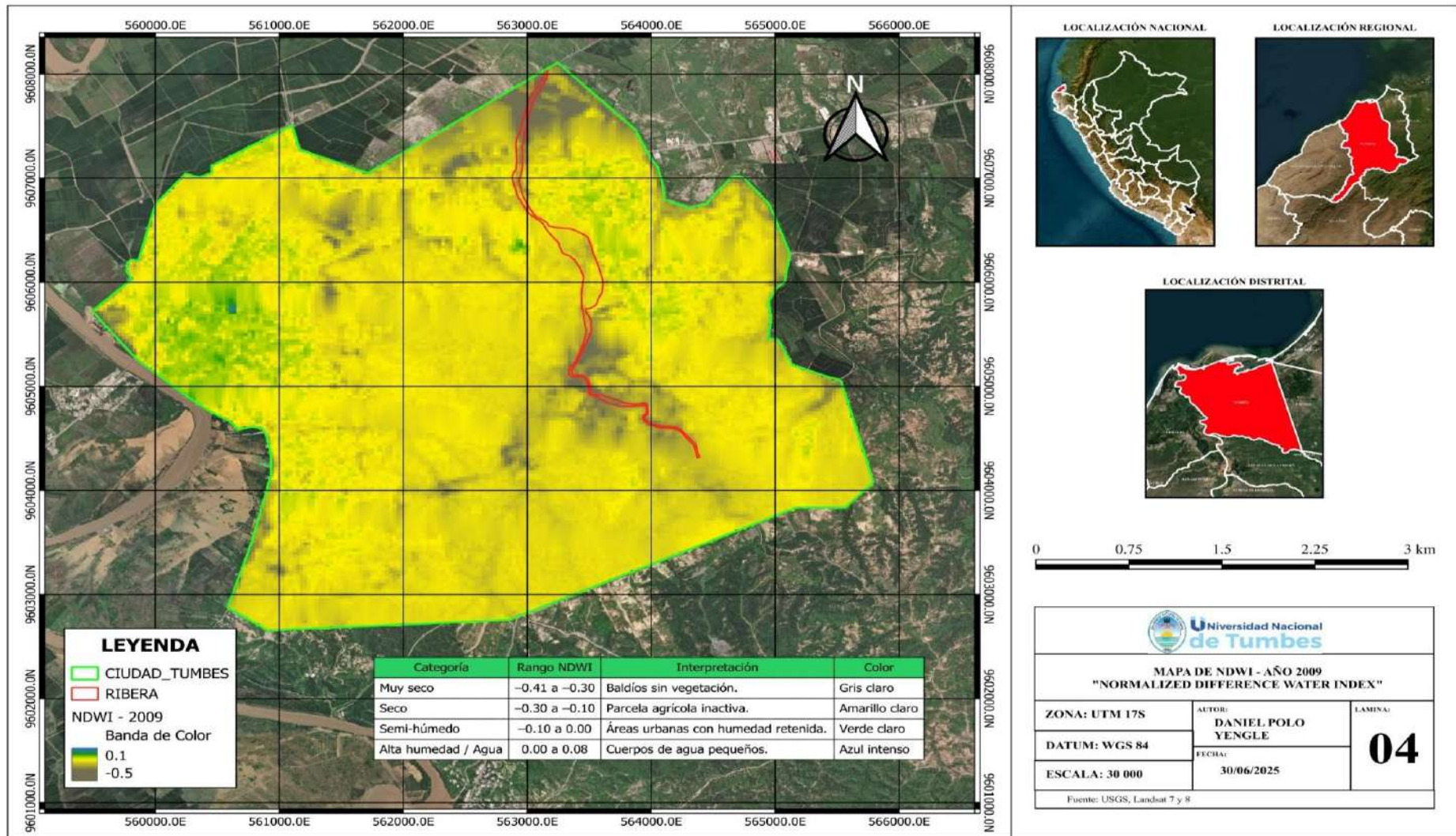


Imagen 21 Mapa de NDWI - AÑO 2012

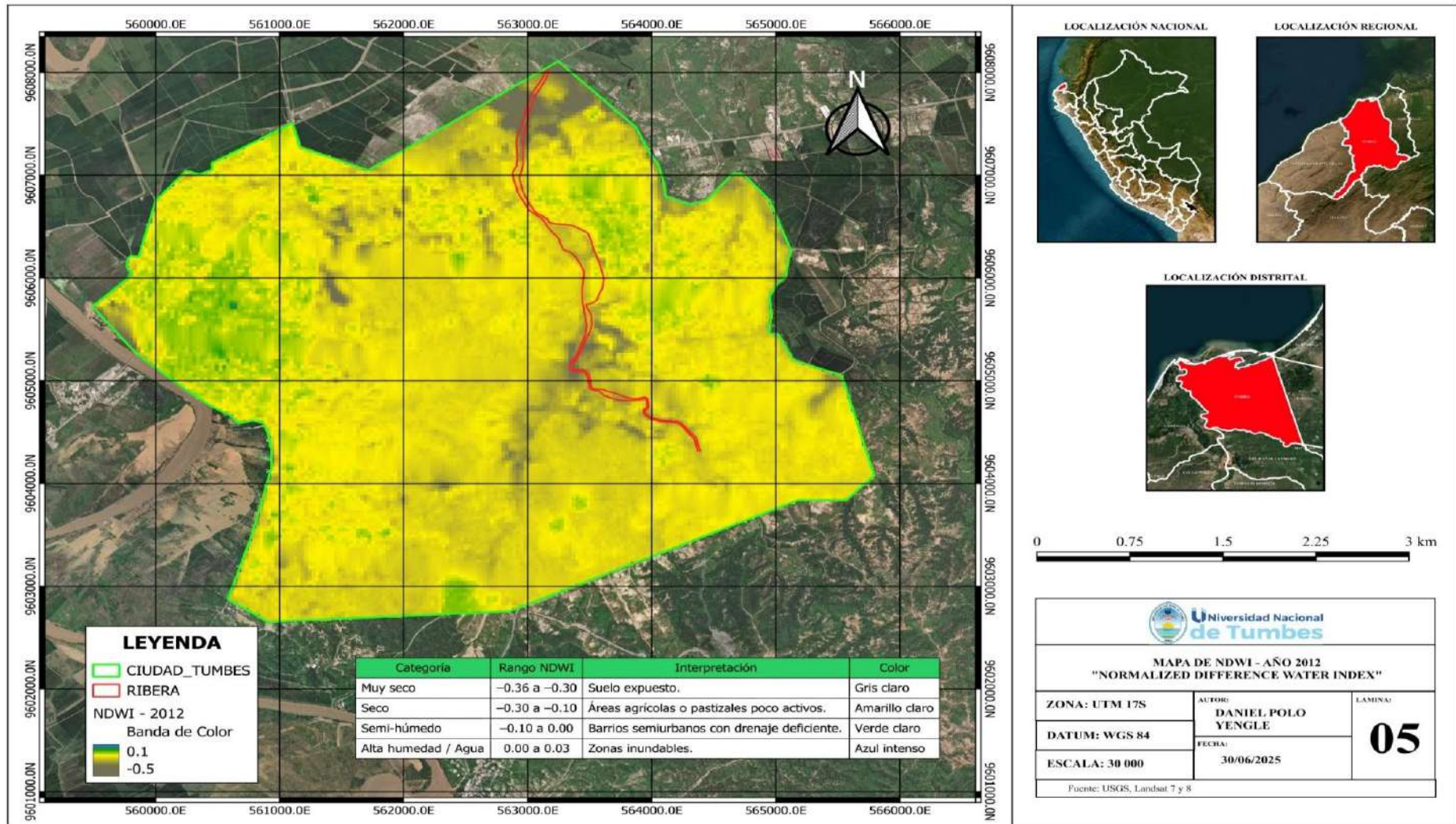


Imagen 22 Mapa de NDWI - AÑO 2015

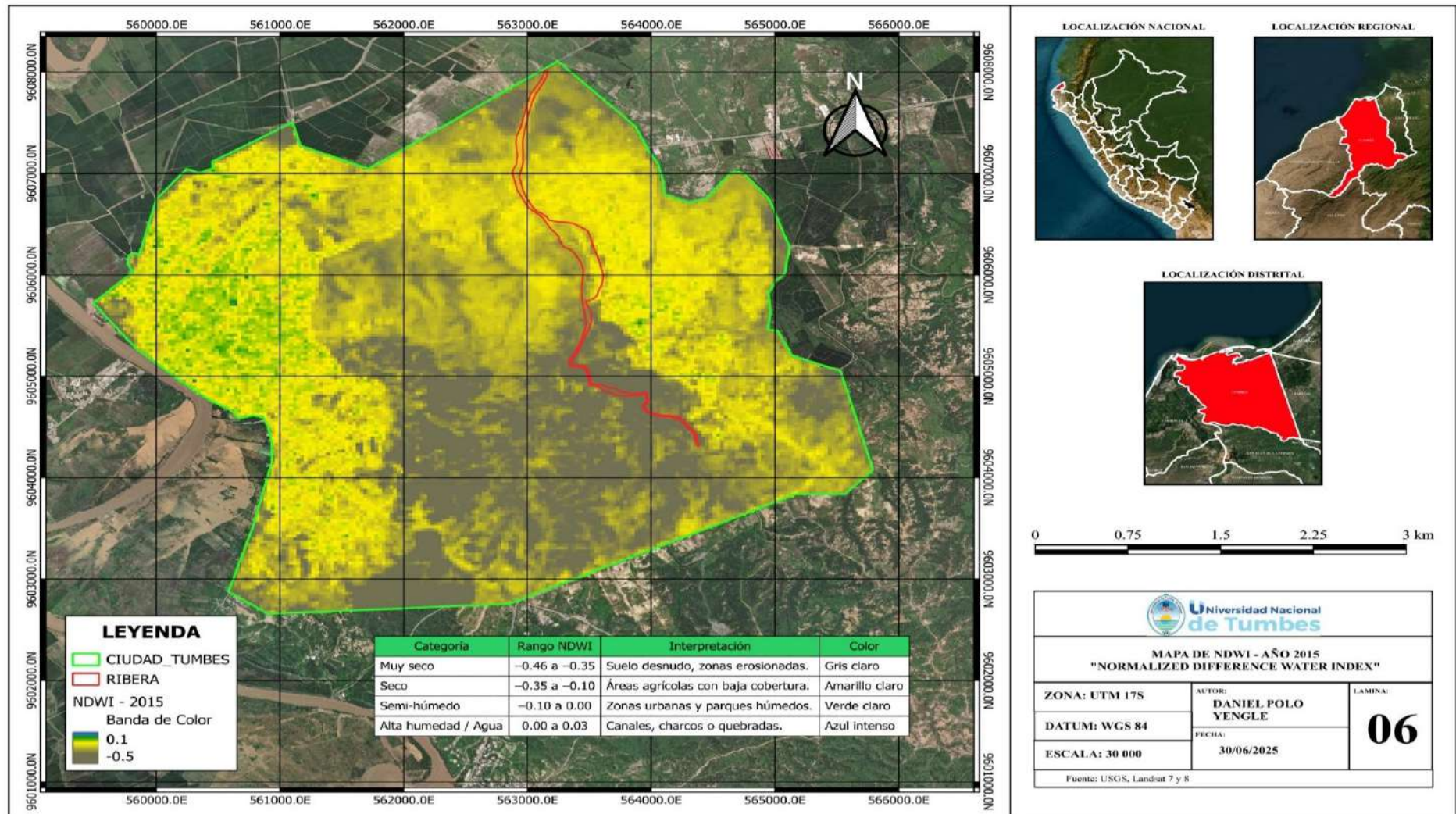


Imagen 23 Mapa de NDWI - AÑO 2018

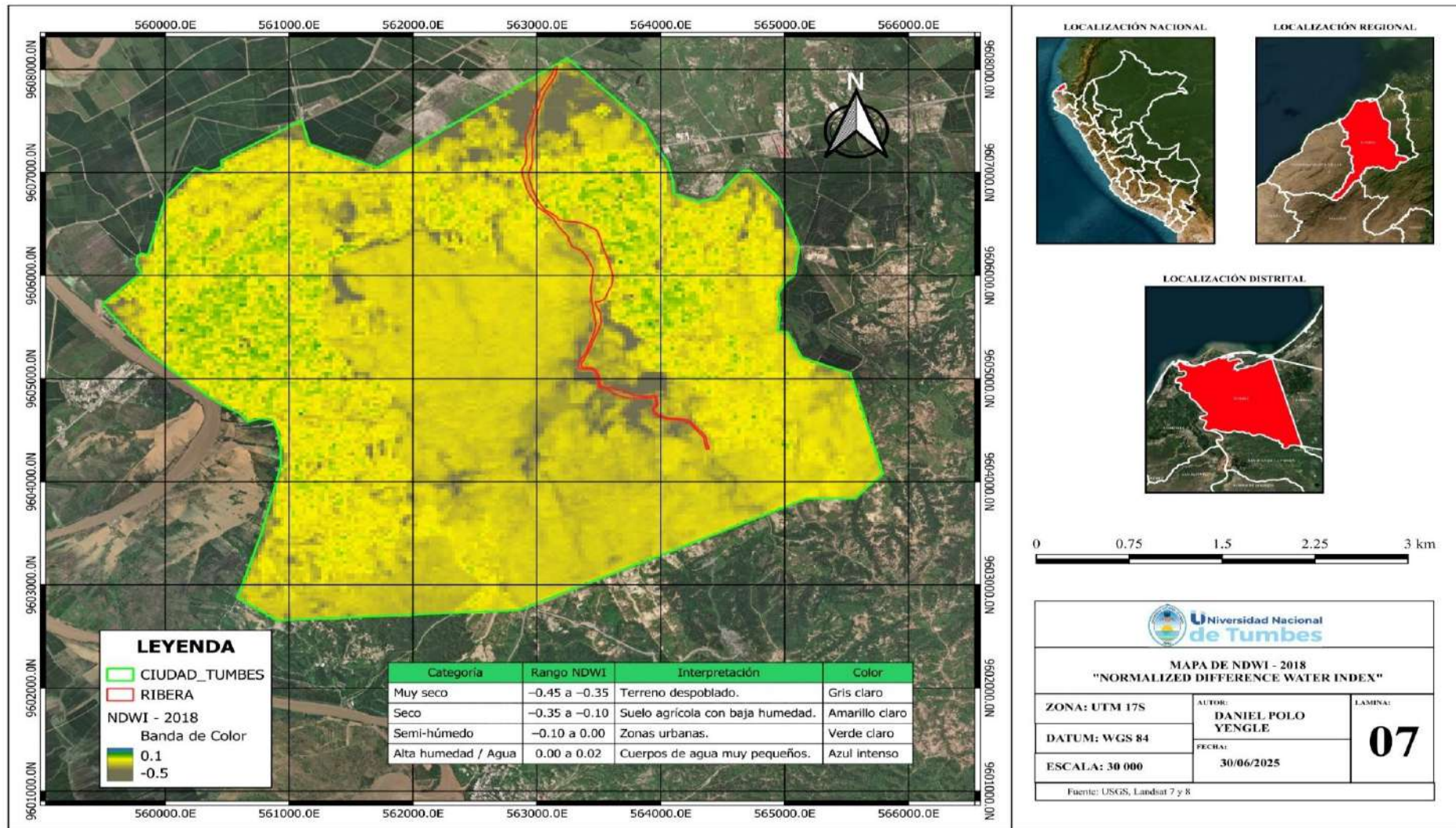


Imagen 24 Mapa de NDWI - AÑO 2021

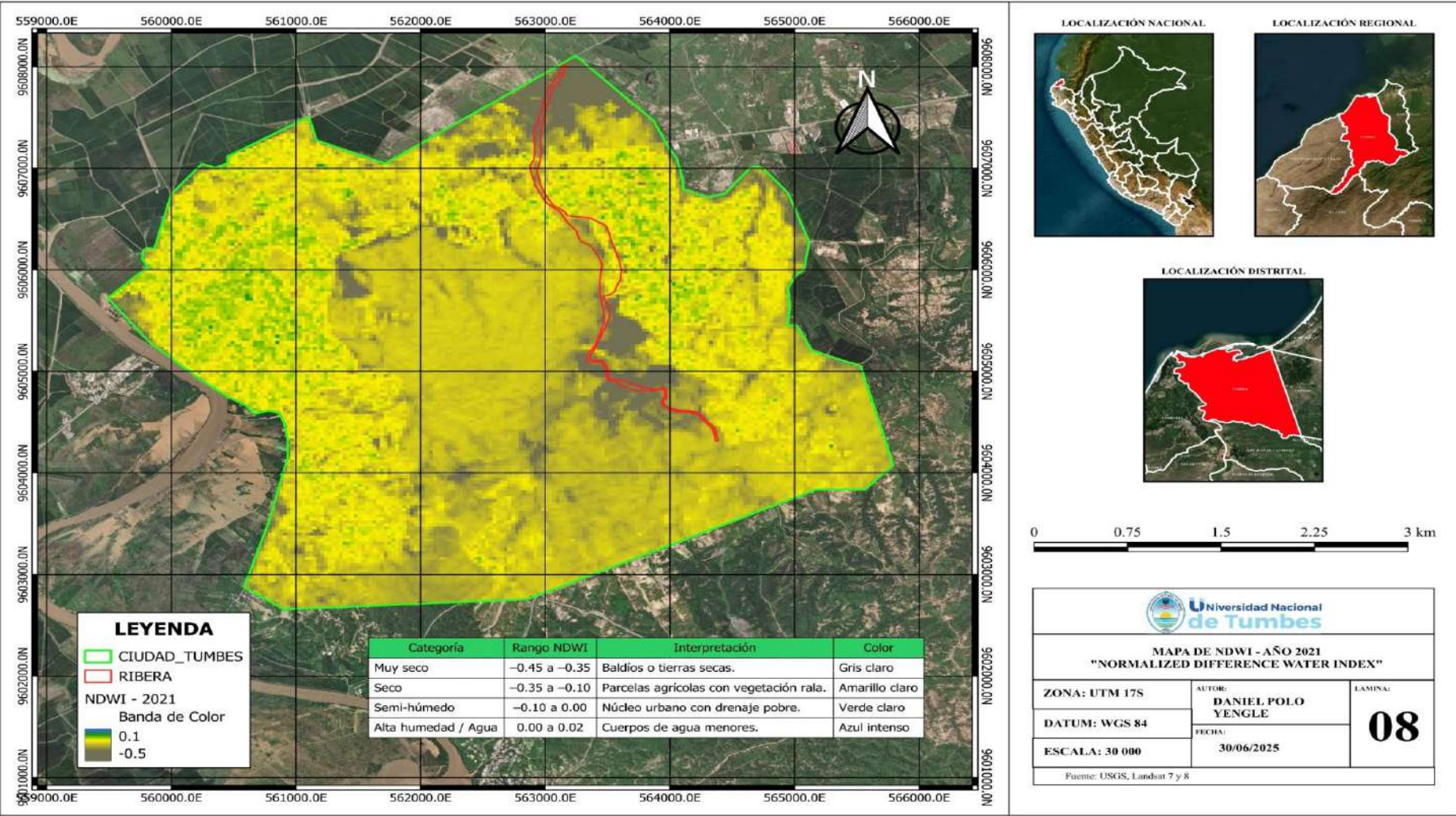
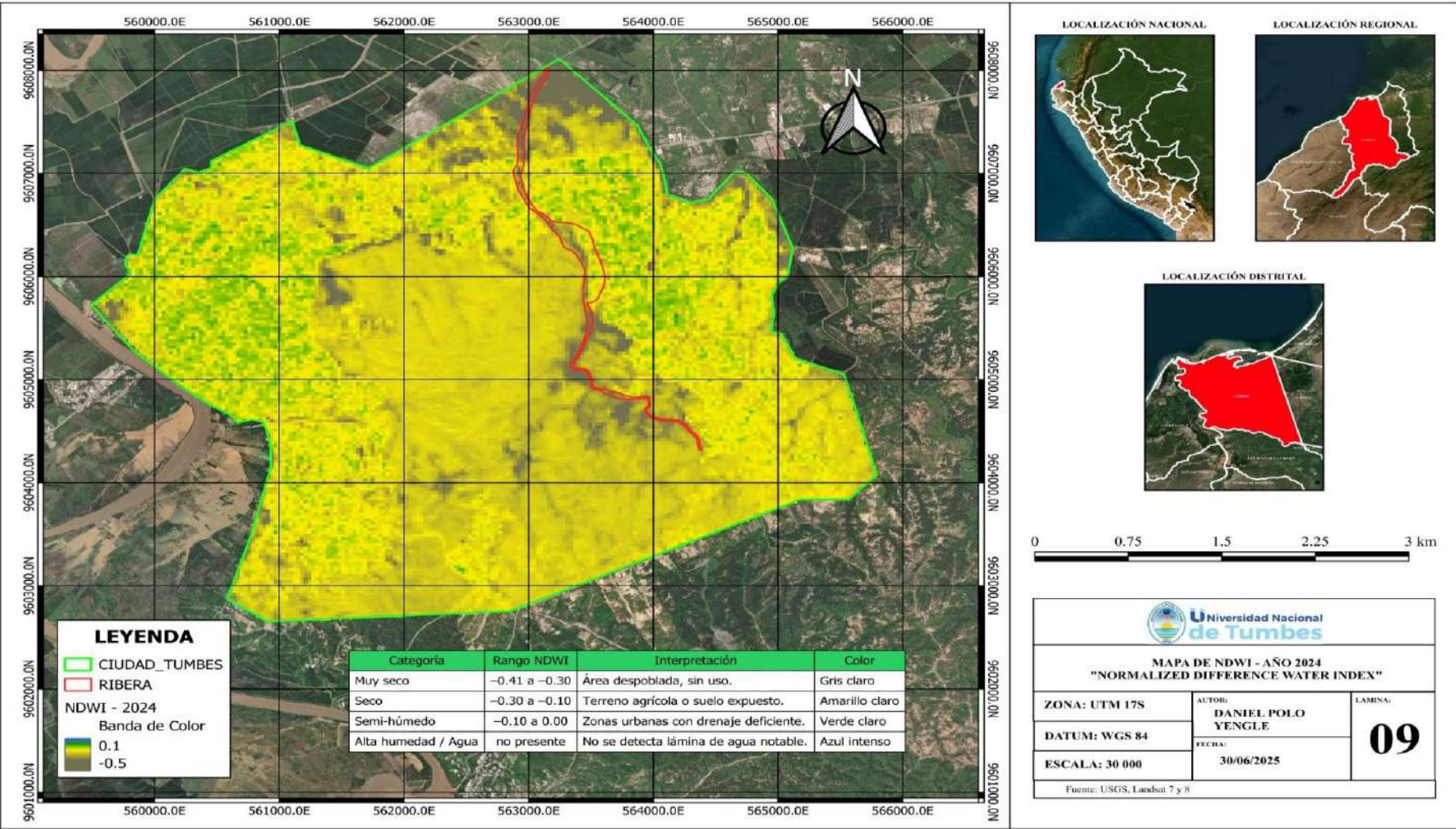


Imagen 25 Mapa de NDWI - AÑO 2024



ANALIZANDO EL NDBI

Clasificación final del índice NDBI ajustada para la realidad de Tumbes.

Tras la verificación visual con imágenes satelitales de alta resolución y visitas virtuales (Google Earth), se ajustó la clasificación de valores del NDBI para representar con mayor precisión la dinámica urbana y agrícola de Tumbes, teniendo en cuenta su alta humedad, la cercanía a fuentes de agua y la expansión urbana sobre suelos fértiles.

