

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la
afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-
2023**

Tesis

Para optar el título de Ingeniero Agrícola

Presentado por:

Bach. Paulo Enrique Socola Rojas

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la
afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-
2023**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Napoleón Puño Lecarnaque (Presidente) _____

Código ORCID: 0000-0002-5008-8085

Dr. Luis Jhony Caucha Morales (Secretario) _____

Código ORCID: 0000-0002-4786-9008

Dr. Eber Gines Tafur (Vocal) _____

Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

Tumbes, 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS



**Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la
afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-
2023**

**Los suscritos declaramos que la Tesis es original en su
contenido y forma:**

Bach. Paulo Enrique Socola Rojas (Autor)

Dr. Eber Gines Tafur (Asesor)

Código ORCID: 0000-0003-0366-4438

Ing. Adrián O. Gamboa Cruz (Co Asesor)

Tumbes, 2025



**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 catorce días del mes de abril de dos mil veinticinco, siendo las 9:00 horas, con minutos, en el ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias en el aula N° 3 de forma presencial, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 228-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D., **Dr. Napoleón Puño Lecarnaque** (Presidente), **Dr. Jhony Caucha Morales** (Secretario), **Dr. Eber Gines Tafur** (Vocal) reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. Eber Gines Tafur**, como **Asesor** y **Ing. Adrian Oswaldo Gamboa Cruz** como **Co-asesor**, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, **"Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higerón-Puente Tumbes 2000-2023"**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el **Bach. Paulo Enrique Socola Rojas**, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. PAULO ENRIQUE SOCOLA ROJAS**, 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 expedito 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 09 (nueve) horas y 45 minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 14 de Abril de 2025

Dr. Dr. Napoleón Puño Lecarnaque DNI N° <u>00225904</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0002-5008-8085</u> Presidente	Dr. Jhony Caucha Morales DNI N°: <u>41328388</u> CODIGO ORCID: <u>0000-0002-4786-9008</u> Secretario
Dr. Eber Gines Tafur DNI N° CODIGO ORCID: <u>0000-0003-0366-4438</u> Vocal	

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

Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón- Puente Tumbes 2000-2023

por Paulo Enrique Socola Rojas



ING. GINES TAPUR, EBER
ORCID: 0000-0003-0386-4438

Fecha de entrega: 17-may-2025 11:47p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2678572630

Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_05_PAULO.pdf (9.01M)

Total de palabras: 18158

Total de caracteres: 95474

Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%	15%	3%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	3%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
3	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	eos.com Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	personales.unican.es Fuente de Internet	<1%



ING. GINES TAFUR, EBER
ORCID: 0000-0003-0366-4438

9	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
10	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
11	kerwa.ucr.ac.cr Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	docslib.org Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
17	1library.co Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Universidad de Sevilla Trabajo del estudiante	<1 %
19	Submitted to Universidad de Manizales Trabajo del estudiante	<1 %
20	repositorio.ucundinamarca.edu.co Fuente de Internet	<1 %



ING. GINES TAFUR, EBER
ORCID: 0000-0003-0366-4438

21	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	www.inifap.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
26	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	www.ana.gob.pe:8093 Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	revistas.uncu.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
32	www.ietrabajo.org.mx Fuente de Internet	<1 %


 ING. GINES TAFUR, EBER
 ORCID: 0000-0003-0366-4438

33	Submitted to Unidades Tecnológicas de Santander Trabajo del estudiante	<1 %
34	bdigital.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
35	erp.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
36	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.utp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
38	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
39	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %



ING. GINES TAFUR, EBER
ORCID: 0000-0003-0366-4438

Excluir citas Activo
Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 15 words

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría para poder tomar decisiones que me permitieron avanzar en este proyecto y llevarlo a término, por estar siempre a mi lado y brindarme los conocimientos necesarios que me llevaron a obtener mi tan ansiado título profesional, por sostenerme cuando todo parecía ponerse complicado y la frustración se hacía presente.

A mis padres Segundo y Domitila que a pesar del tiempo que me tomó realizar este desafío, el apoyo incondicional y el amor propio de padres se hizo presente manteniendo la esperanza de verme levantar el título profesional de Ingeniero Agrícola.

A cada de mis hermanos cuyo apoyo moral nunca desaparecía y constantemente me motivaban a seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Eber Gines Tafur por aceptar ser mi asesor quien al compartir su experiencia profesional y las constantes enseñanzas guiando mi trabajo de inicio a fin, hicieron posible la entrega y aprobación de la tesis que me llevó a una nueva etapa de mi vida profesional.

Al Ing. Adrián Gamboa Cruz cuyo co-asesoramiento me permitió entender metodologías que fueron esenciales para el desarrollo de este trabajo de investigación.

A mis grandes amigos de toda la vida, el Ing. Jeison Zapata y el Ing. Brayan Rujel cuyo apoyo moral y logístico me permitieron acelerar el proceso de presentación y aprobación de mi tesis.

Por último a mi gran compañera la Ing. Dayana Cruz quien estuvo presente en cada paso de la investigación y elaboración de mi tesis y con quien inicié esta aventura que nos llevó a obtener nuestro tan ansiado título profesional de Ing. Agrícola.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	X
AGRADECIMIENTOS.....	XI
RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XX
CAPITULO I.....	16
1. INTRODUCCIÓN	16
CAPITULO II.....	18
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	18
2.1. ANTECEDENTES	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales	19
2.1.3. Antecedentes locales	21
2.2. MARCO TEÓRICO.....	23
2.2.1. Teledetección	23
2.2.2. Imágenes satelitales.....	23
2.2.3. Imágenes Landsat.....	24
2.2.4. Landsat 7	25
2.2.5. Landsat 8	25
2.2.6. Bandas.....	26
2.2.7. Firma espectral.....	26
2.2.8. NDVI	27
2.2.9. Sinuosidad del río.....	28
2.2.10. Suelo agrícola.....	30
2.2.11. Pérdida de suelo agrícola	31
2.2.12. Variabilidad multitemporal.....	31
2.2.13. Clasificación supervisada.....	31
2.2.14. Método de máxima verosimilitud.	32
CAPITULO III.....	33
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
3.1. LOCALIZACIÓN	33

3.1.1. Ubicación Geopolítica.....	33
3.1.2. Ubicación Geodésica.....	33
3.1.3. Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	34
3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y SOFTWARES.....	35
3.2.1. Materiales y equipos.....	35
3.2.2. Softwares.....	36
3.3. METODOLOGÍA.....	36
3.3.1. Tipo de investigación.....	36
3.3.2. Diseño de investigación.....	36
3.3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	37
3.3.3.1. Población.....	37
3.3.3.2. Muestra.....	37
3.3.4. DISEÑO METODOLÓGICO.....	37
3.3.4.1. Métodos.....	37
3.3.4.2. Esquema metodológico.....	38
3.3.5. Recolección de datos.....	38
3.4. Procesamiento de datos.....	46
3.4.1. Evaluación de los caudales máximos para periodo de estudio.....	46
3.4.2. Procesamiento de las imágenes Landsat.....	48
a). Cálculo del NDVI.....	48
b). Clasificación supervisada.....	49
b.1.) Definición de los Elementos de Cobertura o Recolección de Zonas de Entrenamiento.....	50
b.2). Resultados de la clasificación supervisada.....	53
c.) Generación de mapas temáticos.....	54
d.) Cálculo de la sinuosidad del cauce del río Tumbes, tramo Higuierón – Puente Tumbes.....	55
CAPITULO IV.....	56
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	56
4.1. Resultados.....	56
4.1.1. Caudales máximos.....	56
4.1.2. Morfología del cauce.....	60
4.1.3. Cálculo de la sinuosidad del cauce.....	65

4.1.4. Áreas agrícolas	67
4.2. Discusiones.....	77
CAPITULO V	80
5. CONCLUSIONES.....	80
6. RECOMENDACIONES	82
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	84
ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.características de las bandas landsat 8.....	26
Tabla 2: clasificación de los valores de ndvi.....	28
Tabla 3. Clasificación de cauce según el tipo de sinuosidad.	30
Tabla 4 ubicación política del río tumbes	33
Tabla 5:ubicación geodésica de la zona de estudio	33
Tabla 6. Softwares para el análisis de datos. 2025.	36
Tabla 7. Características de las imágenes satelitales utilizadas	40
Tabla 8. Caudales máximos anuales	45
Tabla 9. Caudales máximos con los que se realizó el trabajo de investigación >= 1000m ³ /s.	47
Tabla 10. Rangos de los índices de vegetación de diferencia normalizada ndvi	50
Tabla 11. Tipología del cauce.	55
Tabla 12. Longitud del cauce con respecto a sus caudales máximos.	58
Tabla 13.analisis del incremento y/o disminución del cauce del rio tumbes.	63
Tabla14. Grados de la sinuosidad del cauce del río tumbes.	66

Tabla 15. Variación de las áreas agrícolas como consecuencia de la variación multitemporal del río tumbes.	72
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: espectro electromagnético	23
Figura 2: bandas espectrales de landsat 7	25
Figura 3: firma espectral para distinto tipo de cubierta.	27
Figura 4: representación esquemática del concepto sinuosidad y sus grados	29
Figura 5: mapa de ubicación.	34
Figura 6: esquema metodológico.	38
Figura 7. Página oficial de la usgs para descargar imágenes satelitales landsat.	39
Figura 8. Corrección por bandeamiento en imágenes landsat 7.....	43
Figura 9. Imagen landsat 7 antes de ser corregida por bandeamiento.	43
Figura 10. Imagen landsat 7 después de ser corregida por bandeamiento. .	43
Figura 11. Página donde se obtuvieron los caudales máximos anuales.....	44
Figura 12. Se muestra el cuadro de umbrales establecido por el servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú (senamhi).	46
Figura 13. cálculo del ndvi utilizando la herramienta mapa de álgebras y recorte del área de estudio utilizando extracción por máscaras.	49
Figura 14. Definición de cobertura - clases no vegetales	51
Figura 15. Definición de cobertura - tierras desnudas	51
Figura 16. Definición de cobertura - vegetación dispersa.....	52
Figura 17. Definición de cobertura - vegetación abierta.	52
Figura 18. Definición de cobertura - vegetación cerrada.	53
Figura 19. Método de máxima verosimilitud.	53

Figura 20. Comparación del color natural - ndvi - clasificación supervisada.	54
Figura 21.comparación del cauce del rio tumbes con el año base 2000.	59
Figura 22. Sinuosidad del cauce en el año 2021.....	67
Figura 23. Mapa de variación del cauce del río tumbes, tramo higuierón- puente tumbes. 2000-2023.....	75
Figura 24. Sectores con mayor variación del cauce y mayores áreas agrícolas afectadas.	76

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Variación de la longitud del cauce analizados año tras año para todo el periodo de estudio.	64
Gráfica 2. Aumento y/o disminución de la longitud del cauce con respecto al año base de análisis.....	64
Gráfica 3. Variación de la longitud del cauce del río tumbes periodo 2000 - 2023.	65
Gráfica 4.relación entre la vegetación cerra y caudales máximos.	73
Gráfica 5. Grafica de dispersión para la vegetación cerrada y caudales máximos.....	73
Gráfica 6. Relación entre el suelo desnudo y caudales máximos.	74
Gráfica 7. Gráfica de dispersión para el suelo desnudo y caudales máximos.	74

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. corrección de imagen landsat 7 por bandeamiento 2005.	89
Anexo 2. Corrección de imagen landsat 7 por bandeamiento 2006.....	89
Anexo 4. Corrección de imágenes landsat 7 por bandeamiento 2009.....	90
Anexo 3. Corrección de imagen landsat 7 por bandeamiento 2008	90
Anexo 5. Corrección de imagen landsat 7 por bandeamiento 2011.....	91
Anexo 6. Corrección de imágenes landsat 7 por bandeamiento 2012.....	91
Anexo 7. Ndvi y clasificación supervisada 2000.....	92
Anexo 8. Ndvi y clasificación supervisada 2001	92
Anexo 9. Ndvi y clasificación supervisada 2002.....	93
Anexo 10.ndvi y clasificación supervisada 2005.....	93
Anexo 11. Ndvi y clasificación supervisada 2006.....	94
Anexo 12. Ndvi y clasificación supervisada 2008.....	94
Anexo 14. Ndvi y clasificación supervisada 2011.....	95
Anexo 13. Ndvi y clasificación supervisada 2009.....	95
Anexo 16. Ndvi y clasificación supervisada 2015.....	96
Anexo 15. Ndvi y clasificación supervisada 2012.....	96
Anexo 18. Ndvi y clasificación supervisada 2017.....	97
Anexo 17. Ndvi y clasificación supervisada 2016.....	97
Anexo 20. Ndvi y clasificación supervisada 2021.....	98
Anexo 19. Ndvi y clasificación supervisada 2019.....	98
Anexo 21. Ndvi y clasificación supervisada 2023.....	99
Anexo 22. Variación del cauce del río tumbes, años 2000, 2001, 2002.	100
Anexo 23. Variación del cauce del río tumbes, años 2005, 2006, 2008.	101
Anexo 24. Variación del cauce del río tumbes, año 2009, 2011, 2012.	102

Anexo 25. Variación del cauce del río tumbes, año 2015, 2016, 2017.	103
Anexo 26. Variación del cauce del río tumbes, año 2019, 2021, 2023.	104
Anexo 27. Periodos con mayor variación del cauce, periodos 2011 - 2023.	105
Anexo 28. periodos con menor variación del cauce, periodos 2000 - 2009.	106
Anexo 29. Comparación del cauce del río tumbes con año base 2000.	107
Anexo 30. Tabla de resultados.....	109
Anexo 31. Matriz de consistencia.....	110

RESUMEN

Los sectores aledaños al valle del río Tumbes, tramo Higuerón – Puente Tumbes, se ven fuertemente afectados por la variabilidad del cauce del río como consecuencia de las fuertes avenidas y eventos extremos, que se originan en el departamento del mismo nombre, lo que dan lugar al río a introducirse muchas veces de manera agresiva a las áreas agrícolas afectándolas y produciendo pérdidas económicas. El objetivo de esta investigación es determinar cómo afecta la variación multitemporal del cauce del río Tumbes a las áreas agrícolas, tramo Higuerón - Puente Tumbes 2000 – 2023; para ello se realizó la búsqueda, recopilación y procesamiento de imágenes satelitales de tipo Landsat 7 y Landsat 8 en la plataforma de la USGS de los estados unidos; el postproceso consistió en primer lugar en la corrección por bandeamiento de algunas imágenes de Landsat 7 y estimación y cálculo de los NDVI de cada una de las imágenes, para luego realizar una clasificación supervisada de los elementos de cobertura del suelo en el software ArcGIS 10.8 por último se generaron mapas temáticos que ayudaron identificar la variabilidad del cauce del río Tumbes y a calcular la sinuosidad del cauce. Los resultados que se obtuvieron en la investigación fueron un máximo de áreas agrícolas afectadas de 3873.51 Ha, lo que significa una variación del 63% en comparación con el año 2000, año de inicio y punto de comparación del estudio, el cual tenía un área inicial de 6145.02 Ha, de la misma forma la longitud máxima del río Tumbes fue de 30973.74 metros, con una variación de 8.27%; concluyendo así que la pérdida de áreas agrícolas están vinculadas estrechamente a la variabilidad multitemporal del cauce del río Tumbes.

Palabras calves: Variación multitemporal, río Tumbes, afección a áreas agrícolas.