Contexto clave:

- ✓ Tumbes es altamente húmedo y con precipitaciones frecuentes.
- ✓ Las viviendas y zonas urbanas están cerca de ríos o quebradas, aprovechando zonas ligeramente elevadas o de mejor drenaje.
- ✓ Hay suelos descubiertos que no necesariamente indican expansión urbana, sino campos agrícolas roturados, áreas sin cultivo o terreno en barbecho.
- ✓ Por problemas de drenaje, incluso áreas urbanas pueden tener valores de humedad moderada.
- ✓ Por tanto: un valor de NDBI intermedio NO siempre significa “zona semiurbana”; podría ser suelo desnudo agrícola o descampado.

El rango de valores obtenidos para cada año mostró variaciones entre aproximadamente -0.35 a 0.35 , observándose un patrón de aumento de las zonas con valores positivos a lo largo de los años, lo que indica el proceso de expansión urbana.

Esta clasificación permitió discriminar de forma más precisa las superficies construidas de otras coberturas como suelos desnudos agrícolas o zonas inundadas, lo cual es de vital importancia para el análisis multitemporal del crecimiento urbano y la planificación territorial en la región de Tumbes.

Rangos observados:

- ✓ 2000: -0.239709 a 0.155002
- ✓ 2003: -0.294474 a 0.240615
- ✓ 2006: -0.263042 a 0.115693
- ✓ 2009: -0.245945 a 0.232807
- ✓ 2012: -0.233163 a 0.325162
- ✓ 2015: -0.310743 a 0.207607
- ✓ 2018: -0.301919 a 0.265208
- ✓ 2021: -0.342342 a 0.265671
- ✓ 2024: -0.313120 a 0.264556

Tabla 16 Descripción específica de las categorías y rango de valores

Categoría	Rango de valores	Descripción específica	Color
Vegetación / Alta humedad	-0.35 a -0.20	Zonas con cobertura vegetal densa, cultivos activos, suelos con alta saturación de humedad	Verde
Pequeños asentamientos dispersos	-0.20 a 0.00	Viviendas aisladas, caseríos rurales, infraestructura de baja densidad	Amarillo
Zona urbana	0.00 a 0.10	Barrios consolidados de densidad intermedia; tejido urbano definido	Anaranjado
Zona urbana consolidada y expansión	0.10 a 0.35	Núcleos urbanos densos, centros poblados principales y áreas en proceso de urbanización intensiva	Rojo oscuro