ABSTRACT

The areas surrounding the Tumbes River valley, Higuierón - Puente Tumbes section, are strongly affected by the variability of the river channel as a result of strong floods and extreme events, which originate in the department of the same name, which give rise to the river to often aggressively enter agricultural areas, affecting them and causing economic losses. The objective of this research is to determine how the multitemporal variation of the Tumbes River channel affects agricultural areas, Higuierón - Puente Tumbes section 2000 - 2023; For this purpose, a search, collection and processing of Landsat 7 and Landsat 8 type satellite images were carried out on the USGS platform of the United States; The post-processing consisted first of banding correction of some Landsat 7 images and estimation and calculation of the NDVI of each of the images, then performing a supervised classification of the land cover elements in the ArcGIS 10.8 software. Finally, thematic maps were generated that helped to identify the variability of the Tumbes River channel and to calculate the sinuosity of the channel. The results obtained in the research were a maximum of 3873.51 Ha of affected agricultural areas, which means a variation of 63% compared to the year 2000, the year of start and comparison point of the study, which had an initial area of 6145.02 Ha. In the same way, the maximum length of the Tumbes River was 30973.74 meters, with a variation of 8.27%; concluding that the loss of agricultural areas is closely linked to the multitemporal variability of the Tumbes River channel.

Keywords: Multitemporal variation, Tumbes River, impact on agricultural areas.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura como desarrollo mundial, juega un papel muy importante en la economía de un país, no solo porque es la principal fuente de alimentos y materia prima, también es fuente de ingresos económicos de una gran cantidad de población al generar muchas oportunidades de empleo (nandrade, 2017). Debido a que el suelo aporta los nutrientes necesarios para el desarrollo de la agricultura asegurando la subsistencia de los seres vivos y bajo este contexto la pérdida de suelo agrícola como consecuencia de la erosión, agradación y degradación establece un problema significativo a escala global reduciendo la capacidad de producción de alimentos de forma permanente (Gamboa, 2023).

La variabilidad temporal de los ríos han afectado de manera significativa zonas agrícolas debido a el desplazamiento del cauce, lo que implica afectos negativos en la economía de los pobladores; Maguiña & Rogger (2023) calcularon en su investigación una variación máxima del río de 48.17 hectáreas y 1636.62 hectáreas de perdidas máximas de área con vegetación, llegando a la conclusión que las pérdidas de terreno agrícola se deben al movimiento que sufre el río Casma más aun en épocas lluviosas.

El río Tumbes es considerado uno de los ríos más caudalosos de la costa peruana y el único que forma en su desembocadura un sistema deltaico (Pachari, 2016), debido a ello, el valle de río Tumbes no es ajeno a estos eventos, muchos campos agrícolas que se encuentran asociados al río Tumbes se vieron fuertemente afectado en el último fenómeno de El Niño Costero ocurrido en el 2016-2017, evento que ocasionó grandes pérdidas económicas en infraestructura, agricultura y ganadería, debido a esto es necesario optar por una metodología que nos ayude a

calcular la tasa de pérdidas de territorio destinado a la agricultura, en este trabajo se emplearán imágenes satelitales de Landsat 7 y Landsat 8 que nos permitan mediante su procesamiento realizar el cálculo de pérdidas de zonas agrícolas ocasionadas por eventos naturales extremos así como el cálculo de la sinuosidad del río en la zona Higuerón – Desembocadura en la región Tumbes.

Abarca (2024), en su investigación para zonas agrícolas afectadas por inundación en algunas zonas del departamento de Tumbes, menciona que existen muchos predios que fueron vulnerados de forma considerable, con mayor amplitud en los eventos de desastres naturales como el fenómeno el niño, además, resalta que, un factor clave para la evaluación de zonas críticas es la cercanía que existe entre los predios agrícolas y el cauce principal del río.

En Tumbes, las áreas agrícolas son duramente golpeadas como consecuencia de las inundaciones que son producidos por el desbordamiento del río en las épocas de avenidas. La cuenca del río Tumbes presenta una topografía casi plana en la parte baja lo que ocasiona que en épocas lluviosas el desbordamiento del río sea inevitable y como consecuencia de este evento los sectores agrícolas, transporte, vivienda, etc. son gravemente afectados (Desarrollo (INADE) & Tumbes, 1992).

En este trabajo se desarrolla un análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-2023; para ello primero se determinará los caudales máximos que generan la variación multitemporal de cauce del río Tumbes; luego se analizará cómo se modifica la morfología del cauce del río Tumbes como consecuencia de la variación multitemporal; para finalmente determinar cómo afectan a las áreas agrícolas la relación entre los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce del río Tumbes.

CAPITULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

A continuación se muestra una serie de trabajos de investigación sobre variabilidad multitemporal, modificación morfológica de ríos y áreas agrícolas afectadas a nivel internacional, nacional y local.

2.1.1. Antecedentes internacionales

González (2023), en su investigación, evaluó la dinámica morfológica del río Andalién en Chile por consecuencia de los cambios de uso de suelo e intervenciones antropogénicas para un periodo de estudio de 1945 – 2020, donde se emplearon imágenes satelitales temporales del área de investigación, imágenes DEM e imágenes históricas áreas, el conjunto de datos recolectados fueron procesados por herramientas SIG en QGIS, lo que permitió la extracción de las características geomorfológicas del río Andalién lo cual facilitó el análisis estático y multitemporal de la morfología fluvial, con dicho procesamiento se logró identificar el canal activo del río, la llanura aluvial, islas y humedales, la pendiente del río, la sinuosidad, etc. Los resultados evaluados lograron identificar una alta dinámica de migración del río entre los años 1945 - 2020.

Alvarado & Espinoza (2018), evaluaron mediante imágenes satelitales el uso y cobertura vegetal del suelo realizando una evaluación temporal en el río Llavircay y con ello proporcionar datos fiables para tomar acciones en el manejo y gestión de la subcuenca en estudio. Las imágenes satelitales fueron procesadas mediante los softwares ENVI y ArcGIS, lo que les permitió conocer los cambios de cobertura vegetal y uso de suelo de la subcuenca; se estimó que para los años 2011, 2013,

2017 se registraron cambios en su morfología , esto debido a actividades antropogénicas que actúan de forma directa en la subcuenca.

Pérez et al. (2012), presentaron un trabajo de investigación en el que se pretendía identificar los cambios de uso de suelo y vegetación de la cuenca del río Bravo – San Juan en México mediante el uso de imágenes satelitales SPOT en el periodo 1993 – 2008, en los quince años de estudio lograron identificar que las áreas urbanas obtuvieron un crecimiento de un 3.8% y las áreas agrícolas un 0.2% a costa de pastizales y matorrales que obtuvieron una tasa de cambio negativa de 1.2% y 0.1% respectivamente. De los 1,007,837ha. que comprende la cuenca, 19,537ha. describen cambio de uso de suelo y vegetación, 14,307ha. fueron intercambios de categorías y 5,230ha. cambios netos. Los datos mencionados anteriormente indican que existe mayor pérdida de pastizales y mayor ganancia en los cuerpos de agua. Concluyendo que la metodología que se utilizó para analizar el cambio y uso de suelo y vegetación mediante las imágenes satelitales brindó una forma detallada en los objetivos esperados.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Maguiña & Rogger (2023), en su trabajo de investigación en Casma, sector tabón bajo, cuya zona está siendo fuertemente afectada por la constante variabilidad del río mismo que ha afectado zonas agrícolas por inundaciones debido a el movimiento del cauce y por consecuencia afecta la economía de los pobladores del sector. Y que, Debido a ello, y gracias a imágenes satelitales de tipo Santinel 2, descargadas de Google Earth Engine, y mediante la superposición de bandas para la obtención del NDVI y posteriormente el uso del software ArcGIS se estimaron los resultados, obteniendo una variación máxima del río de 48.17 hectáreas y 1636.62 hectáreas de pérdidas máximas de área agrícola, llegando a la conclusión que las

pérdidas de terreno agrícola se deben al movimiento que sufre el río Casma más aun en épocas lluviosas.

Villalobos (2023), utilizando un método que se basa en el uso de imágenes satelitales tuvo como objetivo evaluar los cambios en la morfología y los ratios de migración del río la leche ubicada en Lambayeque, buscando también poder expresarla en función de fórmulas empíricas, esto debido a que el río es propenso a desbordamiento inundando zonas aledañas a este; para su investigación hizo uso de imágenes landsat 4,7 y 8 además de imágenes Santinel 1A, los resultados de esta investigación arrojaron que en el cauce predomina una sinuosidad considerada como baja, además los resultados muestran que el cauce tiene una migración que está entre los 50m hasta 185m, para un periodo de evaluación de 20 años; se avaluó también los cambios de cauce para un periodo de 36 años seccionando el cauce en 4 zonas consideradas las más críticas, dando como resultado una variación de 310m, 350m, 780m y 360m, lo que evidenció un aumento del cauce de un 50%.

Navarro (2018), tuvo como objetivo realizar un análisis de cambio de cobertura y uso de suelo en el distrito de Eduardo Villanueva en los periodos 1992, 2003, 2016. Para llevar a cabo el análisis se utilizaron imágenes satelitales Landsat5, Landsat7 y Landsat8 para los tres años respectivamente, se utilizó la metodología Corine Land Cover nivel III adaptada para Perú desarrollada por el MINAM para la clasificación de categorías de uso de suelo; en 1992 se registró una fiabilidad global de 97.24 % con un porcentaje correctamente clasificado del 97 %; en 2003 se registró una fiabilidad global de 99.17 % con un porcentaje correctamente clasificado de 99 %; en 2016 se registró una fiabilidad global de 92.89 % con un porcentaje correctamente clasificado de 91 %. En la investigación se determinó que: desde 1992 – 2003 – 2016 se pudo encontrar cuatro coberturas nuevas con gran significancia.

Olivares (2017), con el fin de determinar, estudiar, identificar y analizar los patrones de cambio fluviomorfológico de 13 ríos en la selva Amazónica del Perú, pretendiendo realizar una comparación multitemporal hace uso de imágenes satelitales y de herramientas obtenidas por los sistemas de información geográfica (SIG), y poder encontrar los ratios de migración y la tendencia que siguen los 13 ríos en estudio; encontrando patrones de comportamiento que luego pueden usarse en toda el área de investigación y al mismo tiempo comparándolos con otros trabajos similares. Los resultados obtenidos comprobaron que el comportamiento de los ríos meándricos guarda una relación que se diferencian según sus propias propiedades geométricas.

2.1.3. Antecedentes locales

Abarca (2024), concluye en su trabajo de investigación sobre el riesgo de inundaciones que presentan las zonas agrícolas, que el 39.38% de áreas del sector Garbanzal, distrito San Juan de la Virgen es altamente inundable en periodos lluviosos lo que lo califica como zonas de alto riesgo, aunque también existen zonas muy resistentes a inundaciones; Las áreas de riesgo significativo muestran 86.83 hectáreas en el nivel de riesgo muy alto y 659.82 hectáreas en el nivel alto, en donde se identifican zonas específicas con una amenaza significativa de inundación.

Gamboa (2023), realizó una investigación en la cual, el objetivo principal fue la estimación de la tasa de erosión hídrica en la cuenca del río Tumbes aplicando la metodología RUSLE con herramientas de teledetección, imágenes Landsat 7 y 8. Los resultados obtenidos en la investigación arrojaron que la mayor parte de la cuenca (31,92%) experimenta pérdidas de suelo mayores a 200 Tn/Ha/Año en cuanto a la erosión hídrica potencial; por otro lado, la erosión actual muestra que la mayoría de la cuenca (58,16%) se calculan pérdidas menores a 5 Tn/Ha/Año y en menor

porcentaje (0.25%) erosión mayor a 200 Tn/Ha/Año, todo esto bajo la clasificación de la FAO. Las zonas con mayor riesgo de erosión son aquellas con factores con valores elevados: pendientes pronunciadas, poca vegetación, suelos de baja calidad, elevadas precipitaciones y falta de medidas de conservación de suelo.

Núñez (2006), realizó una investigación sobre cuanto había variado el cauce del río Tumbes en el tramo desde Higuerón hasta la desembocadura en el periodo 1961 – 2000, el análisis de la morfología del río Tumbes se realizó con planos topográficos del instituto Nacional Geográfico que fueron hechos a partir de fotografías aéreas tomadas en el año 1961, planos topográficos realizados por el Proyecto Binacional Puyango Tumbes del año 1977 y con imágenes satelitales Landsat de 1986 y 2000. La zona de estudio ha variado su cauce a través de los años, en 1961 ha variado su longitud desde 41.18km aumentado hasta 53.67km para los años 2000; las mayores variaciones del cauce del río Tumbes ocurrió debido al Fenómeno El Niño (FEN), el incremento excesivo del caudal del río en los años 1982/1983, 1997/1998 sobrepasó la capacidad de la caja hidráulica ocasionando inundaciones y erosión, afectado zonas de agricultura, centros poblados, langostineras, etc.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Teledetección

La teledetección es la medición a distancia de un objeto, sin la necesidad física de contacto con él. Un ejemplo claro de ello es el sentido de la vista que cuando logra visualizar un objeto, este logra captar la radiación electromagnética de la superficie de este, dicha radiación electromagnética contiene información sobre como vemos el color o la forma del objeto reflejado, pero solo puede percibir radiación de gama limitada del espectro electromagnético. Un satélite que contenga un escáner cumple la misma función del ojo humano pero con una mayor amplitud de las longitudes de ondas visibles del espectro electromagnético sobre el mundo físico que nos rodea; cuando este registra fotografías de cualquier parte de la tierra o del objeto que desee reflejar puede captar la radiación electromagnética de su superficie (ESA, 2012).

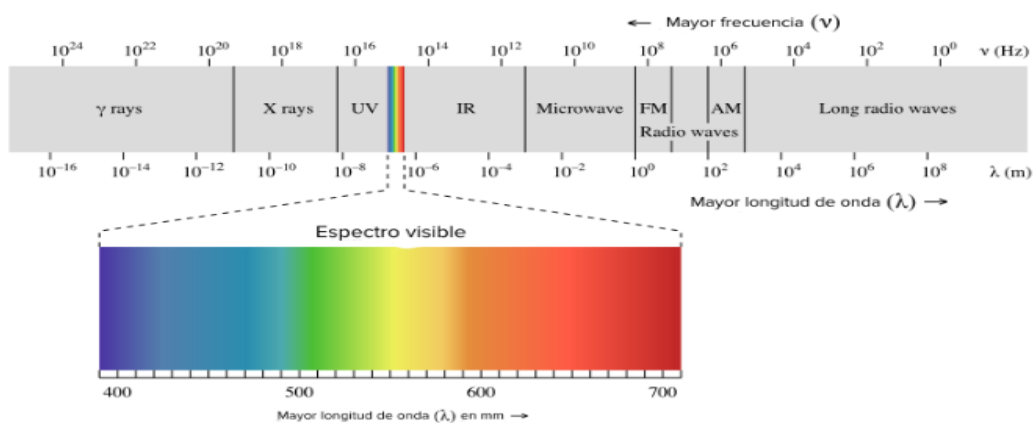


Figura 1: Espectro electromagnético

Fuente: Tomado de (La luz, s. f.)

2.2.2. Imágenes satelitales

Cueva (2018), nos dice que las imágenes satelitales “son la representación visual de la información capturada por un sensor montado en un satélite artificial. Estos sensores recogen la información reflejada por la superficie de la Tierra que

luego es enviada de regreso a ésta y procesada convenientemente.” (Párr. 1). Además detalla cuatro tipos de imágenes satelitales, entre ellos: **IRS**, que dada a su alta resolución son imágenes óptimas para planificación urbana, mapeo de infraestructura, entre otros; **IKONOS**, sirven para mapeo base, aplicaciones GPS y visualización; **Landsat**, Son excelentes para aplicaciones de usos / cubrimiento del suelo, cuentan con mucha información la cual es ideal para investigaciones ambientales; **Radarsat/ERS/JERS**, Funciona bajo condiciones nubladas u oscuras. Son ideales para monitorear características geológicas, de costas y agua abierta.

2.2.3. Imágenes Landsat

Las imágenes Landsat es el programa de observación terrestre más antiguo puesto en órbita, inicialmente se creó para realizar investigaciones sobre las masas terrestres, pero que a la actualidad ha contribuido a una amplia variada de temas que van desde ciencias naturales hasta temas sociales (Gabri, 2022). “Sus datos de alta calidad abarcan muchos rangos de longitud de onda del espectro electromagnético y realzan entidades que, de lo contrario, serían invisibles al ojo humano” (*Introducción a las imágenes | Documentation*, s. f., párr 1). Existen misiones Landsat que van desde Landsat 1 hasta 8, pero actualmente las misiones que están vigentes son Landsat 7 y 8.

2.2.4. Landsat 7

Según *Landsat 7 | Servicio Geológico de Estados Unidos* (s. f.) El satélite Landsat 7, es uno de los siete satélites lanzados al espacio por Estados Unidos el 15 de 1999 que orbita la Tierra a 705 km, introdujo un nuevo sensor Enhanced Thematic Mapper Plus. “Las características principales del Landsat 7 incluyen una banda pancromática con una resolución espacial de 15 metros, un calibrador solar de apertura total a bordo, una calibración radiométrica absoluta del cinco por ciento y un canal infrarrojo térmico” (párr. 1).

- El ETM+ contiene ocho bandas espectrales, incluida una banda panorámica y una banda térmica:
 - Banda 1 Azul (0,45 - 0,52 μm) 30 m
 - Banda 2 Verde (0,52 - 0,60 μm) 30 m
 - Banda 3 roja (0,63 - 0,69 μm) 30 m
 - Banda 4 Infrarrojo cercano (0,77 - 0,90 μm) 30 m
 - Banda 5 Infrarrojos de onda corta (1,55 - 1,75 μm) 30 m
 - Banda 6 Térmica (10,40 - 12,50 μm) 60 m Ganancia baja / Ganancia alta
 - Banda 7 Infrarrojo medio (2,08 - 2,35 μm) 30 m
 - Banda 8 Pancromática (PAN) (0,52 - 0,90 μm) 15 m

Figura 2: Bandas espectrales de Landsat 7

Fuente: (Landsat 7 | Servicio Geológico de Estados Unidos, s. f.)

2.2.5. Landsat 8

La misión Landsat 8 a diferencia de las misiones anteriores que solo llevan un sensor, esta recolecta datos en 11 bandas de dos sensores separados: el “Operational Land Imager (OLI)” y el “Thermal Infrared Sensor (TIRS)”, dichos sensores cuentan con nueve bandas con una resolución espectral de 30 metros que van desde 1 a 7 a la que se le suma la banda 9, la banda 8 contiene una banda pancromática con una resolución espectral de 15 metros y las bandas térmicas 10 y

11 son excelentes para captar temperaturas de la superficie de la tierra con una resolución espectral de 100 metros (vínculo et al., 2016).

Tabla 1. Características de las bandas Landsat 8.

Banda	Rango Espectral (µm)	Resolución (metros)
Band 1 - Aerosol Costero	0.43-0.45	30
Band 2 - Azul	0.45-0.51	30
Band 3 - Verde	0.53-0.59	30
Band 4 - Rojo	0.64-0.67	30
Band 5 - Infrarrojo Cercano (NIR)	0.85-0.88	30
Band 6 - SWIR 1	1.57-1.65	30
Band 7 - SWIR 2	2.11-2.29	30
Band 8 - Pancromático	0.50-0.68	15
Band 9 - Cirrus	1.36-1.38	30
Band 10 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 1	10.6-11.19	100
Band 11 - Infrarrojo Térmico (TIRS) 2	11.50-12.51	100

Fuente: Tomado de (vínculo et al., 2016)

2.2.6. Bandas

Las bandas espectrales describen los rangos del espectro que recibe el sensor del satélite y capta los niveles de energía emitidos por los objetos y poder ser descrita digitalmente en cada uno de los archivos que forman una imagen para luego poder ser representada de forma visual en forma de imágenes (gisadminbeers, 2019). Mediante procesos aritméticos pueden ser combinados y obtener diferentes tipos específicos de valores. Muchos de estos valores o procesos mediante algoritmos son conocidos como índices y se clasifican según su aplicación, como Vegetación y suelos, Agua, Geología y paisajes (*Bandas de ráster—ArcGIS Pro | Documentación*, s. f.).

2.2.7. Firma espectral

La teledetección se basa en la interacción del espectro electromagnético y la cubierta terrestre. “Cuando realizamos un gráfico en el que representamos la cantidad

la radiación reflejada por una superficie y la relacionamos con la longitud de onda de la onda electromagnética, obtenemos lo que se denomina firma espectral” (Alvaro, s.f., p. 11).

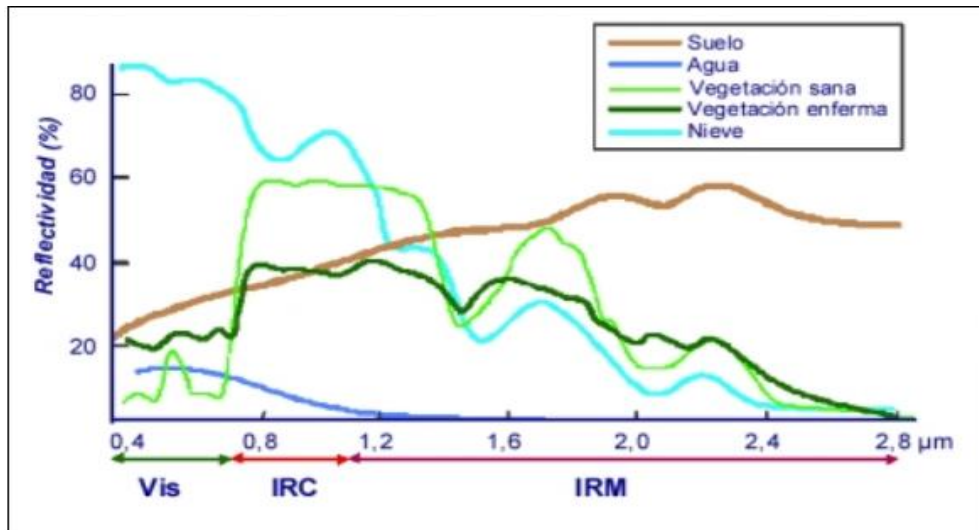


Figura 3: Firma espectral para distinto tipo de cubierta.

Fuente: tomado de (Alvaro, s.f)

2.2.8. NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mide la salud y densidad de la vegetación presente en una imagen satelital, donde la vegetación sana presenta una curva de reflectancia espectral que podemos calcular sacando la diferencia entre dos bandas, por un lado la banda del rojo visible y por el otro la banda del infrarrojo cercano, numéricamente el NDVI se representa entre -1 y 1. Tener valores bajos de NDVI puede ser entendida como un síntoma de una baja salud de la vegetación (EOS DATA ANALYTICS, 2021).

Para realizar el cálculo de NDVI podemos usar la siguiente ecuación:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

donde:

NIR – luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano

RED – luz reflejada en el rango rojo del espectro

Tabla 2: clasificación de los valores de NDVI.

clase	Valores de NDVI	Cobertura de la tierra	Valor
1	< -0.01	Clases no vegetales	Ríos, quebradas, lagunas y nubes.
2	-0.01 – 0.15	Tierra desnuda	Tierras degradadas, asentamiento, vías, suelo sin cobertura vegetal.
3	0.15 – 0.25	Vegetación dispersa	Tierras cultivadas, herbazales. Arbustos, pastizales, terreno arado para cultivo.
4	0.25 – 0.40	Vegetación abierta	Vegetación leñosa, plantación arbustiva, bosque seco.
5	>0.40	Vegetación cerrada	Plantas densas en crecimiento, bosque húmedo.

Fuente: (Maguiña & Rogger, 2023) tomado de (Días, 2015).

2.2.9. Sinuosidad del río

“La sinuosidad de un cauce es el mecanismo natural por el cual un río ajusta su pendiente cuando la del valle por donde fluye es mayor que la necesaria” (p.2). La morfología de un río está estrechamente relacionada con los procesos de erosión y agradación en el cauce de un río o canal, ocasionando meandros que, a su vez, se clasifican en dos categorías: a) la migración hacia aguas abajo de todos los meandros y b) la extensión de las curvas de los meandros, su estrechamiento y por último el corte mismo de un meandro. La aparición y desarrollo de los meandros expanden la longitud del cauce del río y por ende disminuye su pendiente (López, 2011).

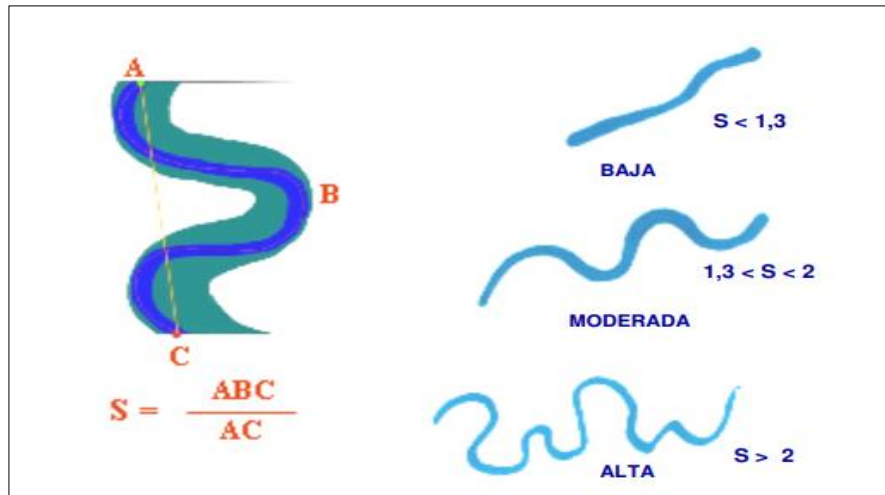


Figura 4: Representación esquemática del concepto sinuosidad y sus grados

Fuente: Tomado de (Felices, s. f.)

La ecuación para realizar el cálculo de la sinuosidad del cauce viene dada por la siguiente ecuación tomada de (Olivares, 2017).

$$S = \frac{L. Thalweg}{L. recta} \quad (2)$$

Donde:

S= sinuosidad del cauce.

L. Thalweg = Longitud del cauce considerando las curvaturas (m).

L. recta= longitud del cauce sin considerar las curvaturas (m).

Clasificación del cauce según el tipo de sinuosidad.

En la tabla se muestra la clasificación del cauce de acuerdo con el grado de sinuosidad que presenta:

Tabla 3. Clasificación de cauce según el tipo de sinuosidad.

Tipo de Cauce	Morfología	Sinuosidad	Barras
Recto	Único cauce con estanques y rápidos, thalweg escasamente sinuoso.	Cercana a 1	Oblicuas y longitudinales.
Ligeramente Sinuoso	Único cauce con estanques y rápidos, thalweg ligeramente sinuoso.	1.05 – 1.5	Oblicuas y achatadas.
Meandriforme	Único cauce con estanques y rápidos, thalweg sinuoso.	> 1.05	Barras en espolón.
Entrelazado	Dos o más cauces con barras y perímetro inestable.	> 1.3	Dominan barras centrales
Divagantes	Dos o más cauces.	Cercano a 1.5	Variable, comienzan a formarse espolones
Anastomoso	Dos o más cauces con barras y perímetro estables.	> 2	Muy variable.

Fuente: tomado de (Olivares, 2017).

2.2.10. Suelo agrícola

Se hace referencia a suelo agrícola a una parte de tierra cuya composición mineral es apta para la siembra y cosecha de productos agrícolas, dado que no todas las plantas son iguales y por ello no son aptas para todos los tipos de suelo la composición mineral, orgánica y química del suelo será mejor o peor en función del tipo de cultivo que queramos explotar. Existen muchos factores que influyen en la composición del suelo agrícola, tales como la porosidad, cantidad de concentración de minerales, cantidad de aire o agua presente y su densidad (*Características de los suelos agrícolas - Laboratorio Alazor, 2022*).

2.2.11. Pérdida de suelo agrícola

La pérdida de suelo agrícola se entiende por la reducción de las cualidades físicas, químicas, biológicas y ecológicas de la tierra, debido a las alteraciones naturales o por causas antrópicas. Algunas de las consecuencias de la degradación del suelo son el acabamiento de los nutrientes y de la materia orgánica, la erosividad del suelo, la desertificación, etc (EOS DATA ANALYTICS, 2021).

Hay una serie de factores que influyen en el grado de deterioro de la tierra, entre ellos:

- El estado inicial de la tierra;
- La naturaleza y gravedad de las presiones a las que se ve sometida;
- Las reacciones de la tierra a esas presiones;
- La repercusión de esas reacciones en los recursos naturales

2.2.12. Variabilidad multitemporal

La variabilidad multitemporal es la comparación de un número finito de fotografías o mapas de una misma zona a lo largo de un periodo de tiempo considerable, al procesarlos y analizarlos tomamos en cuenta los diferentes cambios que ha sufrido el terreno por efectos de diversos factores, y que nos ayuda a la toma de decisiones (Kreimer, P. 2003) tomado de (Best & Vargas, s. f.).

2.2.13. Clasificación supervisada

Rasilla & Conde (2023) nos dicen que la clasificación supervisada es una técnica en la que se seleccionan lugares o también llamados “sitios de entrenamiento” con píxeles de igual similitud para relacionarlos entre sí como un mismo tipo o clase particular, el patrón de la respuesta espectral de dichos lugares es utilizado para la clasificación de imágenes enteras. Entre los métodos tradicionales con los que se

puede realizar una clasificación supervisada existe el método de máxima verosimilitud (Maximum likelihood classifier).

2.2.14. Método de máxima verosimilitud.

El método de clasificación de máxima verosimilitud agrupa los pixeles desconocidos de una misma clase o grupo en función de su probabilidad, considerando la varianza y covarianza de las clases de cada pixel desconocido. Este método calcula la función de densidad de probabilidad para cada clase en cada banda, además del vector medio y la matriz de covarianza de cada clase. Para clasificar un píxel se debe calcular cual es la probabilidad de su valor en cada clase, luego se le asigna a la clase con la más alta probabilidad de similitud (Rasilla & Conde, 2023).

CAPITULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACIÓN

3.1.1. Ubicación Geopolítica

Tabla 4 Ubicación política del río Tumbes

Región	Provincia	Distritos
Tumbes	Tumbes	<ul style="list-style-type: none">• Pampas de Hospital.• San Jacinto.• San Juan de la Virgen.• Tumbes.

3.1.2. Ubicación Geodésica

El proyecto de investigación se encuentra ubicado a lo largo de los extremos del tramo mencionados en la **tabla 5**, cuyo centroide se ubica en la Latitud -3.679739° y Longitud -80.451479° .

Tabla 5: Ubicación Geodésica de la zona de estudio

Tramo	Este (m)	Norte(m)	Elevación	Zona	Datum
Estación el Tigre	560337.00	9583352.00	42m	17S	WGS84
Puente Tumbes	559790.65	9605217.05	10m		

3.1.3. Mapa de ubicación de la zona de estudio



Figura 5: Mapa de ubicación.

Fuente: Elaboración propia

3.2. MATERIALES, EQUIPOS Y SOFTWARES

3.2.1. Materiales y equipos

Los materiales y equipos que se utilizarán para la ayuda de la siguiente investigación son:

Materiales.

1. Imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8. periodo (2000 – 2023).

Para el análisis y cálculos de la variación multitemporal del cauce del río y efectos en las áreas agrícolas.

Fuente: - <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

2. Caudales máximos anuales periodo (2000 - 2023).

Para identificar las máximas variaciones del cauce producido por los caudales.

Fuente: - <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/Index2.aspx?IdVar=263>

- Tesis para grado de ingeniero Agrícola de (Abarca, 2024).

Equipos.

1. Disco externo 1TB
2. Smartphone
3. Laptop Hp RYZEN 5
4. Impresora

3.2.2. Softwares

Para el análisis de los datos obtenidos de diferentes fuentes se utilizaron los siguientes softwares:

Tabla 6. softwares para el análisis de datos. 2025.

Software	Descripción
ArcGIS 10.8	Se utilizó para el procesamiento de las imágenes satelitales.
Google Earth	Se utilizó para la localización del área de estudio.
QGIS 3.16	Se utilizó para la corrección atmosférica y de bandeamiento de las imágenes satelitales.
Ms Word	Se utilizó para redactor el informe final de tesis
Ms Excel	Se utilizó para la generación de gráficos estadísticos.