Imagen 26 Mapa de NDBI - AÑO 2000

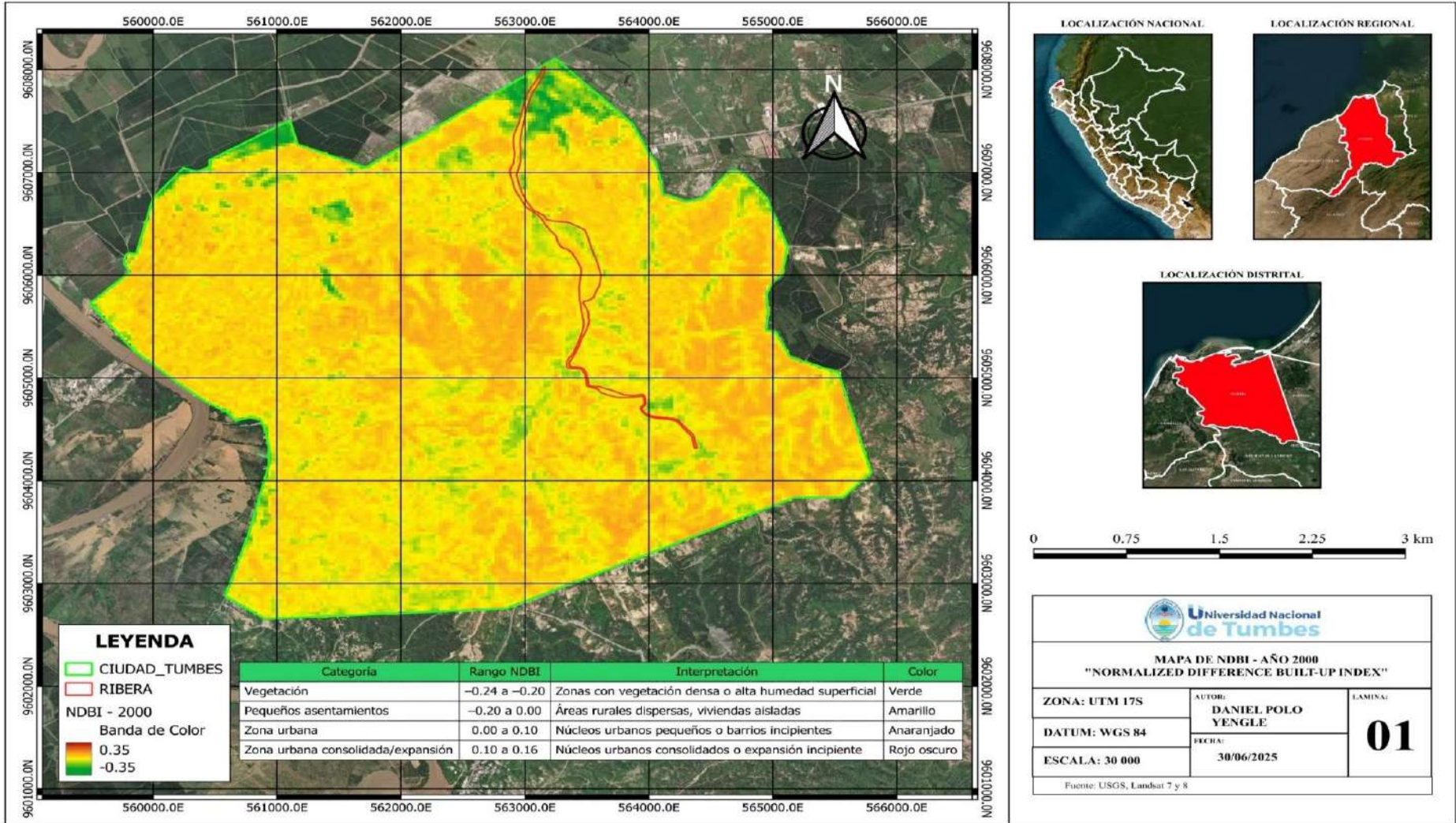


Imagen 27 Mapa de NDBI - AÑO 2003

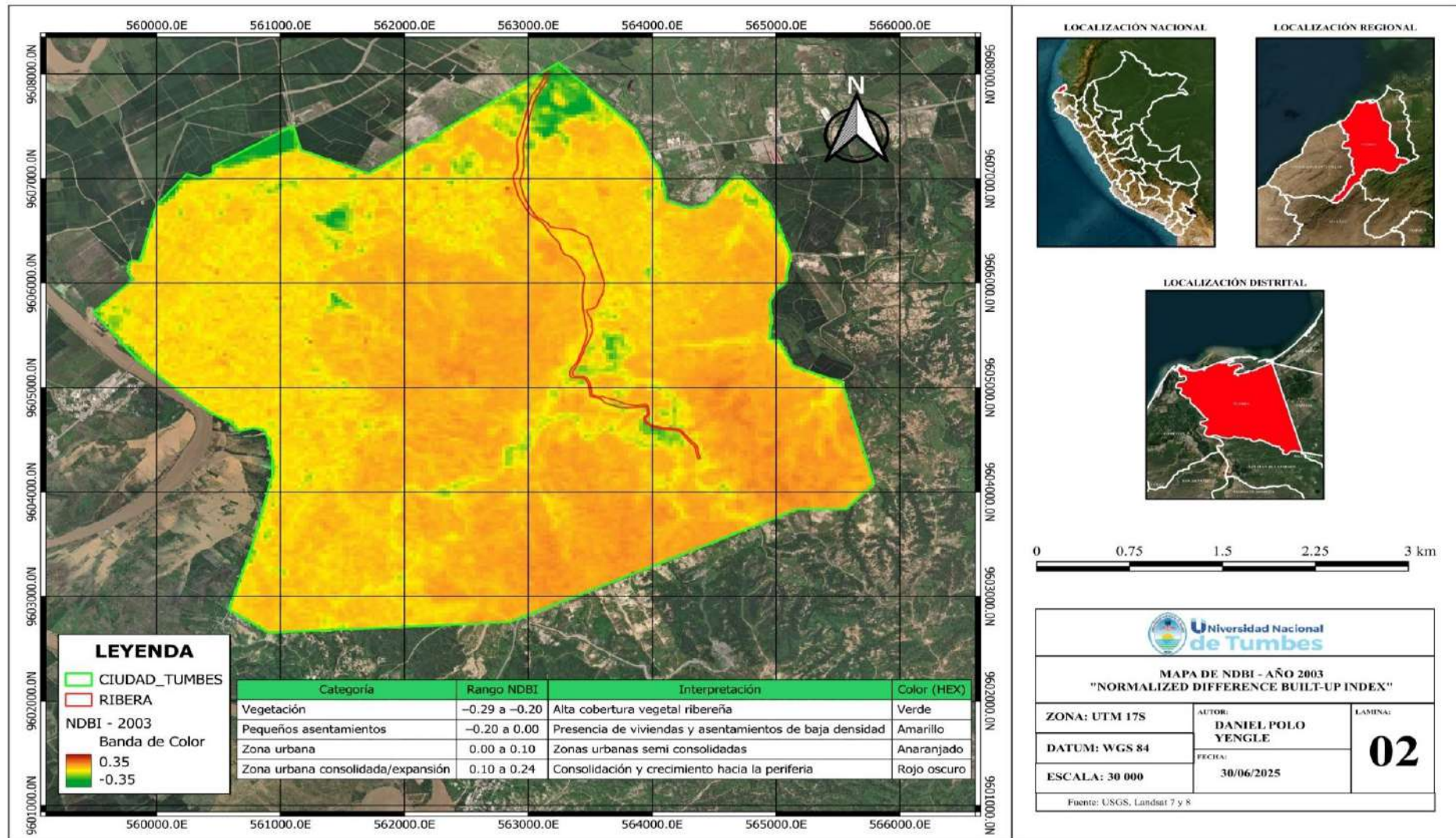


Imagen 28 Mapa de NDBI - AÑO 2006

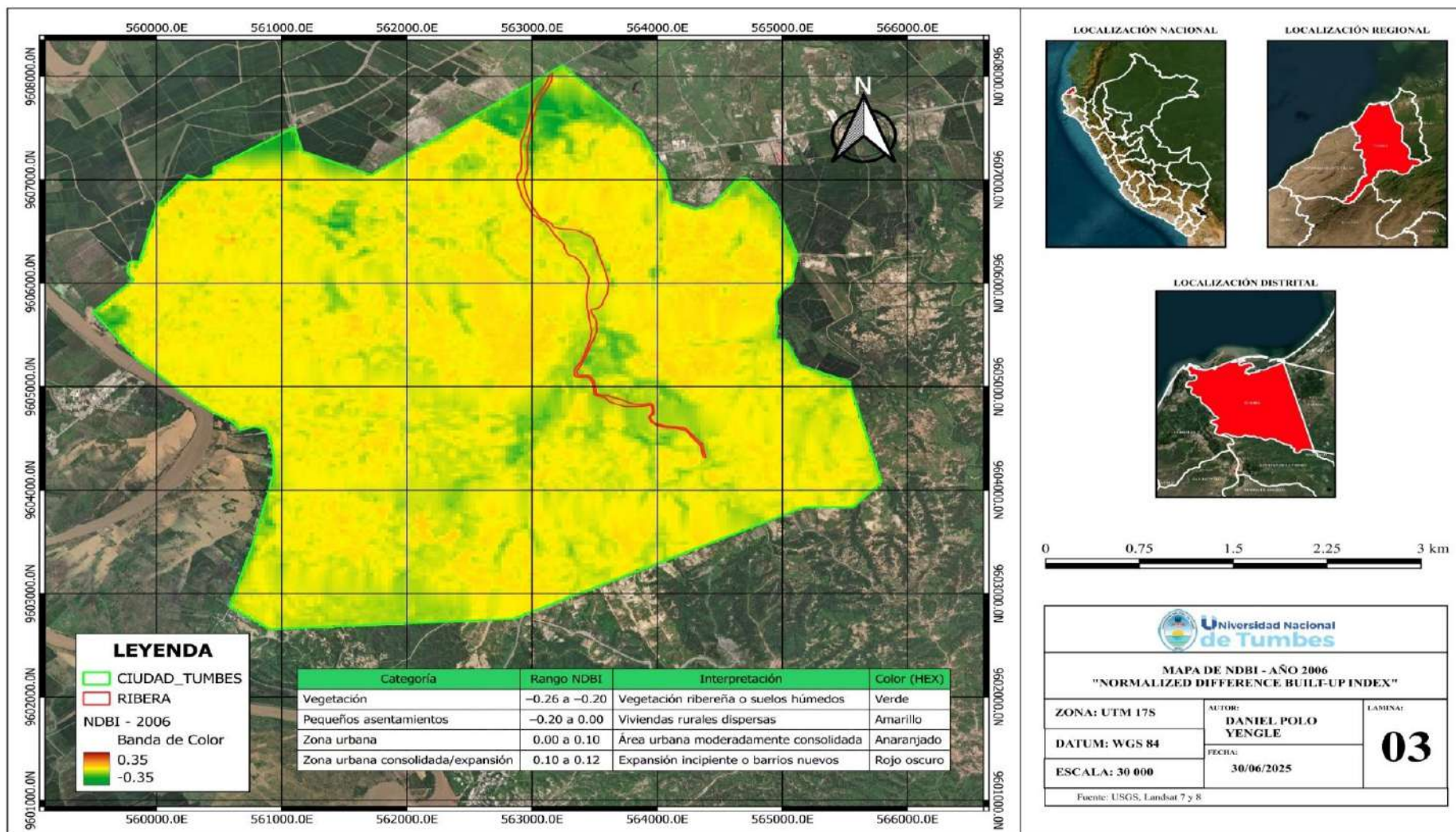


Imagen 29 Mapa de NDBI - AÑO 2009

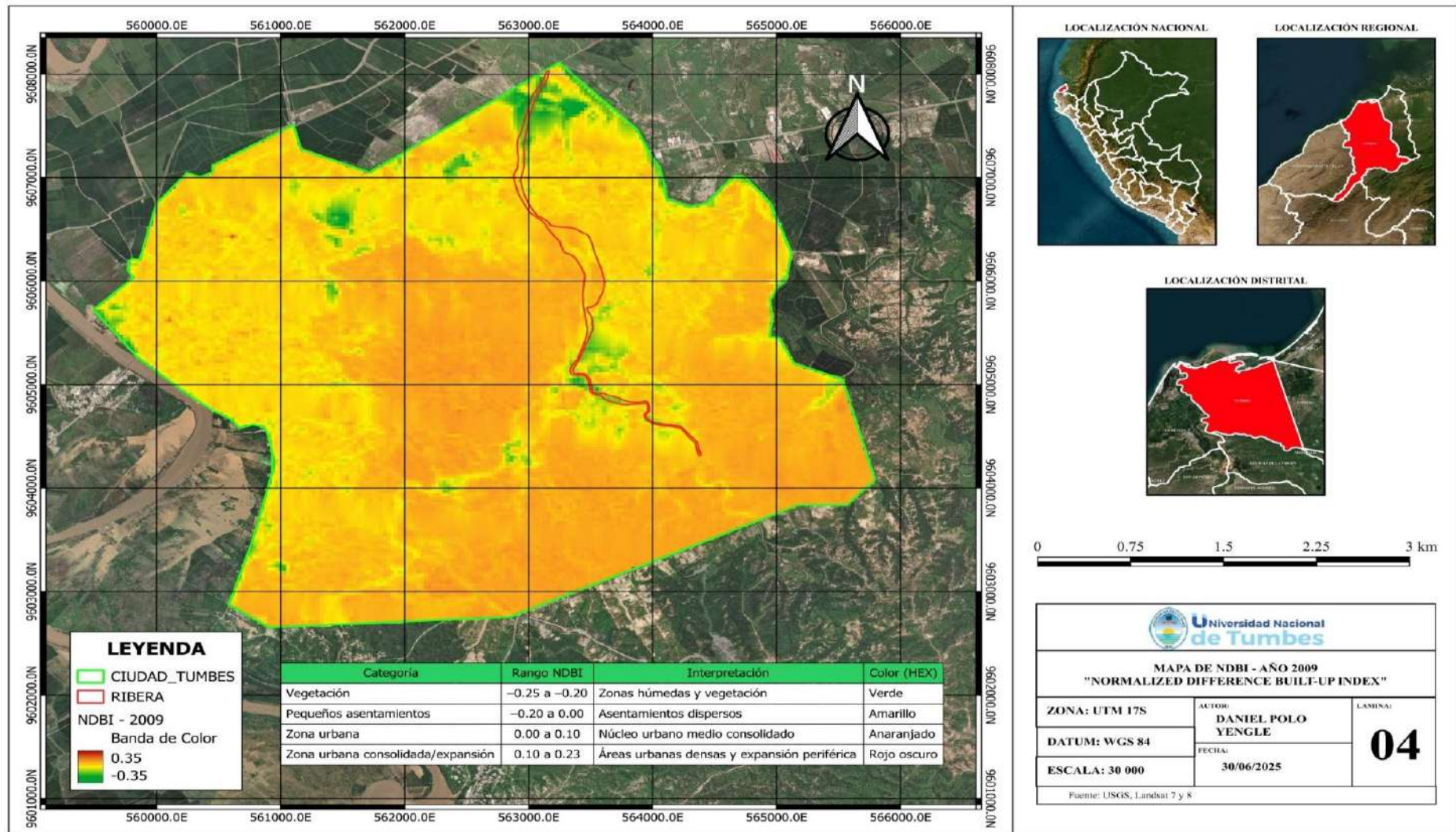


Imagen 30 Mapa de NDBI - AÑO 2012

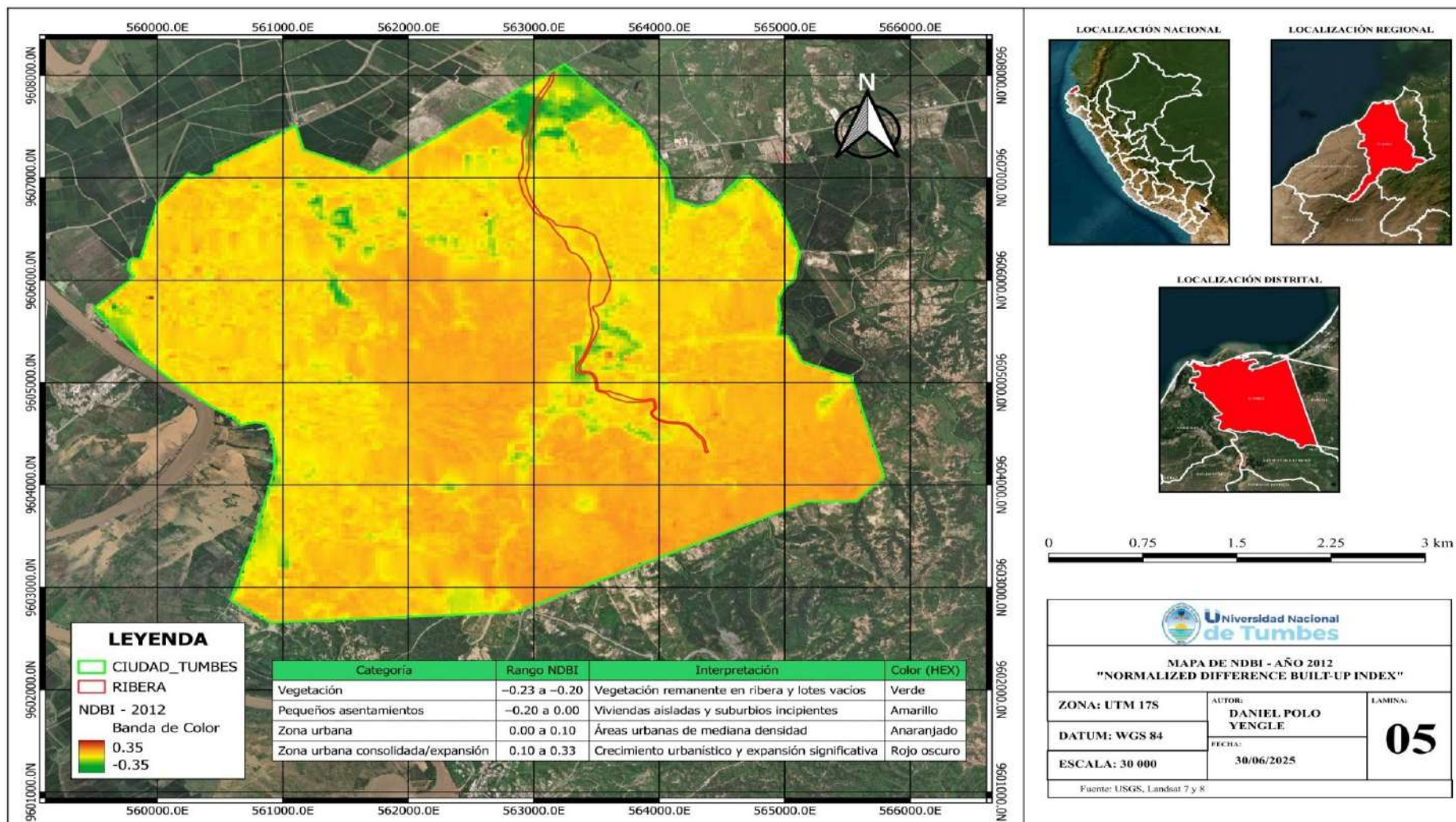


Imagen 31 Mapa de NDBI - AÑO 2015

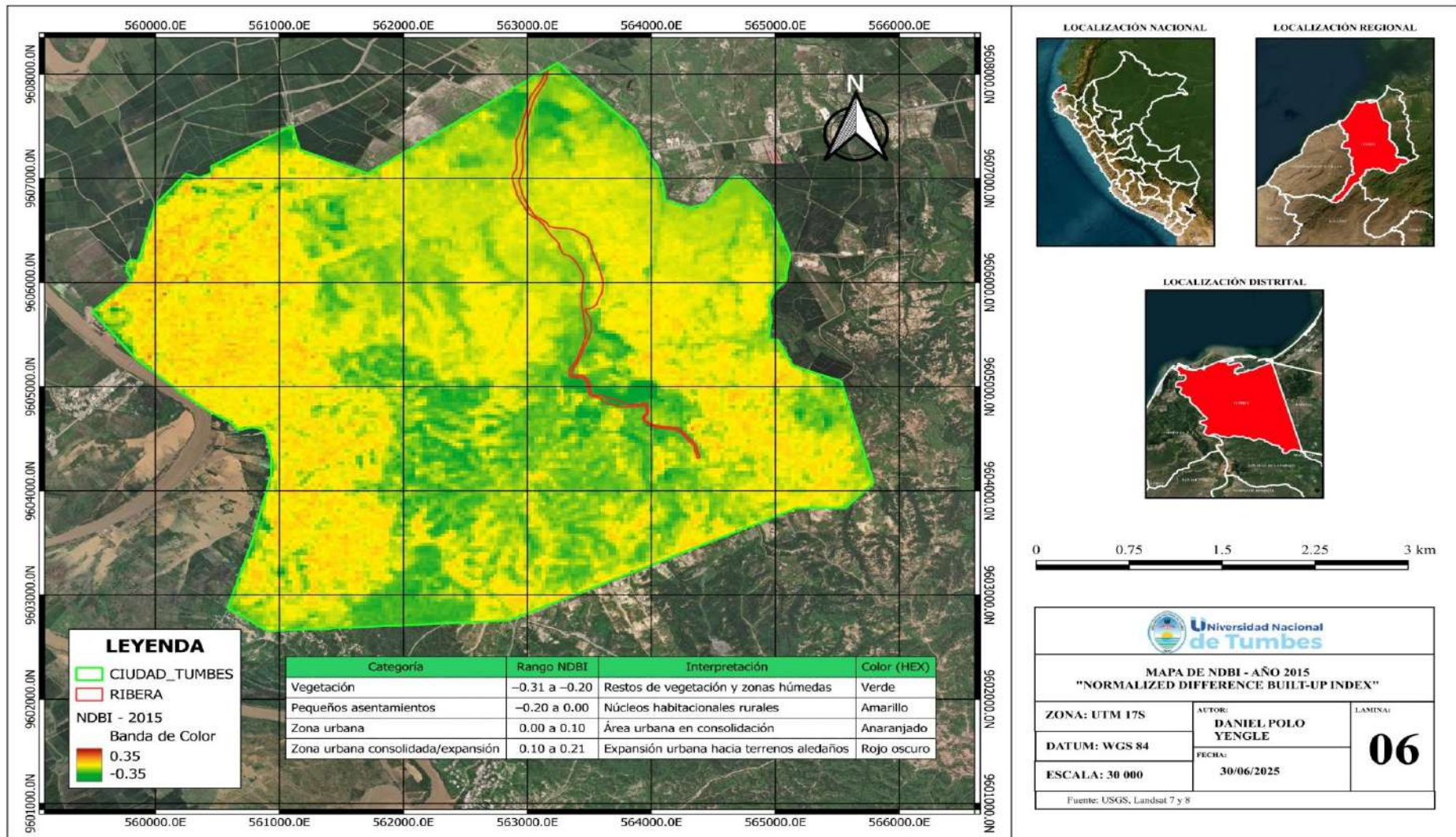


Imagen 32 Mapa de NDBI - AÑO 2018