3.3. METODOLOGÍA

3.3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es del tipo aplicada – descriptiva longitudinal, dado que se recolectaron datos de satélites por un periodo de tiempo prolongado y se evaluaron los resultados en periodos de tiempos hasta el actual que requiere la investigación.

3.3.2. Diseño de investigación

De acuerdo con el propósito que se persigue el diseño de la investigación se considera cuantitativa – no experimental transversal, debido a que la información recolectada ha sido de un área en específico y los datos se han tomado en un periodo de tiempo determinado.

3.3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.3.1. Población

El trabajo de investigación tiene como población el área agrícola y el cauce del valle de Tumbes.

3.3.3.2. Muestra

Se tomó como muestra para la investigación el sector agrícola que se encuentra en tramo del cauce Estación el Tigre – Puente Tumbes.

3.3.4. DISEÑO METODOLÓGICO

3.3.4.1. Métodos

Se aplicó la metodología descriptiva y de análisis – síntesis, considerando otros métodos conforme se desarrolló este trabajo:

1. Se aplicó el método descriptivo debido a que se recopiló, organizó, presentó y sintetizó la información los resultados de las imágenes procesadas y observadas.
2. El método analítico corresponde a la evaluación de cada uno de los componentes de la investigación, de modo que se pudo establecer relaciones de causa de los elementos que conforman los objetivos de la investigación.

3.3.4.2. Esquema metodológico

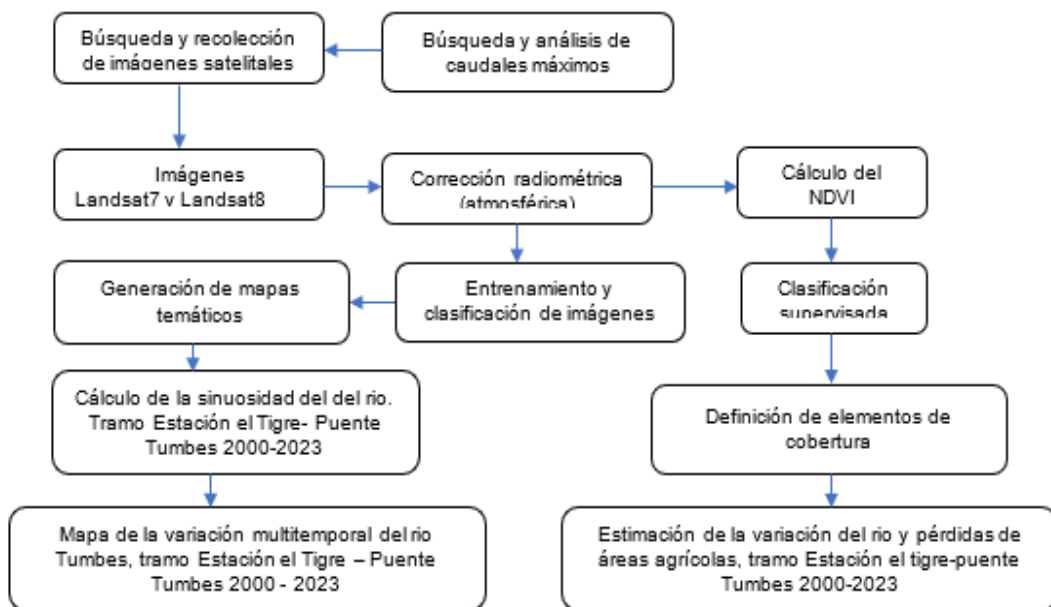


Figura 6: Esquema metodológico.

3.3.5. Recolección de datos.

1. Se emplearon imágenes satelitales LANDSAT 7 y LANDSAT 8 para la obtención de datos cualitativos y cuantitativos necesarios para la investigación las cuales fueron descargadas de forma gratuita de la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Se utilizaron los softwares ArcGIS y QGIS para el procesamiento y corrección de las imágenes empleadas.

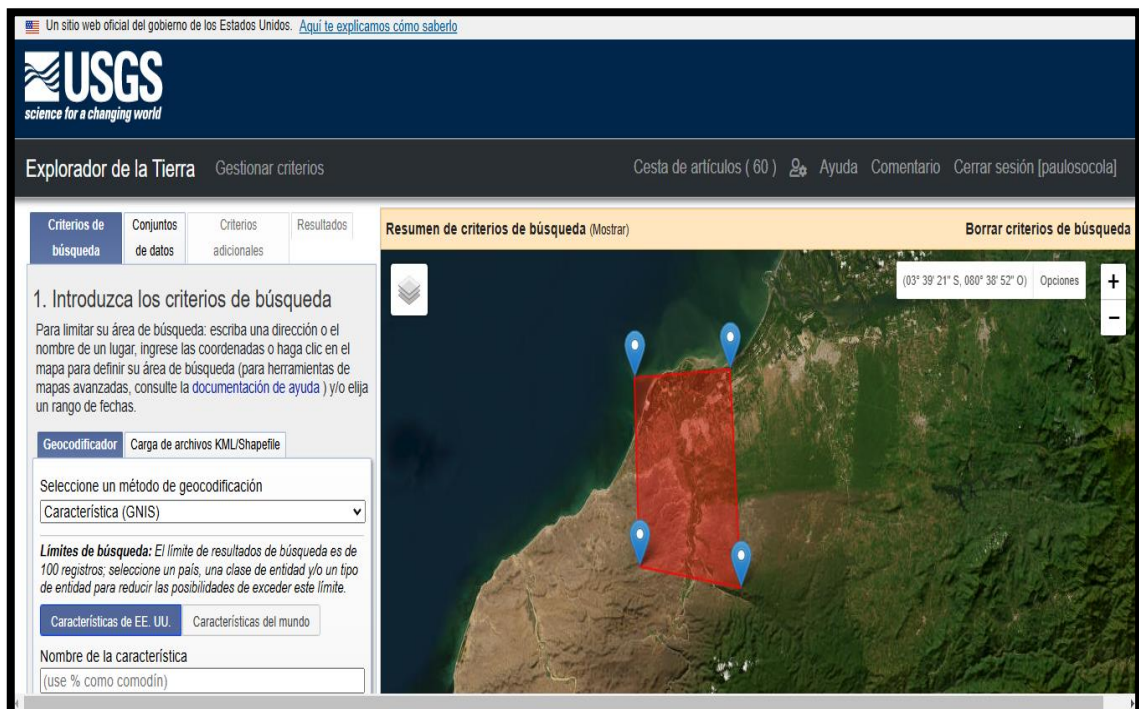


Figura 7. Página oficial de la USGS para descargar imágenes satelitales Landsat.

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (EarthExplorer, s. f.)

Las imágenes Landsat fueron descargadas en época seca que es cuando ha pasado los fenómenos naturales como la lluvia, crecida y desbordamiento del río Tumbes, en ese periodo se puede visualizar de mayor forma los efectos que ha dejado la presencia de los fenómenos naturales antes mencionados. las imágenes se descargaron de la colección **Landsat collection 2 Level – 1**, con una cobertura de nubes menor al 30% . La **tabla 7** muestra las características de las imágenes satelitales que se utilizaron en la investigación.

Tabla 7. características de las imágenes satelitales utilizadas.

Imagen	Sensor	Resolución espacial	Fecha	Temporada	Localización
Landsat 7	ETM+	30mts x 30mts	31/05/2000	Seca	Tumbes- Perú
	ETM+	30mts x 30mts	6/08/2001		
	ETM+	30mts x 30mts	10/09/2002		
	ETM+	30mts x 30mts	29/05/2005		
	ETM+	30mts x 30mts	16/05/2006		
	ETM+	30mts x 30mts	8/07/2008		
	ETM+	30mts x 30mts	11/07/2009		
	ETM+	30mts x 30mts	14/05/2011		
	ETM+	30mts x 30mts	21/09/2012		
Landsat 8	OLI/TIRS	30mts x 30mts	20/07/2015	Seca	Tumbes- Perú
	OLI/TIRS	30mts x 30mts	8/09/2016		
	OLI/TIRS	30mts x 30mts	10/08/2017		

OLI/TIRS	30mts x 30mts	31/07/2019	
OLI/TIRS	30mts x 30mts	17/05/2021	
OLI/TIRS	30mts x 30mts	3/08/2023	

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Nota: las imágenes landsat 7 y Landsat 8 solo corresponden a los años en donde los caudales superaron los 1000 m³/s, obteniendo un total de 15 imágenes una por año con las cuales se realizó toda la investigación y se dio respuesta a los objetivos planteados.

Las imágenes descargadas incluyeron las siguientes correcciones:

Imágenes Landsat 7

Corrección atmosférica: Esto implica la eliminación de los efectos de la atmósfera en la imagen. Los gases atmosféricos y el polvo pueden causar distorsiones en la imagen, lo que puede hacer que sea difícil interpretarla correctamente

Corrección de la geometría: Esto implica ajustar la imagen para que sea geográficamente precisa. Esto se hace corrigiendo los errores en la posición y la orientación de la imagen.

Corrección topográfica: Esta corrección se realiza para corregir las variaciones topográficas en la imagen. Los cambios de elevación pueden causar distorsiones en la imagen, lo que puede hacer que sea difícil interpretarla correctamente.

Imágenes Landsat 8

Presenta las mismas correcciones que las Landsat 7 incluyendo:

Corrección de la posesión del sol: Esta corrección se realiza para ajustar la imagen a la posición exacta del sol en el momento en que se tomó la imagen.

Corrección de banda espuria: Esta corrección se realiza para eliminar los artefactos de las imágenes que pueden ser causados por la interferencia de las señales de la Tierra.

a). Corrección por bandeamiento.

El bandeamiento es un error que se puede observar en las imágenes de satélite y que se caracteriza por la pérdida de filas y columnas de píxeles. El 31 de mayo del 2003 el satélite landsat 7 el Corrector de Escaneo Lineal (SLC), que compensa el movimiento de avance del Landsat 7 fracasó, debido a eso desde el 14 de julio de 2003 las imágenes se han recopilado en modo "SLC-off" lo que ocasiona que las imágenes contengan un patrón en Zig – Zag con columnas y filas de datos faltantes. Para corregir este error ocasionado por el mal funcionamiento del sensor se hizo uso del software libre QGIS cuya dirección es **Ráster -> Análisis -> Rellenar sin datos** donde se cargan las imágenes que se desean corregir y un paquete **gap_mask** que se descarga automáticamente con las imágenes landsat 7. Las imágenes que necesitaron ser corregidas por bandeamiento fueron de los años 2005, 2006, 2008, 2009, 2011 y 2012; este proceso se repitió para cada uno de los años.

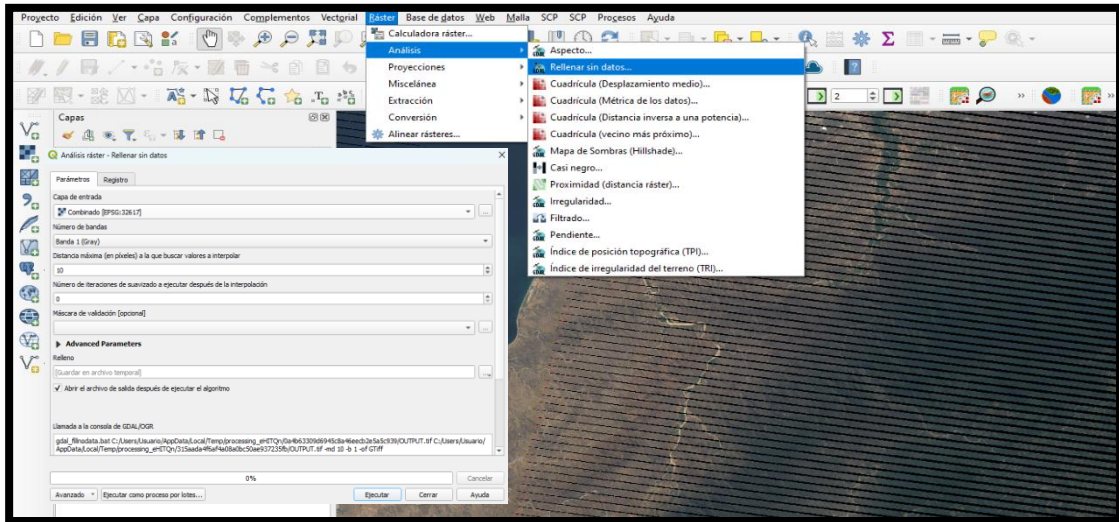


Figura 8. Corrección por bandeamiento en imágenes Landsat 7.

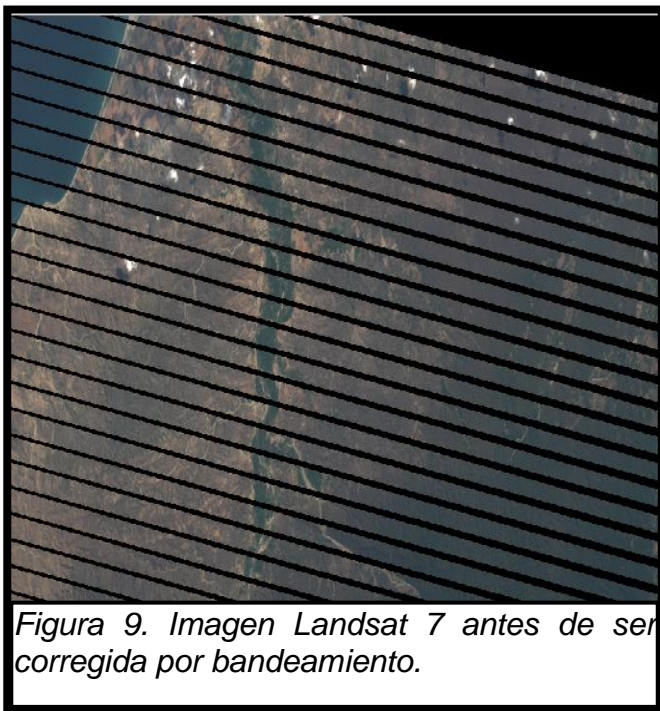


Figura 9. Imagen Landsat 7 antes de ser corregida por bandeamiento.

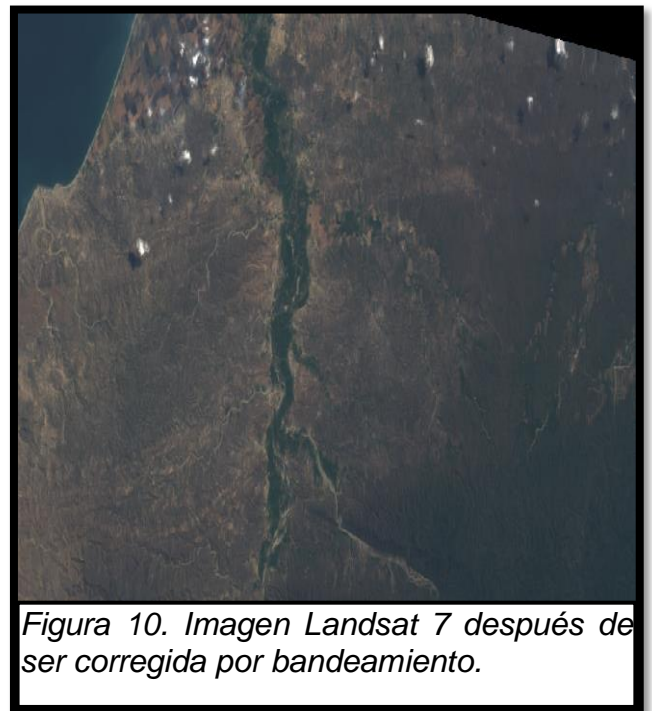


Figura 10. Imagen Landsat 7 después de ser corregida por bandeamiento.

Para la obtención de los caudales máximos se procedió a descargar parte de ellos de forma gratuita de la página de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/Index2.aspx?IdVar=263> el resto de los caudales se obtuvieron de la tesis para grado de ingeniero Agrícola de (Abarca Medina, 2024).

Descargar Datos

Filtros

AAA: Jequetepeque Zaramilla | ALA: Tumbes | Estación: EL TIGRE | Operador: PEBPT | Variable: Caudal MAX 1DIA

Tipo 1: Convencional | Tipo 2: Hidrométrica | Desde: 01/01/2000 | Hasta: 01/12/2023

Buscar

Show 10 entries

Nº	AAA	ALA	Tipo 1	Tipo 2	Estación	Fecha de Inicio	Fecha Final	Cantidad de Datos	Variable	Operador	Descargar Estación	Descargar Todo	Descargar por Fecha
1	Jequetepeque Zaramilla	Tumbes	Convencional	Hidrométrica	EL TIGRE	01/06/2016	20/03/2023	1927	CAUDAL MAX 1DIA	PEBPT			

Showing 1 to 1 of 1 entries

Figura 11. Página donde se obtuvieron los caudales máximos anuales

Fuente: Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH, s. f.).

Los caudales obtenidos de la página del SNIRH solo estaban disponibles para la estación hidrométrica el Tigre en caudales máximos diarios, debido a eso se tuvo que realizar una extracción para obtener caudales máximos anuales, esto solo para los años 2020, 2021 y 2023, los caudales anteriores a esos se encontraron en máximos anuales en la tesis de pregrado (Abarca, 2024) que corresponden a los años 2000 hasta 2019. En la **tabla 8** se muestran los caudales obtenidos.

Tabla 8. Caudales máximos anuales

Fecha	Qmax m³/s	Mes
2000	1238.1	marzo
2001	2756.2	marzo
2002	2646.6	marzo
2003	681.4	marzo
2004	602	febrero
2005	1012.8	marzo
2006	1583.3	febrero
2007	696.6	marzo
2008	1800	febrero
2009	1957.2	febrero
2010	1995	marzo
2011	1292.4	abril
2012	2616.7	marzo
2013	759.9	marzo
2014	989.6	mayo
2015	1887.7	marzo
2016	1598.7	marzo
2017	1317.7	marzo
2018	613.3	febrero
2019	1347.1	marzo
2020	671.4	febrero

2021	1253.4	marzo
2023	941.61	marzo

Fuente: Tomado del Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) y de Abarca (2024).

3.4. Procesamiento de datos

3.4.1. Evaluación de los caudales máximos para periodo de estudio.

Para el procesamiento de los datos se tomaron en cuenta solo los caudales que eran iguales o mayores a 1000 m³/s, tomando como referencia los umbrales críticos en la estación el Tigre establecidos por el Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), debido a los desbordamientos que sufre el río en esos umbrales resulta de mayor interés el estudio. De acuerdo con lo expuesto en la **tabla 8**, cuyas imágenes están ligadas a los caudales máximos anuales, se procedió a realizar el análisis de las mismas realizando el cálculo del NDVI que indispensable para lograr los objetivos de la investigación.

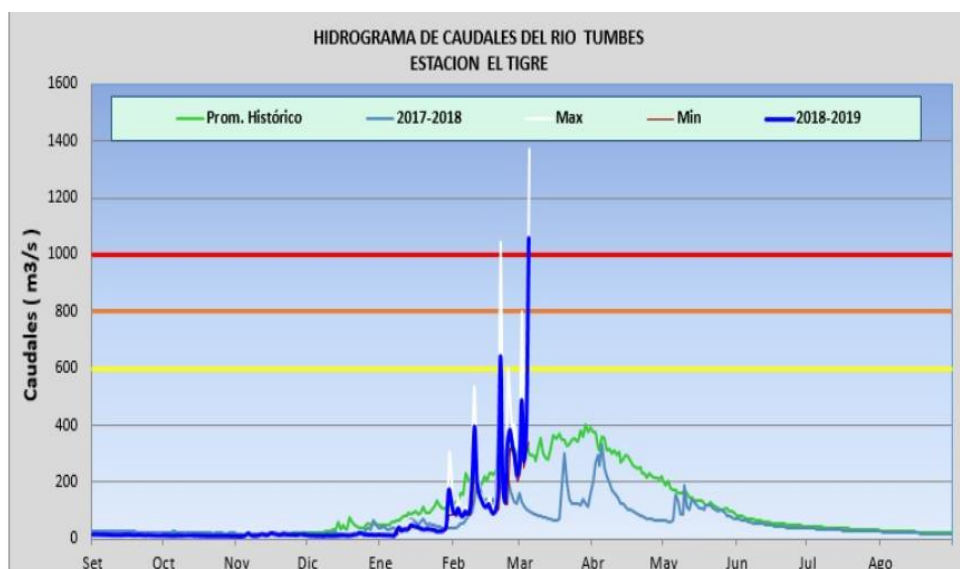


Figura 12. Se muestra el cuadro de umbrales establecido por el Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI).

Fuente: Tomado de la página de (SENAMHI Tumbes - Prensa, s. f.)

Los caudales máximos anuales nos ayudaron a identificar la relación que existe entre la variabilidad geomorfológica que ha sufrido el cauce del río Tumbes a través de los años a partir del 2000 hasta el año 2023, de las 15 imágenes satelitales descargadas y analizadas tanto para Landsat 7 y Landsat 8 de los años con caudales superiores a 1000 m³/s, ayudaron a identificar los periodos en donde el cauce ha sufrido una mayor migración. Los caudales que se utilizaron para esta investigación se muestran en la **tabla 9**.

Tabla 9. Caudales máximos con los que se realizó el trabajo de investigación $\geq 1000\text{m}^3/\text{s}$.

Fecha	Qmax m ³ /s	Mes
2000	1238.1	marzo
2001	2756.2	marzo
2002	2646.6	marzo
2005	1012.8	marzo
2006	1583.3	febrero
2008	1800	febrero
2009	1957.2	febrero
2011	1292.4	abril
2012	2616.7	marzo
2015	1887.7	marzo
2016	1598.7	marzo
2017	1317.7	marzo
2019	1347.1	marzo
2021	1253.4	marzo
2023	941.61	marzo

Fuente: Tomado (SNIRH) y de (Abarca, 2024).

Para el caudal del año 2010 que es de 1995 m³/s no se encontraron imágenes satelitales sin nubosidad por lo que no se pudo considerar en el trabajo de investigación, por otro lado, para el año 2023 cuyo caudal es inferior a los 1000 m³/s, se tomó en cuenta dado que es el último año de la investigación.

3.4.2. Procesamiento de las imágenes Landsat

a). Cálculo del NDVI.

Para el cálculo del NDVI, se realizó el procesamiento de las imágenes Landsat 7 y Landsat 8 cuyos años analizados pertenecen a los periodos de caudales máximos anuales entre el 2000 y 2023, teniendo un total de 15 años evaluados, por lo que se realizó el proceso para las 15 imágenes descargadas.

Luego de obtener los materiales definidos se procedió a realizar la corrección por bandeamiento mencionado en el ítem 3.3.5 en el software QGIS, el proceso se repitió para las imágenes de Landsat 7 a partir del 2005 hasta 2012. Luego en el Software ArcGIS 10.8 se procedió a realizar el cálculo del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se calcula a partir de la diferencia entre la luz reflejada en el infrarrojo cercano (NIR) y la luz reflejada en el rango rojo del espectro (RED), para ello se hizo uso de la herramienta algebra de mapas y de la calculadora ráster siguiendo la ruta **Spatial Analys Tools -> Map Algebra -> Raster Calculator**, que se encuentran en la caja de herramientas del software.

Una vez realizado el cálculo del NDVI se procede a realizar un recorte de la imagen para el área de estudio, dicho recorte se realizó atreves de la herramienta extracción por máscara siguiendo la ruta **Spatial Analys Tools -> Extraction -> Extract by Mask** el proceso se realizó para cada una de las imágenes del periodo de análisis.

Para realizar el cálculo de NDVI podemos usar la ecuación (1), mencionada anteriormente.

Las imágenes Landsat 7 utilizan la banda 4 que pertenece al del espectro infrarrojo cercano y la banda 3 que pertenece al espectro rojo; de la misma forma Landsat 8 utilizan las bandas 5 que pertenece al infrarrojo cercano y la banda 4 que pertenece al espectro rojo.

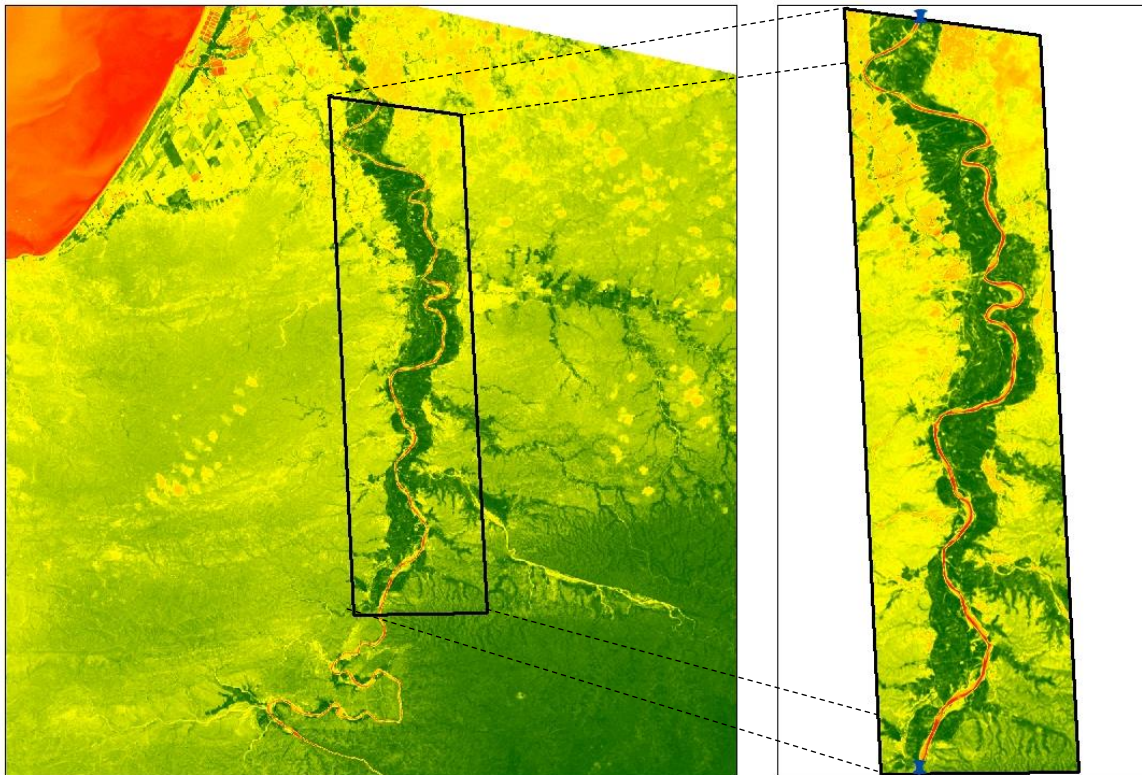


Figura 13. Cálculo del NDVI utilizando la herramienta Mapa de Algebras y recorte del área de estudio utilizando Extracción por Máscaras.

b). Clasificación supervisada.

Obtenidos los NDVI de las imágenes analizadas para un periodo de 15 años el paso siguiente sería realizar una clasificación supervisada en el software ArcGIS 10.8 utilizando el método de máxima verosimilitud (Maximum likelihood classifier) que permite agrupar píxeles que contengan una misma firma espectral, utilizando el criterio que se describe en el ítem 2.2.8 para los rangos del NDVI.

Tabla 10. Rangos de los Índices de Vegetación de Diferencia Normalizada NDVI

	Clase Valores de NDVI	Cobertura de la tierra
1	<-0.01	Clases no vegetales
2	-0.01 – 0.15	Tierra desnuda
3	0.15 – 0.25	Vegetación dispersa
4	0.25 – 0.40	Vegetación abierta
5	>0.4	Vegetación cerrada

Fuente: tomado de (Maguiña & Rogger, 2023)

b.1.) Definición de los Elementos de Cobertura o Recolección de Zonas de Entrenamiento.

Se definen los elementos de cobertura o llamada también zonas de entrenamiento que básicamente es darle a cada pixel una firma espectral única y pueda calcular valores iguales identificando firmas para cada rango de cobertura de la tierra según los rangos de los NDVI mencionados en la **tabla 10**, en ArcGIS creamos un shapefile e iniciamos a ubicar puntos o polígonos de muestreo por encima de las imágenes calculadas para el NDVI de acuerdo al valor del pixel, para que el sistema mediante el método de máxima verosimilitud (Maximum likelihood classifier) puede realizar la identificación y agrupación de pixeles con valores similares.

A continuación se definen las clases de la cobertura de suelo:

Clases no vegetales.- Se consideran clases no vegetales a las áreas que no presentan características para la agricultura, como por ejemplo los ríos, quebradas, lagunas, nubes y todo a aquello que presentan cuerpos de agua.

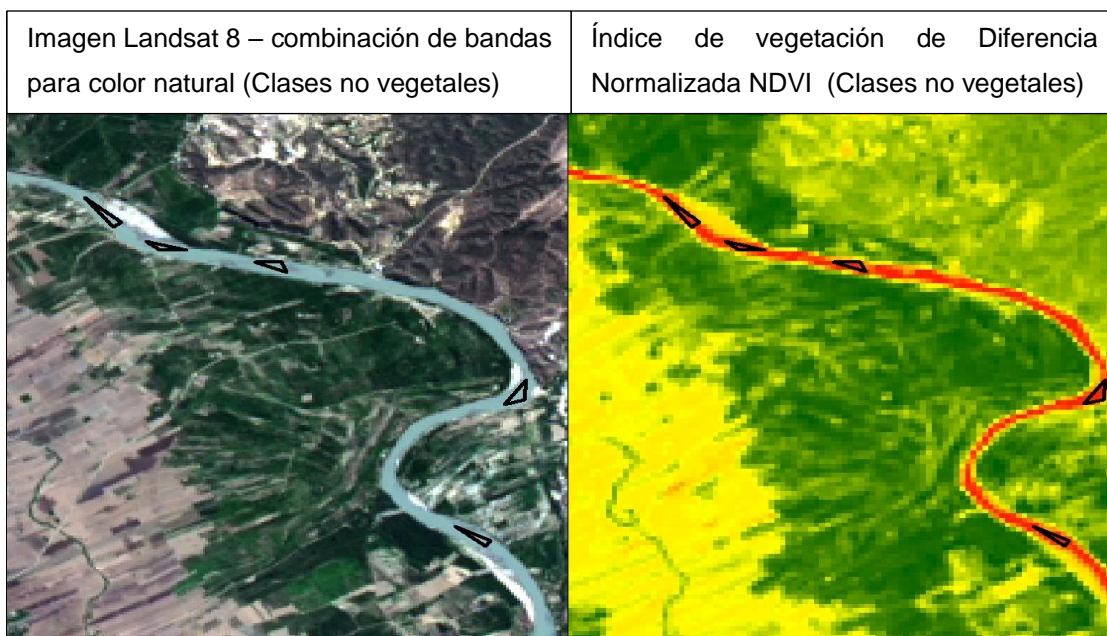


Figura 14. Definición de cobertura - Clases no vegetales

Tierras desnudas.- Se consideran tierras desnudas a las áreas que son ocupadas por tierras degradadas, construcciones, asentamientos, vías, suelo sin cobertura vegetal.