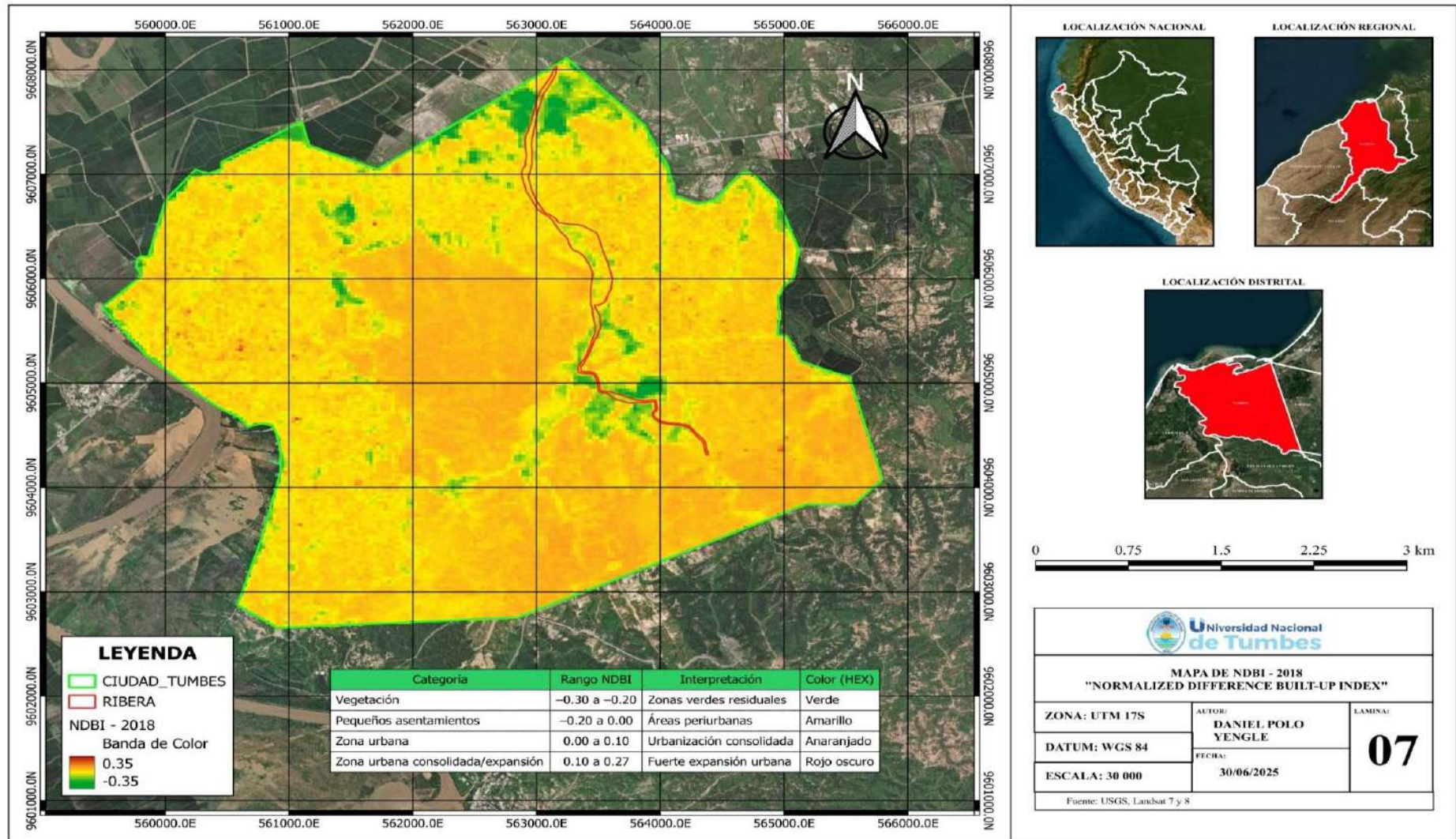


Imagen 33 Mapa de NDBI - AÑO 2021

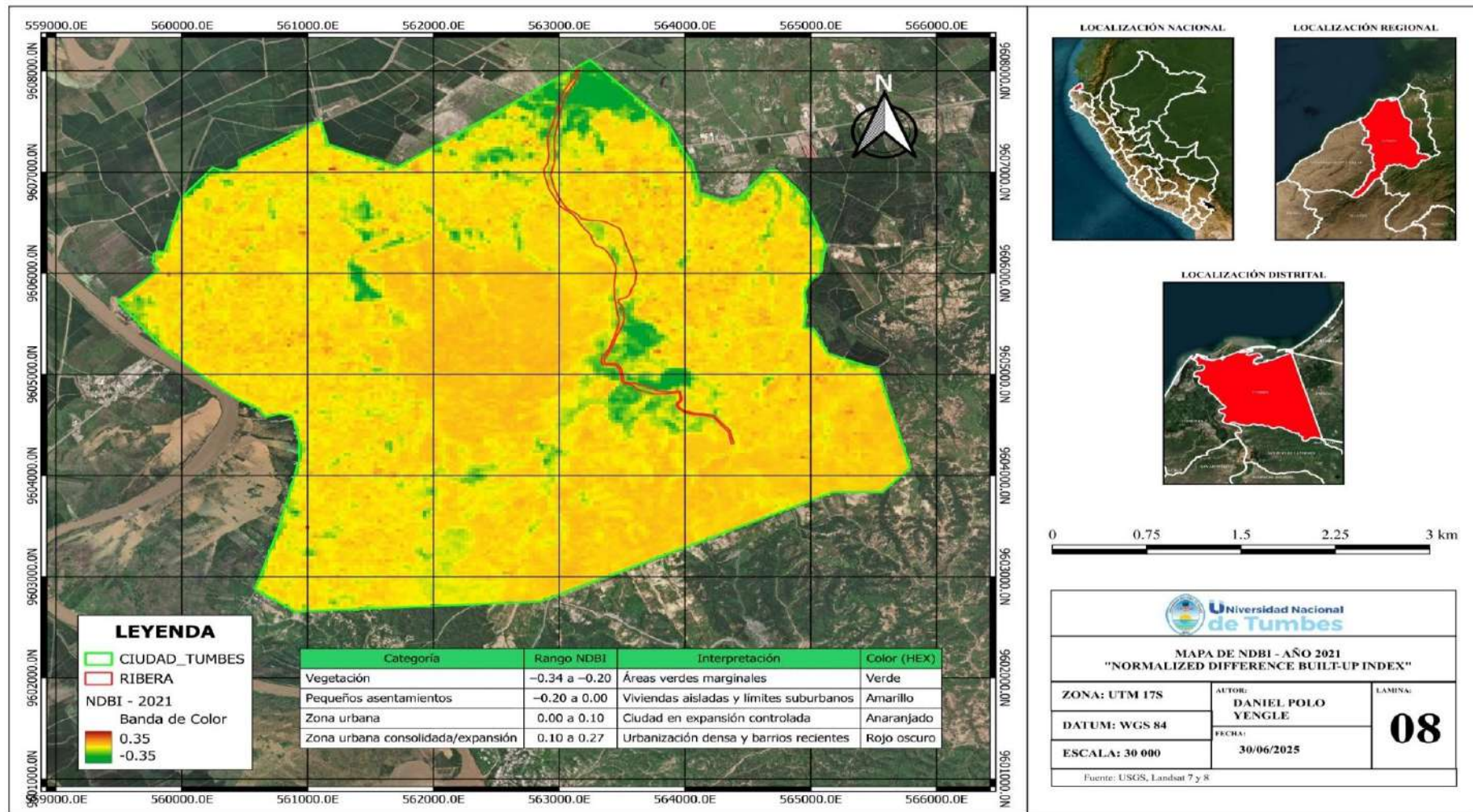
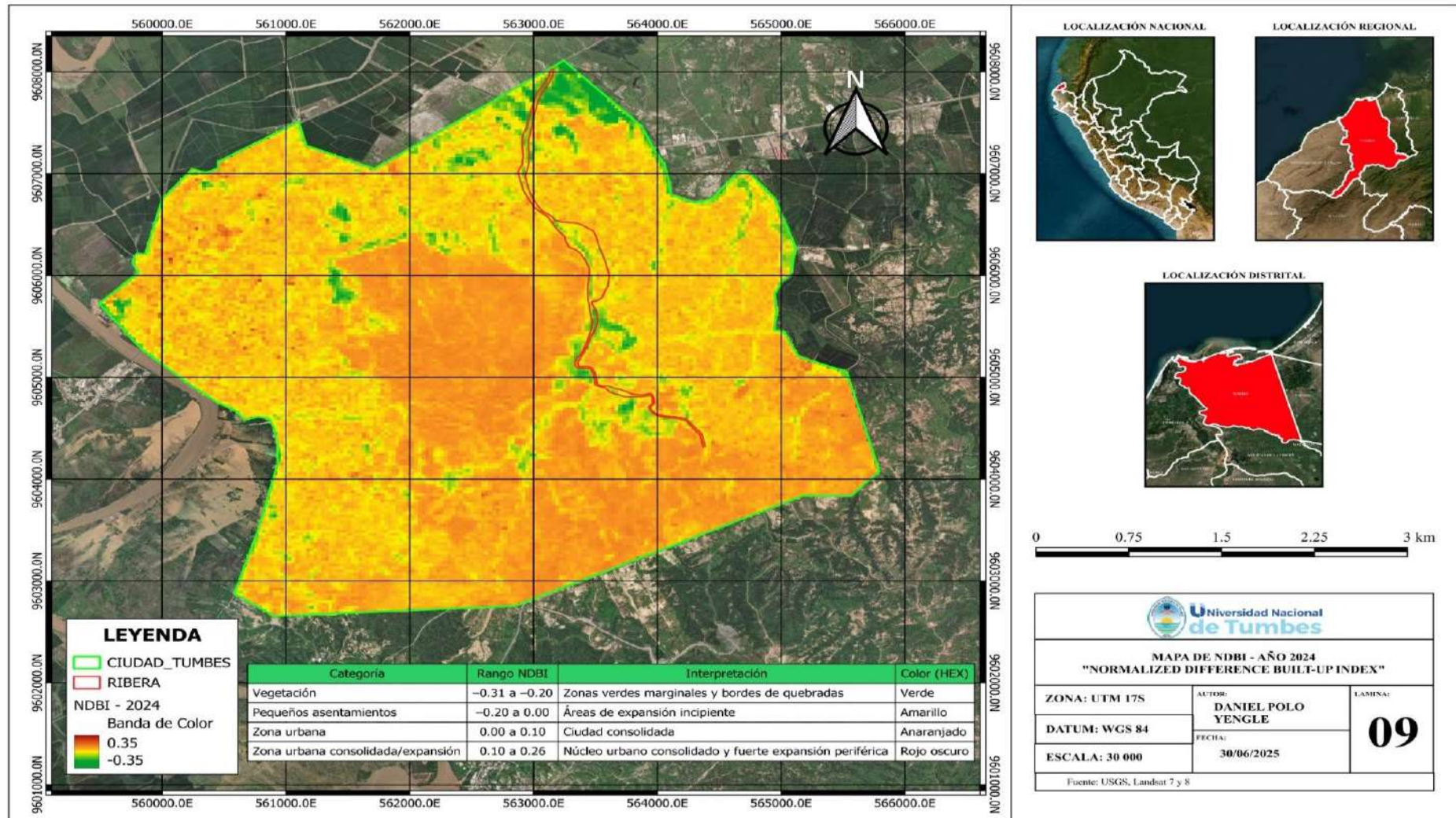


Imagen 34 Mapa de NDBI - AÑO 2024



NOTAS:

Estos valores reflejan el rango espectral de cada imagen Landsat, tras recortes específicos al área de la quebrada Pedregal y sus alrededores. El valor **mínimo negativo** indica mayor presencia de vegetación y humedad superficial, mientras que el valor **máximo positivo** evidencia mayor densidad de infraestructura urbana.