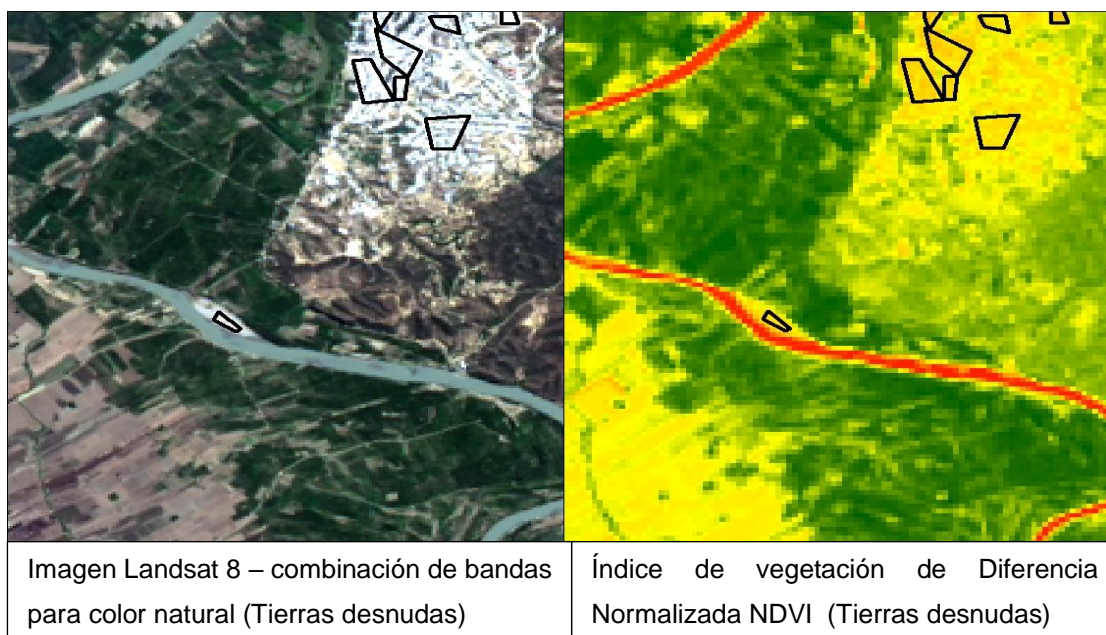


Figura 15. Definición de cobertura - Tierras desnudas

Vegetación dispersa.- Se considera vegetación dispersa a las áreas ocupadas por tierras cultivadas, herbazales, terreno arado para cultivo, pastizales.

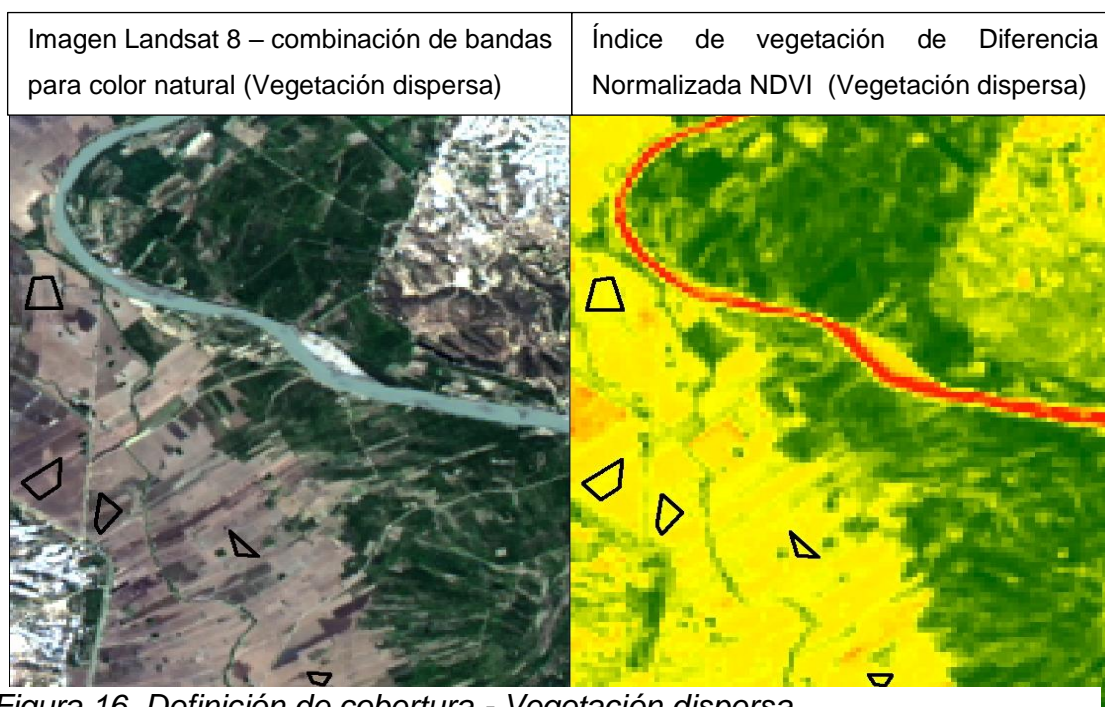


Figura 16. Definición de cobertura - Vegetación dispersa.

Vegetación abierta.- Se considera vegetación abierta a las áreas ocupadas por vegetación leñosa, plantación arbustiva, bosque seco.

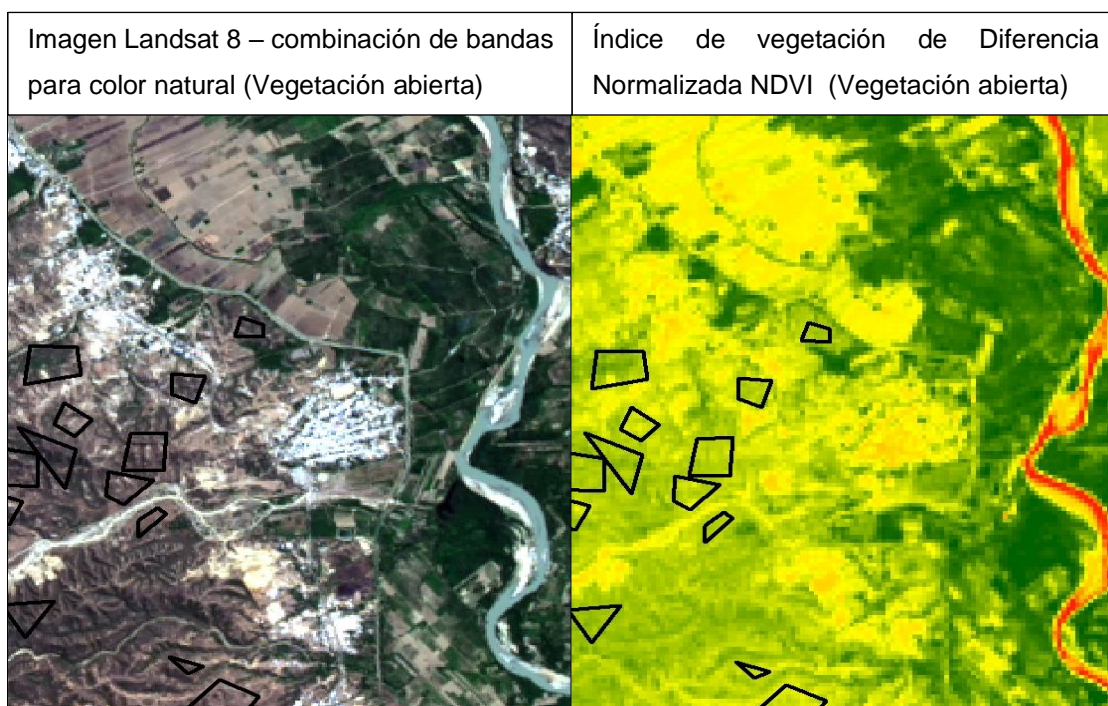


Figura 17. Definición de cobertura - Vegetación abierta.

Vegetación cerrada.- Se considera vegetación cerrada a las áreas ocupadas por plantas densas en crecimiento, bosque húmedo.

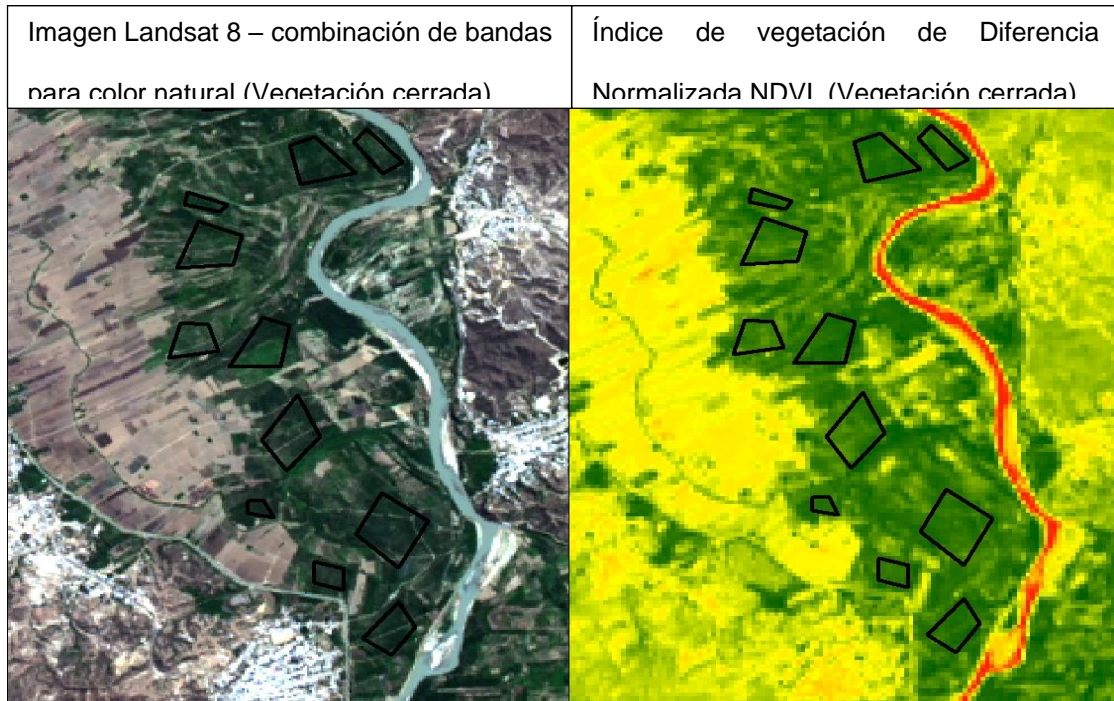


Figura 18. Definición de cobertura - Vegetación cerrada.

b.2). Resultados de la clasificación supervisada.

Terminado el entrenamiento de las imágenes satelitales, se procede mediante el método de máxima verisimilitud (**Maximum likelihood classifier**) a realizar la clasificación supervisada.

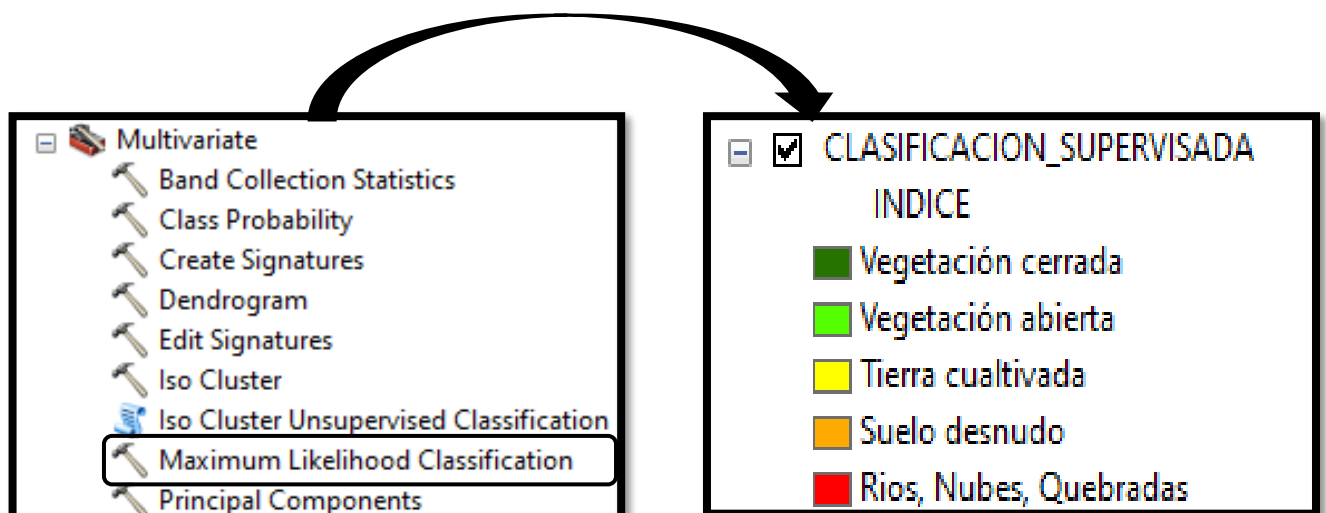


Figura 19. Método de máxima verosimilitud.

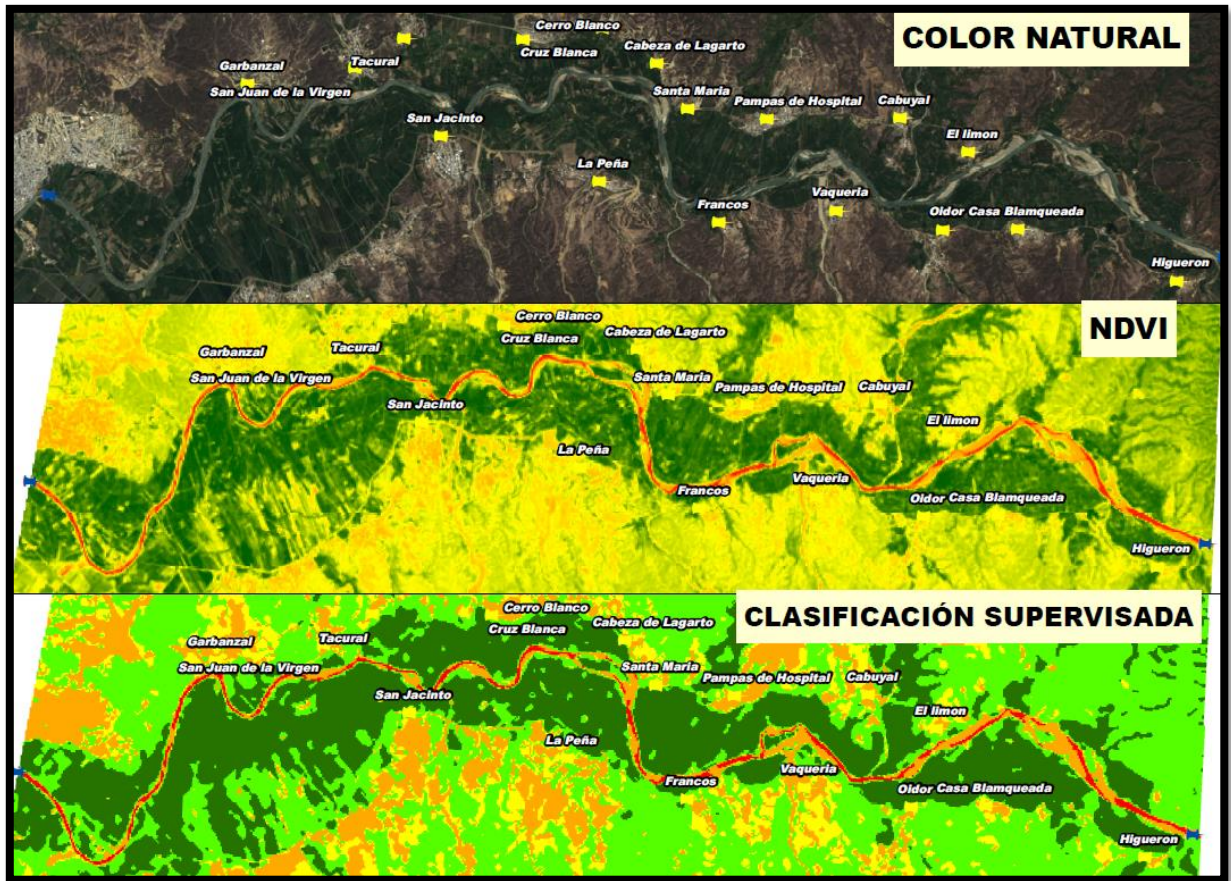


Figura 20. Comparación del Color natural - NDVI - Clasificación supervisada.

c.) Generación de mapas temáticos.

Realizado el cálculo del NDVI, el entrenamiento y clasificación supervisada de las imágenes Landsat 7 para los años de análisis 2000, 2001, 2002, 2005, 2006, 2008, 2009, 2011, 2012 y Landsat 8 para los años 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 y 2023, se generaron mapas de variabilidad multitemporal de río Tumbes, tramo Higueros – Puente Tumbes 2000-2023 para cada año de estudio y se identificó en que periodos se ha generado mayor variabilidad de río.

d.) Cálculo de la sinuosidad del cauce del río Tumbes, tramo Higuerón – Puente Tumbes.

Obtenidos los resultados del procesamiento de las imágenes para los años de análisis, se realizó la estimación de la longitud de Thalweg (longitud tomada del cauce considerando cada una de sus curvaturas), y la longitud recta (longitud del cauce sin considerar las curvaturas, solo tomando punto inicial y final del tramo de río) para estimar la sinuosidad del cauce. El cálculo de la sinuosidad del cauce se realizó mediante la ecuación (2).

Este proceso se realizó para cada uno de los años de análisis de este estudio, se realizó la clasificación del cauce según su tipo de sinuosidad mostrada anteriormente en la **tabla 3**, determinando las longitudes correspondientes del cauce y la sinuosidad del cauce, dio lugar a la generación de mapas temáticos para representar como se modifica la morfología del cauce del río Tumbes como consecuencia de la variación multitemporal, tramo Higuerón – Puente Tumbes 2000 – 2023.

Tabla 11. Tipología del cauce.

Tipo de Cauce	Sinuosidad
Recto	Cercana a 1
Ligeramente Sinuoso	1.05 – 1.5
Meandriforme	> 1.05
Entrelazado	> 1.3
Divagantes	Cercano a 1.5
Anastomosado	> 2

Fuente= Tomado de (Maguiña & Rogger, 2023).

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología mostrada en el capítulo III, la interpretación de resultados y discusión de cada uno de los objetivos planteados en esta investigación.

4.1. Resultados.

4.1.1. Caudales máximos

Fueron analizados en los 15 años de estudio desde el año 2000 hasta el año 2023 para caudales máximos que superaron los 1000 m³/s que como lo indica el SENAMHI es el punto mínimo del nivel crítico de inundaciones en la región de Tumbes; los resultados que se obtuvieron a partir de la investigación fueron los siguientes:

El cauce del río Tumbes presenta una variación que va desde 28606.60 metros, hasta 30973.74 metros con respecto a su longitud en el tramo Higuerón – Puente Tumbes, lo que evidencia un desplazamiento de cauce de 2367.15 metros a lo largo del periodo de estudio. Analizando la variación del cauce para cada año podemos observar el desplazamiento que ha sufrido el cauce del río Tumbes, tramo Higuerón – Puente Tumbes en el periodo 2000 – 2023. Además observamos que a partir del 2011 la longitud del cauce ha aumentado en más de un kilómetro hasta el 2023, indicando que los caudales máximos que generan la mayor variación del cauce se generan a partir de esa fecha.

El año 2011 cuyo caudal fue de 1292.40 m³/s el cauce del río Tumbes presentó una longitud de 29700.37 metros, año en el que se evidenció de forma más visual la migración del cauce del río; para el año 2012 con un caudal máximo de 2616.70

m³/s, presentó una longitud del cauce de 29822.30 metros; para el año 2015 cuyo caudal máximo fue de 1887.70 m³/s, se registró una longitud del cauce del río de 30032.88 metros; para el año 2016 con un caudal máximo de 1598.70 m³/s, presenta una longitud del cauce de 30623.06 metros; para el año 2017 con caudal máximo de 1317.70 m³/s, se registró una longitud del cauce del río de 30492.80 metros; para el año 2019 con un caudal de 1347.10 m³/s, la longitud del cauce del río Tumbes fue de 30939.33 metros; en el año 2021 cuyo caudal fue de 1253.40 m³/s se registró una longitud de 30973.74 metros; finalmente para el año 2023 con un caudal máximo de 941.61 m³/s la longitud del cauce que se registró fue de 30620.84 metros.

Para el primer objetivo se obtuvieron los caudales máximos que generaron la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, donde los sectores más perjudicados fueron aquellos que se localizan en la margen derecha del río Tumbes, dentro de los sectores se encuentran los centros poblados de Garbanzal, San Juan de la Virgen, Tacural, Cerro Blanco, Cruz Blanca, Cabeza de Lagarto, Santa María y Pampas de Hospital.

La **figura 21**, muestra la variación que ha sufrido el cauce del río Tumbes a partir del año 2011 hasta el 2023 cuyos años han tenido mayor incidencia en la migración del río Tumbes tramo Higuerón – Puente Tumbes en el periodo 2000 – 2023, cada uno de los gráficos están siendo superpuestos con el año 2000 que es la base de comparación.

Tabla 12. Longitud del cauce con respecto a sus caudales máximos.

Años analizados	Longitud del cauce	Qmax (m³/s)
2000	28606.60	1238.10
2001	29144.38	2756.20
2002	28676.72	2646.60
2005	29303.87	1012.80
2006	28726.78	1583.30
2008	29469.05	1800.00
2009	29554.91	1957.20
2011	29700.37	1292.40
2012	29822.30	2616.70
2015	30032.88	1887.70
2016	30623.06	1598.70
2017	30492.80	1317.70
2019	30939.33	1347.10
2021	30973.74	1253.40
2023	30620.84	941.61

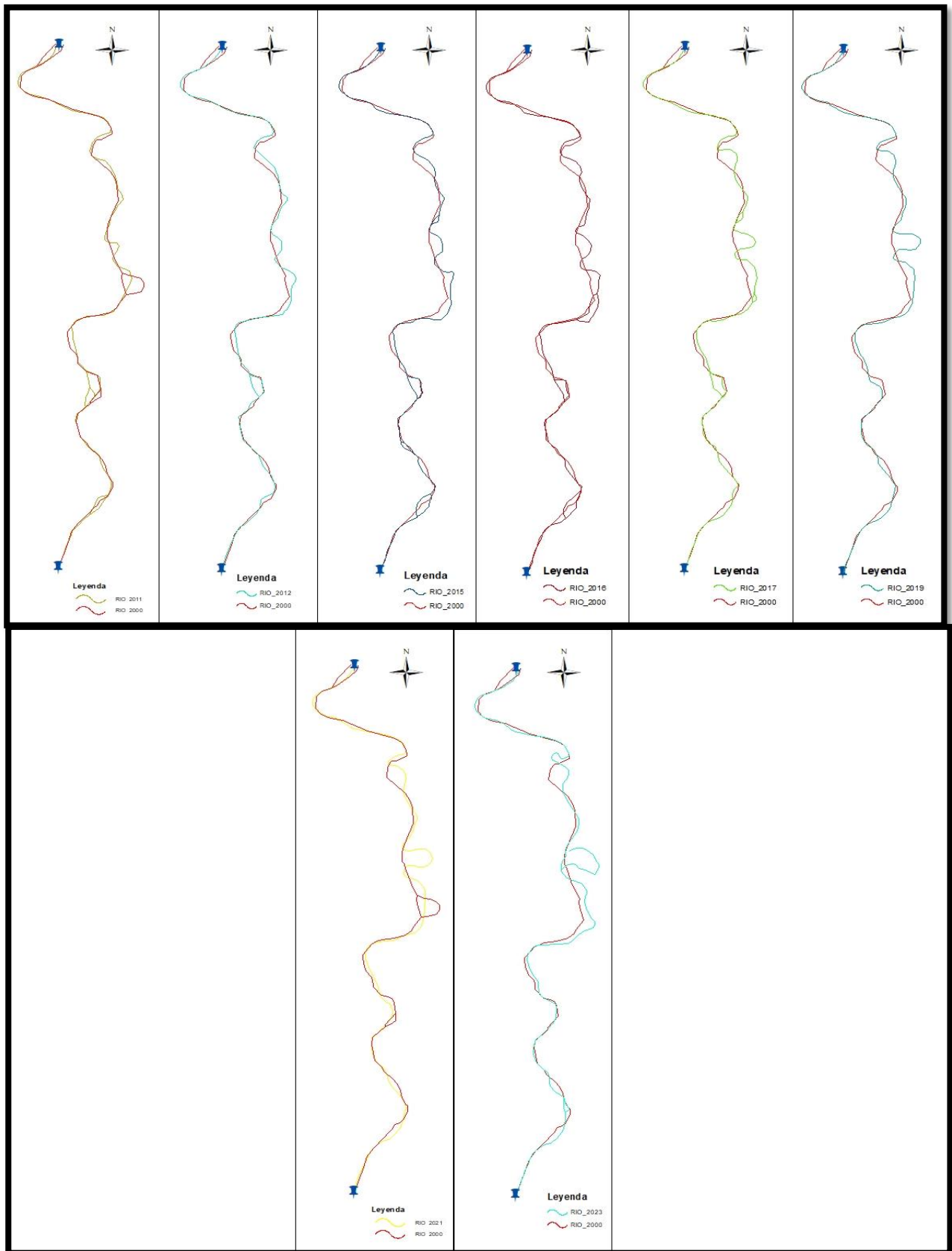


Figura 21. Comparación del cauce del río Tumbes con el año base 2000.

4.1.2. Morfología del cauce

De la misma forma que a los caudales máximos, las imágenes fueron analizadas por cada año para todo el periodo de estudio y se realizó mapas temáticos para cada una, las que luego se compararon para visualizar los cambios que ha sufrido el cauce del río Tumbes a lo largo de los años; los resultados se detallan a continuación, además se muestran en la **tabla 13**.

Teniendo como base el año 2000 para comparar la variación del cauce del río Tumbes dentro de los 15 años de estudio se calcularon las longitudes de cada año teniendo una longitud de 28606.60 metros para el año base 2000.

Para el año 2001, se calculó una longitud de 29144.38 metros, realizando la comparación con el año 2000 se demostró que existe una variación de 537.78 metros lo que lleva a un incremento del 1.88% con el año base.

Para el año 2002, se calculó una longitud de 28676.72 metros que con respecto al año 2001 se puede apreciar una disminución de -467.66 metros, pero con respecto al año base de comparación se aprecia un incremento mínimo de 70.12 metros lo que lleva a un incremento del 0.25% del cauce del río.

Para el año 2005, se calculó una longitud del cauce de 29303.87 metros que con respecto al año 2002 se puede apreciar un aumento de 627.15 metros, pero con respecto al año base de comparación, se puede apreciar un aumento casi igual con longitud de 697.27 metros, teniendo un incremento del 2.44%.

Para el año 2006, se calculó una longitud del cauce de 28726.78 metros que con respecto al año 2005 se puede visualizar una disminución de -577.09 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede apreciar un aumento de 120.18 metros lo que generó un incremento del 0.42%.

Para el año 2008, se calculó una longitud del cauce de 29469.05 metros que con respecto al año 2006 se puede visualizar un aumento de 742.27 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 862.45 metros lo que generó un incremento del 3.01%.

Para el año 2009, se calculó una longitud del cauce de 29554.91 metros que con respecto al año 2008 se puede visualizar un aumento de 85.86 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 948.31 metros lo que generó un incremento del 3.32%.

Para el año 2011, se calculó una longitud del cauce de 29700.37 metros que con respecto al año 2009 se puede visualizar un incremento de 145.45 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un incremento de 1093.77 metros lo que generó un incremento del 3.82%.

Para el año 2012, se calculó un aumento del cauce de 29822.30 metros que con respecto al año 2011 se puede visualizar un aumento de 121.93 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 1215.70 metros, lo que generó un incremento del 4.25%.

Para el año 2015, se calculó una longitud del cauce de 30032.88 metros que con respecto al año 2012, se puede visualizar un aumento de 210.58 metros, pero con respecto al año base de comparación, se puede visualizar un aumento de 1426.28 metros, lo que generó un incremento del 4.99%.

Para el año 2016, se calculó una longitud del cauce de 30623.06 metros que con respecto al año 2015, se puede visualizar un aumento de 590.18 metros, pero con respecto al año base de comparación, se puede visualizar un aumento de 2016.46 metros, lo que generó un incremento del 7.05%.

Para el año 2017, se calculó una longitud del cauce de 30492.80 metros que con respecto al año 2016, se puede visualizar una disminución de -130.26 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 1886.20 metros, lo que generó un incremento del 6.59%.

Para el año 2019, se calculó una longitud del cauce de 30939.33 metros que con respecto al año 2017, se puede visualizar un aumento de 446.53 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 2332.73 metros, lo que generó un incremento del 8.15%.

Para el año 2021, se calculó una longitud del cauce de 30973.74 metros, que con respecto al año 2019, se puede visualizar un aumento de 34.42 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 2367.15 metros, lo que generó un incremento del 8.27%.

Finalmente para el año 2023, se calculó una longitud del cauce de 30620.84 metros, que con respecto al año 2021, se puede visualizar una disminución de -352.90 metros, pero con respecto al año base de comparación se puede visualizar un aumento de 2014.24 metros, lo que generó un incremento del 7.04%.

En la **tabla 13** se muestra el resumen de la variación del cauce del río Tumbes tramo Higuierón – Puente Tumbes para el periodo 2000 – 2023, donde se puede visualizar el aumento y/o disminución que ha sufrido el cauce a largo del tiempo, así como también el incremento en porcentajes, tomado como base de comparación el año 2000.

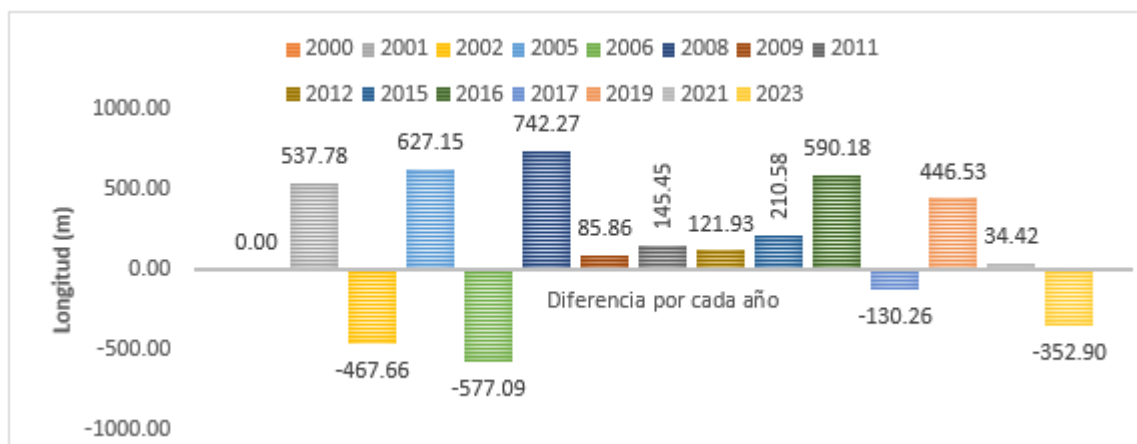
Tabla 13. Analisis del incremento y/o disminución del cauce del rio Tumbes.

Años analizados	Longitud del cauce	Qmax (m ³ /s)	Diferencia por cada año	Diferencia con año base	Incremento %
2000	28606.60	1238.10	0.00	0.00	0.00%
2001	29144.38	2756.20	537.78	537.78	1.88%
2002	28676.72	2646.60	-467.66	70.12	0.25%
2005	29303.87	1012.80	627.15	697.27	2.44%
2006	28726.78	1583.30	-577.09	120.18	0.42%
2008	29469.05	1800.00	742.27	862.45	3.01%
2009	29554.91	1957.20	85.86	948.31	3.32%
2011	29700.37	1292.40	145.45	1093.77	3.82%
2012	29822.30	2616.70	121.93	1215.70	4.25%
2015	30032.88	1887.70	210.58	1426.28	4.99%
2016	30623.06	1598.70	590.18	2016.46	7.05%
2017	30492.80	1317.70	-130.26	1886.20	6.59%
2019	30939.33	1347.10	446.53	2332.73	8.15%
2021	30973.74	1253.40	34.42	2367.15	8.27%
2023	30620.84	941.61	-352.90	2014.24	7.04%

Los valores calculados en la **tabla 13** presentada anteriormente se obtuvieron a través del software ArcGIS 10.8 luego de realizar el trazo de cada una de las longitudes del cauce del río Tumbes para los años de análisis con ayuda de las imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 posterior a su procesamiento, con las cuales se logró realizar los mapas temáticos para su comparación gráfica con todos los años de estudio, las longitudes calculadas sirvieron también para poder calcular la sinuosidad del cauce en cada periodo de tiempo.