La evolución muestra una clara tendencia de expansión de la franja de valores positivos, reforzando la hipótesis de crecimiento urbano progresivo durante el período 2000–2024.

IDENTIFICACIÓN Y RELACIÓN ENTRE EL NDBI Y EL NDWI

El análisis multitemporal del crecimiento urbano en la provincia de Tumbes se fundamenta en el procesamiento y comparación de índices espectrales derivados de imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 para los años 2000, 2003, 2006, 2009, 2012, 2015, 2018, 2021 y 2024.

Este enfoque permite evaluar la evolución espacial y temporal de las zonas urbanizadas, considerando tanto la humedad superficial del suelo como la extensión de áreas construidas, factores claves en un contexto de clima tropical húmedo y alta vulnerabilidad a inundaciones.

Uso del NDWI

El índice de NDWI (Normalized Difference Water Index) fue aplicado para detectar la humedad superficial y cuerpos de agua presentes en cada periodo analizado.

En Tumbes, debido a su cercanía a la quebrada Pedregal, al río Tumbes y a las lluvias frecuentes, la ciudad muestra sectores semi-húmedos incluso dentro de áreas urbanas consolidadas.

Los valores negativos del NDWI indican superficies secas o suelos expuestos, mientras que valores cercanos a cero o positivos marcan la presencia de humedad superficial, drenajes locales y charcas.

En consecuencia, la interpretación del NDWI ha permitido descartar zonas agrícolas saturadas o inundadas que pudieran confundirse con áreas construidas.

Uso del NDBI

Por su parte, el NDBI (Normalized Difference Built-up Index) fue empleado para identificar la presencia y densidad de áreas construidas y su expansión a lo largo del tiempo.

Este índice facilita distinguir entre:

- ✓ Vegetación o suelos húmedos (valores negativos)
- ✓ Pequeños asentamientos (valores cercanos a cero)
- ✓ Zonas urbanas y núcleos consolidados (valores positivos mayores a 0)

Gracias a la reclasificación por rangos adaptados a la realidad tumbesina (con base en la observación de imágenes de Google Earth y validación en campo), se precisaron cuatro categorías: vegetación, pequeños asentamientos, zona urbana y zona urbana consolidada/expansión.

Relación NDWI–NDBI

La integración de ambos índices ha permitido afinar la delimitación urbana, especialmente en Tumbes, donde la humedad superficial es alta y existe riesgo de confundir suelos saturados con superficies impermeables urbanizadas.

Tabla 17 Interpretación combinada de los índices NDWI y NDBI.

NDWI	NDBI	Interpretación Combinada	Ejemplo de Uso
Alto NDWI (> 0)	Bajo NDBI (< 0)	Cuerpo de agua o suelo saturado sin construcción	Río, lagunas, charcas temporales
Bajo NDWI (< -0.20)	Alto NDBI (> 0.10)	Zona urbana consolidada, expansión urbana densa	Centro de la ciudad, nuevos barrios
NDWI moderado (0.20 a 0)	NDBI cercano a cero	Pequeños asentamientos, barrios dispersos, periurbanos	Franja periurbana, expansión informal
Bajo NDWI (< -0.20)	Bajo NDBI (< -0.20)	Suelo expuesto o barbecho sin urbanización	Terreno baldío, suelo sin uso actual

Dada las observaciones:

- ✓ Áreas con NDBI alto y NDWI bajo corresponden inequívocamente a zonas densamente urbanas y construidas.
- ✓ Sectores con NDBI positivo bajo y NDWI ligeramente alto se interpretan como zonas semiurbanas o periurbanas con suelos aún húmedos, típicas de áreas en expansión.
- ✓ NDBI negativo y NDWI alto indican zonas vegetadas o cuerpos de agua.
- ✓ NDBI negativo y NDWI bajo representan áreas naturales, suelos expuestos o agrícolas no construidos.

Esta correlación asegura una clasificación robusta y reduce errores de interpretación, como confundir cultivos en barbecho o campos húmedos con expansión urbana.

Resultados del Análisis Multitemporal

- ✓ El análisis evidencia un patrón de expansión progresivo desde el año 2000 hasta el 2024:
- ✓ Años 2000–2006: Predominio de cobertura vegetal y asentamientos dispersos, con núcleos urbanos compactos.
- ✓ Años 2009–2012: Consolidación de barrios periféricos y extensión de la zona construida hacia terrenos cercanos a la quebrada Pedregal.
- ✓ Años 2015–2018: Expansión urbana más intensa, vinculada a la densificación de suburbios y aparición de nuevos fraccionamientos.
- ✓ Año 2021–2024: Urbanización consolidada en la periferia, reducción de áreas vegetadas dentro del límite urbano y crecimiento de zonas semiurbanas en antiguos suelos agrícolas.

Implicancias para la gestión territorial

Los hallazgos permiten respaldar decisiones de planificación urbana, mitigación de riesgos por inundaciones y ordenamiento de la expansión.

Este enfoque ayuda a las autoridades locales a:

- ✓ Identificar zonas de crecimiento no planificado.
- ✓ Regular asentamientos informales en zonas de riesgo.
- ✓ Diseñar infraestructura de drenaje considerando la relación entre impermeabilización del suelo y acumulación de agua superficial.

Conclusión

El uso combinado de NDWI y NDBI en un análisis multitemporal provee una radiografía dinámica del proceso de urbanización, adaptada a las condiciones ambientales y sociales de Tumbes.

Esto respalda la formulación de políticas urbanas sostenibles y resilientes frente a fenómenos hidrometeorológicos, garantizando un desarrollo territorial más seguro y planificado.

5. CONCLUSIONES

- 1) Se logro el límite superior de la ribera utilizando el método de huellas máximas, el cual fue validado mediante trabajo de campo y el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Este enfoque permitió delimitar con precisión las señales dejadas por las crecidas más altas, generando información planimétrica confiable. Los resultados confirmaron tanto la efectividad del método en la gestión de zonas ribereñas como la validez de la hipótesis planteada.
- 2) Fue posible una delimitación precisa de las fajas marginales del cauce principal, conforme a la normativa actual que establece un ancho mínimo de 10 metros, complementando el proceso verificando datos en campo. Se obtuvieron coordenadas y vértices georreferenciados, los cuales fueron procesados mediante herramientas SIG, garantizando así la solidez técnica y el respaldo legal de la delimitación.
- 3) El análisis multitemporal utilizando imágenes Landsat y Google Earth evidenció un aumento progresivo de la ocupación urbana en las fajas marginales, pasando de niveles mínimos en el año 2000 a un total de 12.44 hectáreas invadidas en 2024. Estos resultados respaldan la hipótesis de un crecimiento sostenido de la urbanización en áreas protegidas, lo que implica riesgos tanto ambientales como de seguridad frente a eventos hidrometeorológicos.

6. RECOMENDACIONES.

- Se sugiere que la Autoridad Nacional del Agua (ANA) adopte de manera oficial el método de huellas máximas, complementado con validaciones en campo y el uso de imágenes satelitales, con el fin de unificar los criterios para la delimitación de riberas a nivel nacional.

Los Gobiernos Regionales y Locales deberían integrar estos límites en sus planes de ordenamiento territorial, asegurando que no se autoricen construcciones en zonas ribereñas con alto grado de vulnerabilidad.

- Se recomienda que la ANA, en coordinación con los Municipios Distritales, desarrollen y mantengan un catastro digital oficial de las fajas marginales, georreferenciado y disponible al público a través de plataformas SIG.

Así mismo, se plantea que los Municipios Provinciales deberían emplear esta información en los procesos de habilitación urbana, emisión de licencias de construcción y en la revisión y actualización de sus Planes de Desarrollo Urbano.

- Se recomienda que los Gobiernos Locales, junto con la Superintendencia de Bienes Nacionales (SBN), implementen mecanismos eficaces de control y sanción ante las invasiones detectadas, dando prioridad a la recuperación gradual de los terrenos ocupados de manera ilegal.

El Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y los Centros de Operaciones de Emergencia Regional (COER) deben incorporar los hallazgos del análisis multitemporal en la actualización de sus mapas de riesgo, identificando las zonas invadidas como áreas críticas que requieren atención prioritaria ante posibles desbordes e inundaciones.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcántara Boza, A., & Castro Tenorio, A. (2021). *Determinación de zonas inundables con HEC-RAS en zonas de la Cordillera Central de los Andes. Microcuenca del río Saraus-río La Llanga. Celendín*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Araseli Ojeda, E., Bolo, J., Smichowski, H., & Contreras, F. I. (2022). Expansión urbana sobre áreas inundables y sus consecuencias. El caso del arroyo Baró en San Roque, Corrientes. *Párrafos Geográficos*, 50-65.
- Autoridad Nacional del Agua. (s.f.). *La regulación de las fajas marginales. Autoridad Nacional del Agua*. Obtenido de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/fajas_marginales_0.pdf
- Campos-Aranda, D. (1992). *Procesos del ciclo hidrológico*. San Luis Potosí: Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960–2005. *Environmental Monitoring and Assessment*, 150(1–4), 237–249. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0226-5>
- Espinoza Cardeña, P. F., & Rodriguez Achulle, G. R. (2023). *Delimitación de la faja marginal mediante el modelamiento hidráulico bidimensional en el río Tumbes entre el sector Malval y el puente Tumbes, región Tumbes*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Herold, M., Couclelis, H., & Clarke, K. C. (2005). The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems*, 29(4), 369-399. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2003.12.001>

Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Colombia: ALFAOMEGA GRUPO EDITOR, S. A. de C. V.

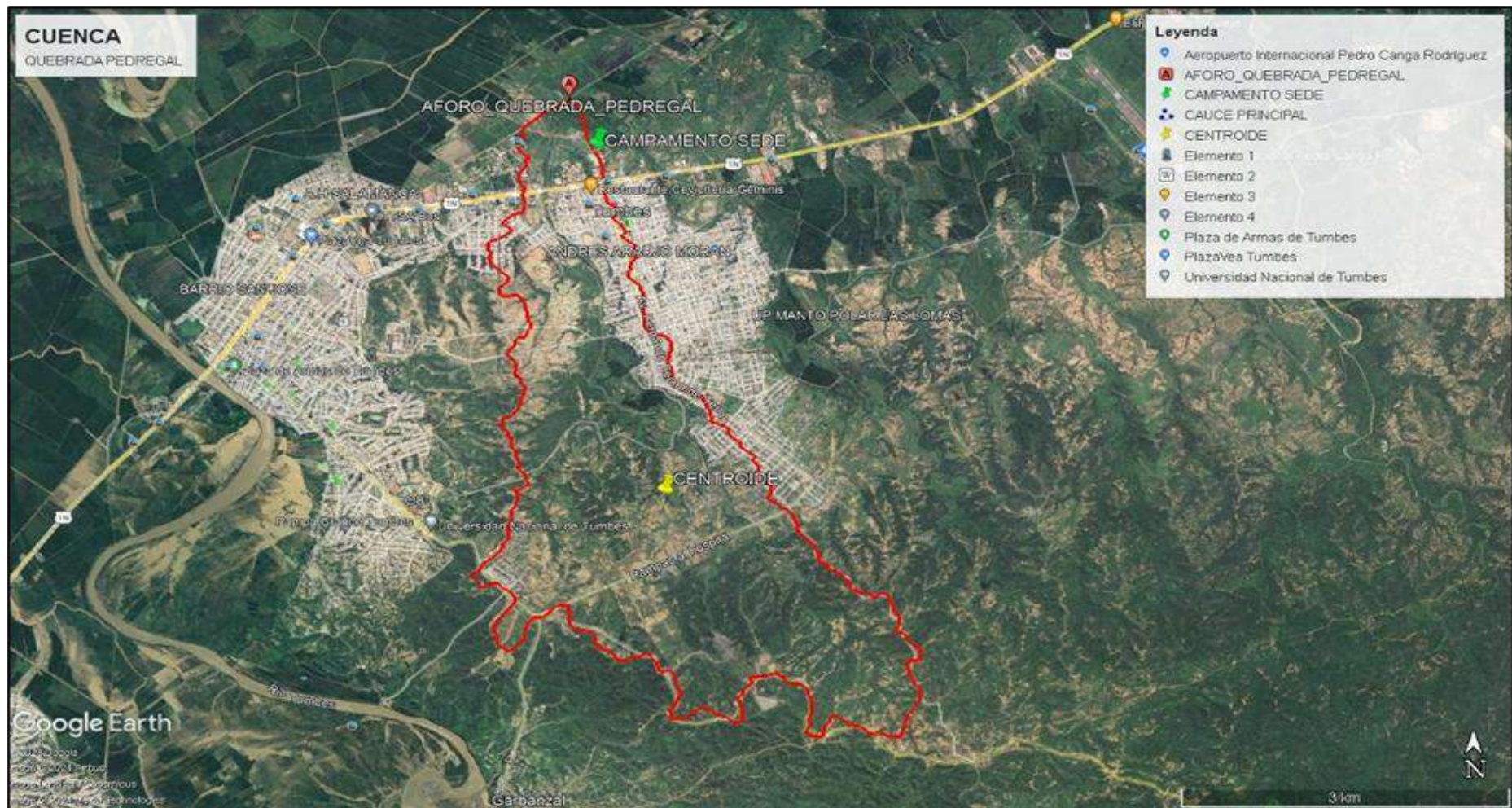
Ortiz Tencio, J. S. (2021). *MODELACIÓN HIDROLÓGICA DE LA SUBCUENCA DEL RIO BALSAR EN EL DISTRITO DE CIUDAD CORTÉS*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Oyola Romero, A. M., & Medina Troncos, O. A. (2019). *Estimación de caudales máximos con fines de prevención de inundaciones aplicando el modelo hidrológico HEC-RAS, caso Río Zarumilla - 2018*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.

Plataforma Nacional de Datos Abiertos. (s.f.). *Fajas marginales*. Gobierno del Perú. Obtenido de <https://datosabiertos.gob.pe/dataset/fm/resource/33ba82b5-68b2-4fb8-92ec-fd51771b9a63>

8. ANEXOS

Anexo 1.- Croquis General de la Zona de Estudio



Anexo 2.- Matriz de consistencia

Título	Planteamiento del problema	Objetivo General y Específicos	Hipótesis General y Específicas	Variables e Indicadores	Diseño de investigación	Métodos y técnicas de investigación	Población y muestra del estudio
"Análisis multitemporal de la invasión de fajas marginales en la subcuenca Pedregal 2000-2024"	¿En qué medida invade las fajas marginales incumpliendo con la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024?	1. Objetivo general	1. Hipótesis General	1. Variables	Tipo de Diseño:	1. Métodos	1. Población
		Determinar en qué medida el área urbana invade en las fajas marginales incumpliendo la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024.	La invasión del área urbana en las fajas marginales es alta, incumpliendo la normativa vigente en la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal 2000-2024.	- Invasión de áreas urbanas	No experimental - Transeccional - Descriptivo	Estudio descriptivo	La población será la totalidad de subcuencas secas sin información hidrométrica de la región Tumbes.
		2. Objetivos Específicos	2. Hipótesis Específicas	- Área invadida por la población en los límites de las fajas marginales.		2. Técnicas de investigación	2. Muestra del Estudio
		Determinar el límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas.	Es posible determinar el límite superior de la ribera a partir del método de huellas máximas.	- Fajas marginales		Análisis instrumental (Documentos escritos)	No probabilística intencionada
		Delimitar las fajas marginales del cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal.	Se puede delimitar las fajas marginales en el cauce principal de la subcuenca de Quebrada Pedregal.	- Límite superior de la ribera. - Ancho mínimo de fajas marginales.		La muestra está representada por la subcuenca seca de la Quebrada Pedregal.	
		Realizar el análisis multitemporal de la invasión del área urbana en las fajas marginales en los años 2000-2024.	La invasión del área urbana en las fajas marginales en los años 2000-2024 es mayor a través de los años."				

Anexo 3.- Criterios generales para determinar el ancho mínimo de faja marginal en cauces naturales

Tipo de fuente	Ancho mínimo (m)
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso.	3
Tramos de ríos con pendiente media (1 – 2%)	4
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas	6
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas	10
Tramos de ríos con estructuras de defensa ribereña (gaviones, diques, enrocados, muros, etc.)	4 ⁽¹⁾
Tramos de ríos de selva con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y Lagunas	10
Medidos a partir del pie de talud externo	

Fuente: Resolución Jefatural N° 153-2016-ANA

Anexo 4.- Data Vectorial faja Marginal - Ana

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO01	562932.84	9606973.02	MI001	562878.47	9607010.93
MDO02	562943.68	9606919.78	MI002	562878.84	9606999.22
MDO03	562944.9	9607025.22	MI003	562879.92	9607022.68
MDO04	562949.19	9606895.78	MI004	562880.91	9606988.71
MDO05	562953.53	9607060.6	MI005	562881.18	9607030.67
MDO06	562957.63	9606859.74	MI006	562884.03	9607038.52
MDO07	562959.65	9607085.63	MI007	562884.27	9606973.52
MDO08	562959.65	9607270.64	MI008	562890.11	9606948.33
MDO09	562959.96	9607298.61	MI009	562893.14	9607057.63
MDO10	562961.49	9607319.05	MI010	562898.58	9606915.03
MDO11	562961.55	9606843.4	MI011	562900.38	9607072.19
MDO12	562962.28	9607150.38	MI012	562907.41	9606880.28
MDO13	562962.28	9607183.73	MI013	562907.58	9607080.85
MDO14	562962.71	9607244.14	MI014	562908.23	9607298.21
MDO15	562962.96	9607109.44	MI015	562908.39	9607335.86
MDO16	562963.4	9607124.13	MI016	562909.96	9607107.49
MDO17	562963.75	9607344.14	MI017	562910.85	9607102.54
MDO18	562964.79	9607201.11	MI018	562911.21	9607241.61
MDO19	562965.4	9607114.7	MI019	562911.46	9607122.21
MDO20	562967.12	9607362.93	MI020	562912.21	9607100.95
MDO21	562970.24	9606819.04	MI021	562913.28	9607375.76
MDO22	562970.54	9607370.4	MI022	562913.33	9606848.01
MDO23	562974.88	9607406.05	MI023	562913.54	9606858.37
MDO24	562982.29	9606787.46	MI024	562913.56	9607137.12
MDO25	562997.84	9606753.06	MI025	562915.08	9606838.66
MDO26	562999.37	9607536.62	MI026	562915.22	9606852.75
MDO27	563001.76	9607553.63	MI027	562915.55	9607204.99
MDO28	563008.49	9607591.33	MI028	562916.23	9607156.84
MDO29	563015.22	9607616.36	MI029	562916.93	9607184.84
MDO30	563017.61	9606711.57	MI030	562917.02	9607172.04
MDO31	563021.98	9607646.53	MI031	562917.56	9606836.25
MDO32	563025.75	9607661.58	MI032	562921.94	9606828.15
MDO33	563034.13	9606685.99	MI033	562933.55	9606804.93
MDO34	563038.29	9607704.98	MI034	562935.51	9607428.41
MDO35	563047.72	9606662.49	MI035	562944.65	9607462.36
MDO36	563058.49	9607768	MI036	562947.42	9606777.69
MDO37	563058.94	9606645.31	MI037	562951.74	9607489.84
MDO38	563064.12	9607781.97	MI038	562957.21	9607514.49
MDO39	563068.12	9606631.7	MI039	562962.76	9606747.9
MDO40	563071.87	9606629.4	MI040	562963.03	9607537.41
MDO41	563072.75	9607798.43	MI041	562973.61	9607579.1
MDO42	563080.82	9606624.96	MI042	562976.18	9606722.34
MDO43	563085.42	9607819.55	MI043	562976.75	9607599.24
MDO44	563093.74	9606617.81	MI044	562986.63	9606703.07
MDO45	563105	9606611.51	MI045	562998.98	9606676.22
MDO46	563122.57	9606599.51	MI046	563005.4	9606664.67

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO47	563132.06	9607904.6	MI047	563006.09	9607723.05
MDO48	563135.79	9606588.86	MI048	563022.07	9607772.33
MDO49	563150.6	9606577.85	MI049	563028.9	9607790.78
MDO50	563155.78	9607969.72	MI050	563030.72	9606643.99
MDO51	563156.49	9607962.32	MI051	563039.18	9607809.17
MDO52	563157.82	9606572.71	MI052	563053.62	9607831.4
MDO53	563157.98	9608000.42	MI053	563058.03	9606620.5
MDO54	563161.61	9606562.24	MI054	563102.6	9606587.73
MDO55	563161.99	9608023.56	MI055	563103.79	9607916.28
MDO56	563167.54	9608029.1	MI056	563116.4	9607938.53
MDO57	563172.63	9606542.47	MI057	563120.49	9607946.72
MDO58	563178.54	9606538.39	MI058	563128.34	9607975.55
MDO59	563185.36	9606536.99	MI059	563128.51	9606556.74
MDO60	563193	9606535.73	MI060	563134.94	9607999.38
MDO61	563201.58	9606533.04	MI061	563146.33	9608032.49
MDO62	563214.11	9606529.12	MI062	563146.93	9606522.33
MDO63	563232.84	9606524.74	MI063	563162.21	9606495.89
MDO64	563261.23	9606521.68	MI064	563178.86	9606470.85
MDO65	563288.09	9606519.81	MI065	563203.62	9606436.73
MDO66	563312.74	9606517.77	MI066	563231.91	9606405.7
MDO67	563335.52	9606515.05	MI067	563254.38	9606375.13
MDO68	563348.16	9606512.04	MI068	563255.3	9606362.53
MDO69	563357.62	9606509.78	MI069	563261.5	9606335.11
MDO70	563358.28	9605142.37	MI070	563269.15	9606319.82
MDO71	563359.34	9605129.65	MI071	563278.95	9606293.36
MDO72	563359.7	9605153.35	MI072	563291.29	9606274.93
MDO73	563360.87	9605121.23	MI073	563310.7	9606264.35
MDO74	563362.14	9605159.68	MI074	563336.41	9605150.41
MDO75	563362.64	9605116.05	MI075	563336.75	9605135.7
MDO76	563366.12	9605111.79	MI076	563336.87	9605117.21
MDO77	563370.04	9605171.41	MI077	563338.32	9605162.53
MDO78	563371.01	9605109.37	MI078	563339.04	9605107.52
MDO79	563372.1	9606504.89	MI079	563339.9	9606253.77
MDO80	563377.57	9605107.6	MI080	563345.08	9605100.67
MDO81	563377.97	9605184.78	MI081	563357.29	9605094.97
MDO82	563385.09	9606497.62	MI082	563368.29	9605208.64
MDO83	563386.58	9605107.23	MI083	563373.6	9605092
MDO84	563389.2	9605207.83	MI084	563377.93	9606218.29
MDO85	563397.78	9605107.19	MI085	563390	9605239.75
MDO86	563403.91	9606486.46	MI086	563400.56	9605263.29
MDO87	563412.04	9605107.23	MI087	563408.29	9605092.21
MDO88	563412.06	9605251.77	MI088	563415.4	9605305.66
MDO89	563416.19	9605266.07	MI089	563417.52	9606148.12
MDO90	563419.73	9606477.18	MI090	563423.79	9606136.17
MDO91	563420.44	9605276.34	MI091	563431.91	9605350.11
MDO92	563429.15	9605296.06	MI092	563436.83	9605884.42
MDO93	563430.71	9605106.74	MI093	563437.58	9606099.17
MDO94	563432.16	9606470.08	MI094	563438.11	9605822.78

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO95	563436.95	9605314.91	MI095	563439.18	9605376.9
MDO96	563439.8	9605105.94	MI096	563439.84	9605756.6
MDO97	563445.05	9605341.48	MI097	563439.84	9605775.54
MDO98	563445.6	9605105.18	MI098	563439.89	9605090.29
MDO99	563447.84	9606460.12	MI099	563444.48	9605735.15
MDO100	563448.64	9605351.89	MI100	563445.48	9605968.84
MDO101	563450.02	9605103.59	MI101	563449.55	9605409.9
MDO102	563453	9605102.29	MI102	563449.57	9605086.25
MDO103	563456.4	9605376.65	MI103	563450.12	9605714.45
MDO104	563458.66	9605098.81	MI104	563451.93	9605692.63
MDO105	563459.03	9605386.51	MI105	563452.13	9606063.04
MDO106	563460.41	9606453.68	MI106	563452.44	9605682.26
MDO107	563464.4	9605095.07	MI107	563453.13	9606034.69
MDO108	563465.76	9605401.52	MI108	563453.85	9605659.2
MDO109	563470.15	9605090.61	MI109	563457.22	9605646.58
MDO110	563470.31	9606447.15	MI110	563459.4	9605079.08
MDO111	563471.13	9605739.12	MI111	563462.5	9605624.62
MDO112	563471.49	9605731.63	MI112	563465.1	9605460.57
MDO113	563472.69	9605415.18	MI113	563465.25	9605589.56
MDO114	563474.43	9605086.15	MI114	563468.09	9605575.94
MDO115	563475.06	9605721.29	MI115	563468.97	9605062.13
MDO116	563476.13	9605745.33	MI116	563471.53	9605503.36
MDO117	563476.17	9605423.28	MI117	563472.33	9605554.54
MDO118	563476.97	9605081.92	MI118	563474.46	9605527.97
MDO119	563478.44	9605708.1	MI119	563475.89	9605540.27
MDO120	563479.07	9606439.59	MI120	563483.35	9605036.8
MDO121	563480.56	9605074.31	MI121	563495.77	9604937.2
MDO122	563484.5	9605696.34	MI122	563496.81	9604946.13
MDO123	563485.02	9606433.18	MI123	563497.37	9604928.73
MDO124	563488.74	9606425.2	MI124	563500.44	9604920.77
MDO125	563488.91	9605746.44	MI125	563506.46	9604917.17
MDO126	563489.27	9605449.22	MI126	563588.12	9604889.48
MDO127	563490.03	9605687.25	MI127	563614.92	9604854.69
MDO128	563491.18	9605457.3	MI128	563644.26	9604843.76
MDO129	563493.27	9606413.1	MI129	563654.04	9604838.6
MDO130	563493.95	9605679.58	MI130	563676.49	9604831.1
MDO131	563494.64	9605050.51	MI131	563718.58	9604817.13
MDO132	563496.36	9606403.94	MI132	563731.88	9604812.24
MDO133	563496.66	9605468.21	MI133	563740.46	9604810.08
MDO134	563498.27	9605040.61	MI134	563749.71	9604809.1
MDO135	563498.37	9605747.26	MI135	563758.96	9604808.59
MDO136	563498.99	9605671.89	MI136	563773.25	9604808.24
MDO137	563501.04	9605483.18	MI137	563785.55	9604807.73
MDO138	563501.08	9606389.81	MI138	563828.99	9604809.46
MDO139	563501.83	9605016.88	MI139	563858.74	9604809.93
MDO140	563502.06	9605662.69	MI140	563887.66	9604812.14
MDO141	563504.22	9605497.8	MI141	563922.69	9604817.87
MDO142	563505.31	9604993.77	MI142	563932.57	9604704.08

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO143	563506.43	9605504.26	MI143	563932.62	9604709.84
MDO144	563507.36	9606372.34	MI144	563933.9	9604713.46
MDO145	563508.28	9605511.26	MI145	563933.96	9604696.38
MDO146	563508.97	9604976.17	MI146	563935.53	9604716.49
MDO147	563509.61	9605646.27	MI147	563935.96	9604689.8
MDO148	563510.23	9605515.89	MI148	563937.14	9604821.93
MDO149	563510.71	9605593.08	MI149	563937.93	9604720.62
MDO150	563510.88	9605627.97	MI150	563940.02	9604680.5
MDO151	563510.97	9604950.41	MI151	563940.5	9604722.59
MDO152	563511.38	9604960.53	MI152	563941.87	9604822.26
MDO153	563511.55	9604939.67	MI153	563946.58	9604726.65
MDO154	563512.34	9605519.28	MI154	563948.1	9604819.98
MDO155	563512.41	9605597.48	MI155	563949.63	9604663.91
MDO156	563513.29	9606355.99	MI156	563953.57	9604732.99
MDO157	563513.38	9604934.77	MI157	563954.29	9604816.32
MDO158	563513.72	9605576.82	MI158	563956.35	9604657.07
MDO159	563514.29	9605523.08	MI159	563956.51	9604813.78
MDO160	563514.35	9605617.28	MI160	563958.88	9604795.33
MDO161	563515.23	9605536.34	MI161	563959.11	9604741.98
MDO162	563515.48	9606345.56	MI162	563960.88	9604746.88
MDO163	563516.07	9605534.29	MI163	563961.86	9604651.47
MDO164	563516.24	9605526.14	MI164	563962.83	9604752.54
MDO165	563516.6	9605608.29	MI165	563971.77	9604643.61
MDO166	563516.63	9605528.24	MI166	563981.59	9604636.42
MDO167	563517.21	9605531.49	MI167	563999.57	9604624.55
MDO168	563517.39	9605551.19	MI168	564050.14	9604608.87
MDO169	563517.44	9604929.64	MI169	564080.33	9604603.82
MDO170	563517.75	9606329.38	MI170	564157.72	9604597.38
MDO171	563517.88	9605565.49	MI171	564188.75	9604589.11
MDO172	563518.73	9605560.86	MI172	564206.09	9604585.69
MDO173	563521.21	9605757.73	MI173	564220.47	9604578.5
MDO174	563521.31	9606314.63	MI174	564236.78	9604567.43
MDO175	563528.56	9604923.1	MI175	564279.12	9604509.85
MDO176	563533.14	9606272.74	MI176	564318.36	9604462.81
MDO177	563542.03	9605771.09	MI177	564339	9604442.17
MDO178	563555.34	9606209.24	MI178	564348.35	9604421.32
MDO179	563558.65	9605790.52	MI179	564353.21	9604390.92
MDO180	563561.38	9604915.29	MI180	564369.92	9604314.05
MDO181	563569.72	9605829.84			
MDO182	563576.62	9604910.97			
MDO183	563581.82	9605860.74			
MDO184	563586.58	9606113.68			
MDO185	563592.25	9604916.31			
MDO186	563593.48	9606078.96			
MDO187	563596.82	9605887.44			
MDO188	563602.23	9605904.15			
MDO189	563603.54	9606042.77			
MDO190	563605.13	9604914.71			

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO191	563608.33	9605946.95			
MDO192	563608.81	9605967.36			
MDO193	563612.9	9604911.1			
MDO194	563614.03	9605990.29			
MDO195	563628.56	9604902.15			
MDO196	563644.23	9604895.88			
MDO197	563659.74	9604891.23			
MDO198	563680.2	9604885.72			
MDO199	563695.05	9604881.71			
MDO200	563716.91	9604873.11			
MDO201	563744	9604860.41			
MDO202	563774.93	9604845.3			
MDO203	563804.72	9604835.15			
MDO204	563832.51	9604830.7			
MDO205	563856.4	9604827.69			
MDO206	563871.84	9604826.61			
MDO207	563887.78	9604827.97			
MDO208	563915.31	9604834.47			
MDO209	563932.01	9604838.75			
MDO210	563944.98	9604703.28			
MDO211	563945.15	9604838.91			
MDO212	563945.21	9604697.15			
MDO213	563946.35	9604711.32			
MDO214	563947.23	9604713.63			
MDO215	563949.65	9604715.84			
MDO216	563949.82	9604682.03			
MDO217	563952.04	9604836.37			
MDO218	563956.21	9604672.65			
MDO219	563956.93	9604833.74			
MDO220	563959.12	9604832.86			
MDO221	563961.06	9604666.17			
MDO222	563962.41	9604830.38			
MDO223	563963.28	9604728.22			
MDO224	563963.87	9604827.46			
MDO225	563964.09	9604824.8			
MDO226	563966.45	9604731.1			
MDO227	563969.7	9604734.06			
MDO228	563970.57	9604793.36			
MDO229	563972.89	9604781.42			
MDO230	563973.02	9604739.89			
MDO231	563974.54	9604743.58			
MDO232	563974.78	9604764.97			
MDO233	563975.35	9604759.93			
MDO234	563975.47	9604750.68			
MDO235	563975.61	9604755.13			
MDO236	563989.41	9604642.96			
MDO237	563995.54	9604638.48			
MDO238	563999.79	9604637.11			

LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN DERECHA			LIMITE SUPERIOR DE LA RIBERA - MARGEN IZQUIERDA		
CODIGO	ESTE	NORTE	CODIGO	ESTE	NORTE
MDO239	564013.89	9604634.85			
MDO240	564023.11	9604632.08			
MDO241	564029.35	9604629.81			
MDO242	564052.04	9604622.5			
MDO243	564065.78	9604619.08			
MDO244	564108.46	9604614.12			
MDO245	564118.35	9604613.54			
MDO246	564129.05	9604613.86			
MDO247	564144.38	9604613.28			
MDO248	564151.73	9604612.25			
MDO249	564158.23	9604610.19			
MDO250	564164.36	9604607.62			
MDO251	564173.43	9604605.17			
MDO252	564178.42	9604602.2			
MDO253	564181.67	9604602.39			
MDO254	564185.27	9604604.68			
MDO255	564188.38	9604606.68			
MDO256	564191.62	9604607.24			
MDO257	564194.8	9604606.76			
MDO258	564200.67	9604603.77			
MDO259	564210.96	9604600.26			
MDO260	564221.29	9604595.99			
MDO261	564228.34	9604592.38			
MDO262	564231.59	9604589.85			
MDO263	564234.64	9604587.37			
MDO264	564239.23	9604583.23			
MDO265	564242.64	9604578.92			
MDO266	564284.47	9604528.29			
MDO267	564305.12	9604504.05			
MDO268	564325.28	9604482.07			
MDO269	564345.9	9604462.2			
MDO270	564353.43	9604453.02			
MDO271	564356.19	9604447			
MDO272	564367.23	9604418.25			
MDO273	564368.58	9604402.75			
MDO274	564371.52	9604385.06			
MDO275	564375.4	9604365.27			
MDO276	564378.65	9604354.76			
MDO277	564390.7	9604319			

Fuente: INFORME TECNICO N° 0002-2024-ANA-AAA.JZ/CALC

Datum: WGS84-17 sur

Anexo 5.- Panel fotográfico