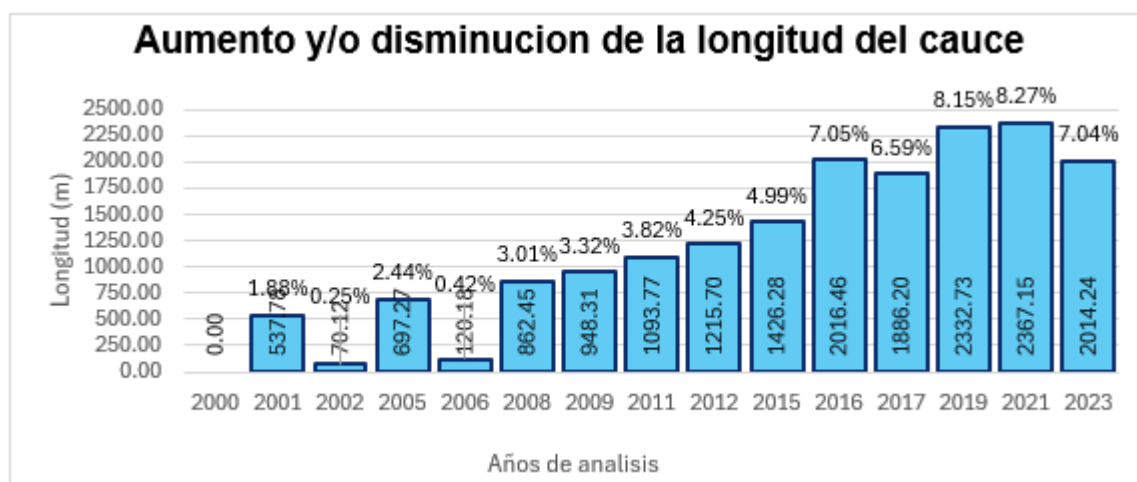
A continuación se muestran las gráficas obtenidas a partir de los cálculos de las longitudes del cauce, donde se evidencia de forma resumida las variaciones multitemporales que ha sufrido el cauce.

En la **gráfica 1**, se muestra la variación de las longitudes del cauce comparadas año tras año de forma simultánea, donde se logra apreciar como aumenta y/o disminuye las longitudes a través del tiempo .



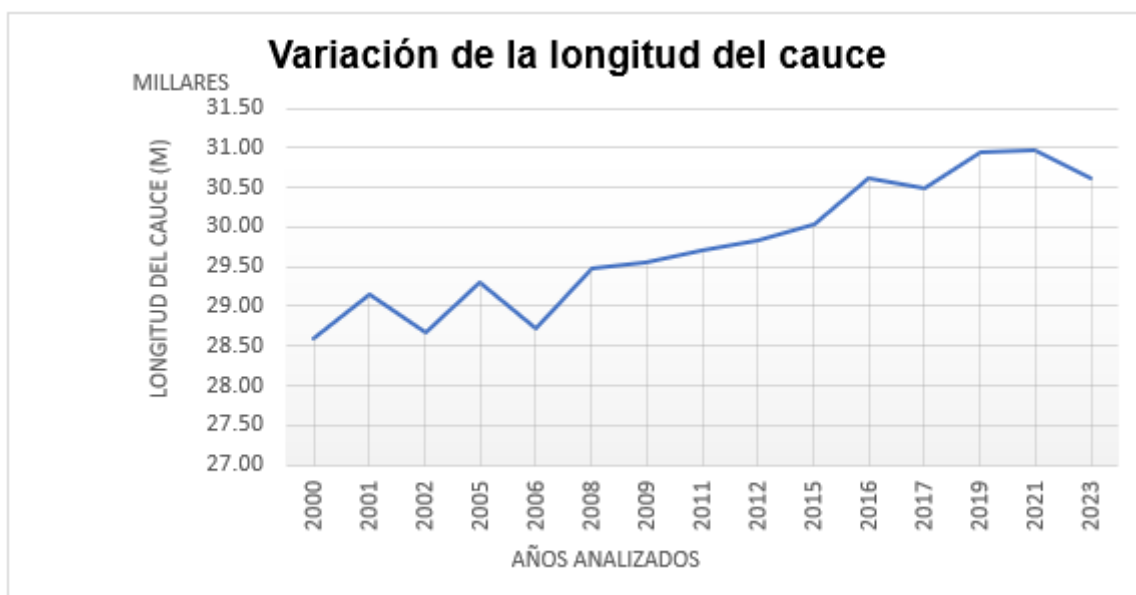
Gráfica 1. Variación de la longitud del cauce analizadas año tras año para todo el periodo de estudio.

En la **gráfica 2**, se muestra la variación que ha sufrido el cauce con respecto al año base de estudio año 2000, donde se puede apreciar cómo ha ido aumentando la longitud del cauce dentro del periodo de estudio 2000 – 2023, se muestra también el incremento por cada año de forma porcentual.



Gráfica 2. Aumento y/o disminución de la longitud del cauce con respecto al año base de análisis.

En la **gráfica 3**, se muestra la evolución del cauce a lo largo de los años, se puede observar que para el año 2000 tenía una longitud de 28606.60 metros y para el 2023 pasó a tener una longitud de 30620.84, lo que resulta con una diferencia de 2014.24 metros, cuyos picos más altos los encontramos en los años 2019 y 2021 con una longitud de cauce de 30939.33 metros y 30973.74 metros respectivamente.



Gráfica 3. Variación de la longitud del cauce del río Tumbes periodo 2000 - 2023.

4.1.3. Cálculo de la sinuosidad del cauce.

Para el cálculo de la sinuosidad del cauce se tomaron las longitudes del cauce de cada periodo de año; se tomó la longitud de Thalweg que indica que se debe tomar el total de la longitud del cauce incluyendo las curvaturas que este presenta y la longitud recta del cauce la que no incluye curvaturas, se toma la longitud recta que une el punto de inicio con el punto final del tramo estudiado; este proceso se realizó para cada una de las imágenes.

Los resultados obtenidos nos dieron una sinuosidad del cauce que oscila entre 1.35 y 1.46, lo que nos indica la **tabla 14** y los mapas temáticos (ver anexos) que el río Tumbes presenta una sinuosidad baja o también llamado un río ligeramente sinuoso; la siguiente tabla muestra los resultados de la sinuosidad del cauce para cada año de estudio.

Tabla14. Grados de la sinuosidad del cauce del río Tumbes.

Años analizados	Longitud del cauce	Distancia recta del cauce	sinuosidad del cauce
2000	28606.60	21260.66	1.35
2001	29144.38	21260.66	1.37
2002	28676.72	21260.66	1.35
2005	29303.87	21260.66	1.38
2006	28726.78	21260.66	1.35
2008	29469.05	21260.66	1.39
2009	29554.91	21260.66	1.39
2011	29700.37	21260.66	1.40
2012	29822.30	21260.66	1.40
2015	30032.88	21260.66	1.41
2016	30623.06	21260.66	1.44
2017	30492.80	21260.66	1.43
2019	30939.33	21260.66	1.46
2021	30973.74	21260.66	1.46
2023	30620.84	21260.66	1.44

En la **figura 22**, se puede visualizar el cauce que mostró mayor sinuosidad en el año 2021, cuyo grado de sinuosidad es de 1.46, la figura muestra que evidentemente el cauce se clasifica como un río de baja sinuosidad según (Maguiña & Rogger, 2023).

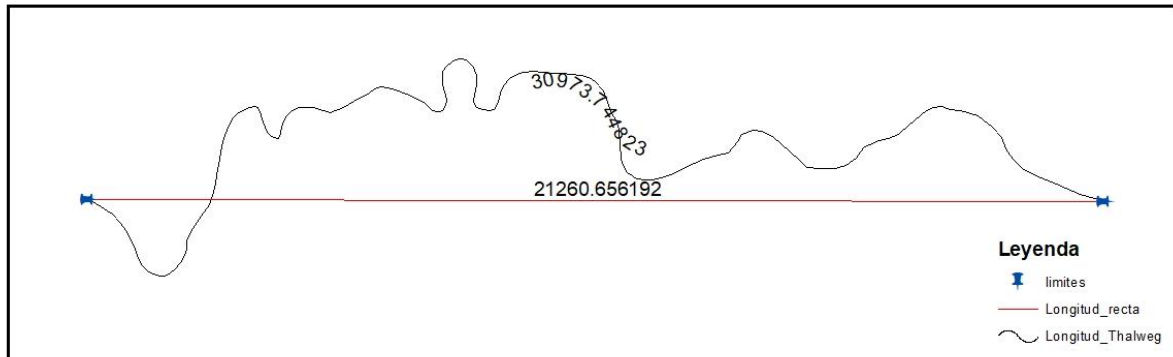


Figura 22. Sinuosidad del cauce en el año 2021.

4.1.4. Áreas agrícolas

En este trabajo de investigación se ha considerado a las áreas agrícolas como la vegetación cerrada según la clasificación de suelos del NDVI mostrados anteriormente en la **tabla 2**. Los resultados obtenidos para este objetivo se muestran a continuación en la **tabla 15**.

Vegetación cerrada; considerando como punto de partida o año base de comparación tenemos el año 2000, este inicio de periodo de estudio cuyo caudal fue de $1238.1 \text{ m}^3/\text{s}$, presenta un total de 6145.02 Ha; para el año 2001 con un caudal de $2756.2 \text{ m}^3/\text{s}$, se estimó un área de 2818.51 Ha, lo que indica una reducción de 3326.51 Ha, esto representa una variación de un 54%; para el año 2002 con un caudal de $2646.6 \text{ m}^3/\text{s}$, se calculó un área de 2639.81 Ha, lo que indica una reducción de 3505.21 Ha, esto representa una variación de un 57%; para el año 2005 con un caudal de $1012.8 \text{ m}^3/\text{s}$, se calculó un área de 2939.94 Ha, lo que indica una reducción de 3205.08 Ha, esto representa una variación de un 52%, para el año 2006 con un caudal de $1583.3 \text{ m}^3/\text{s}$, se calculó un área de 3901.23 Ha, lo que indica una reducción

de 2243.79 Ha, esto representa una variación de un 37%; para el año 2008 con un caudal de 1800 m³/s, se calculó un área de 3904.83 Ha, lo que indica una reducción de 2240.19 Ha, esto representa una variación de un 36%; para el año 2009 con un caudal de 1957.2 m³/s, se calculó un área de 2358.90 Ha, lo que indica una reducción de 3786.12 Ha, esto representa una variación de un 62%; para el año 2011 con un caudal de 1292.4 m³/s, se calculó un área de 3096.54 Ha, lo que indica una reducción de 3048.48 Ha, esto representa una variación de un 50%; para el año 2012 con un caudal de 2616.7 m³/s, se calculó un área de 2271.51 Ha, lo que indica una reducción de 3873.51 Ha, esto representa una variación de un 63%; para el año 2015 con un caudal de 1887.7 m³/s, se calculó un área de 3974.23 Ha, lo que indica una reducción de 2170.79 Ha, esto representa una variación de un 35%; para el año 2016 con un caudal de 1598.7 m³/s, se calculó un área de 3428.28 Ha, lo que indica una reducción de 2716.74 Ha, lo que representa una variación de un 44%; para el año 2017 con un caudal de 1317.7 m³/s, se calculó un área de 4866.39 Ha, lo que indica una reducción de 1278.63 Ha, esto representa una variación de un 21%; para el año 2019 con un caudal de 1347.1 m³/s, se calculó un área de 4576.05 Ha, lo que indica una reducción de 1568.97 Ha, esto representa una variación de un 26%; para el año 2021 con un caudal de 1253.4 m³/s, se calculó un área de 5896.53 Ha, lo que indica una reducción de 248.49 Ha, esto representa una variación de un 4%; finalmente para el año 2023 con un caudal de 941.61 m³/s, se calculó un área de 4842.18 Ha, lo que indica una reducción de 1302.84 Ha, esto representa una variación de un 21%.

Vegetación abierta; considerando como punto de inicio el año 2000 y base de comparación con los años siguientes de análisis, se calculó un área de 4488.66 Ha; para el año 2001 se calculó un área de 2269.64 Ha, lo que indica una reducción de 2219.02 Ha, esto representa una variación de un 49%; para el año 2002 se calculó

un área de 2233.24 Ha, lo que indica una reducción de 2255.42 Ha, esto indica una variación de un 50%; para el año 2005 se calculó un área de 517.32 Ha, lo que indica una reducción de 3971.34 Ha, esto representa una variación de un 88%; para el año 2006 se calculó un área 2671.92 Ha, lo que indica una reducción de 1816.74 Ha, esto representa una variación de un 40%; para el año 2008 se calculó un área de 5015.79 Ha, lo que indica un incremento de 527.13 Ha, esto representa una variación de un 12%; para el año 2009 se calculó un área de 2069.01Ha lo que indica una reducción de 2419.65 Ha, esto indica una variación de un 54%; para el año 2011 se calculó un área de 2370.60 Ha, lo que indica una reducción de 2118.06 Ha, esto representa una variación de un 47%.; para el año 2012 se calculó un área de 1715.22 Ha, lo que indica una reducción de 2773.44 Ha, esto representa una variación de un 62%; para el año 2015 se calculó un área de 6585.62 Ha, lo que indica un incremento de 2096.96 Ha, esto representa una variación de un 47%; para el año 2016 se calculó un área de 5525.37 Ha, lo que indica un incremento de 1036.71 Ha, esto representa una variación de un 23%; para el año 2017 se calculó un área de 5012.73 Ha, lo que indica un incremento de 524.07 Ha, esto representa una variación de un 12%; para el año 2019 se calculó un área de 3813.12 Ha, lo que indica una reducción de 675.54 Ha, esto representa una variación de un 15%; para el año 2021 se calculó un área de 1790.28 Ha, lo indica una reducción de 2698.38 Ha, esto indica una variación de un 60%; finalmente para el año 2023 se calculó un área de 3083.58 Ha, lo que indica una reducción de 1405.08 Ha, esto representa una variación de un 31%.

Tierra cultivada; considerando como punto de inicio el año 2000 y base de comparación con los años siguientes de análisis, se calculó un área de 377.19 Ha; para el año 2001 se calculó un área de 2221.25 Ha, lo que se reflejó en un incremento de 1844.06 Ha, para el año 2002 se calculó un área de 1141.76 Ha, lo que se reflejó

en un incremento de 764.57 Ha; para el año 2005 se calculó un área de 3245.40 Ha, lo que se reflejó en un incremento de 2868.21 Ha; para el año 2006 se calculó un área de 1236.87Ha, lo que se refleja en un incremento de 859.68 Ha; para el año 2008 se calculó un área de 901.26 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 524.07 Ha, para el año 2009 se calculó una área de 830.70 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 453.51 Ha; para el año 2011 se calculó un área de 1192.23 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 815.04 Ha; para el año 2012 se calculó un área de 1106.10 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 728.91 Ha; para el año 2015 se calculó un área de 536.76 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 159.57 Ha; para el año 2017 se calculó un área de 360.45 Ha, lo que se ve reflejado en una reducción de 16.74 Ha; para el año 2019 se calculó un área de 1425.51 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 1048.32 Ha; para el año 2021 se calculó un área de 1281.87 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 904.68 Ha; finalmente para el año 2023 se calculó un área de 751.05 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 373.86 Ha.

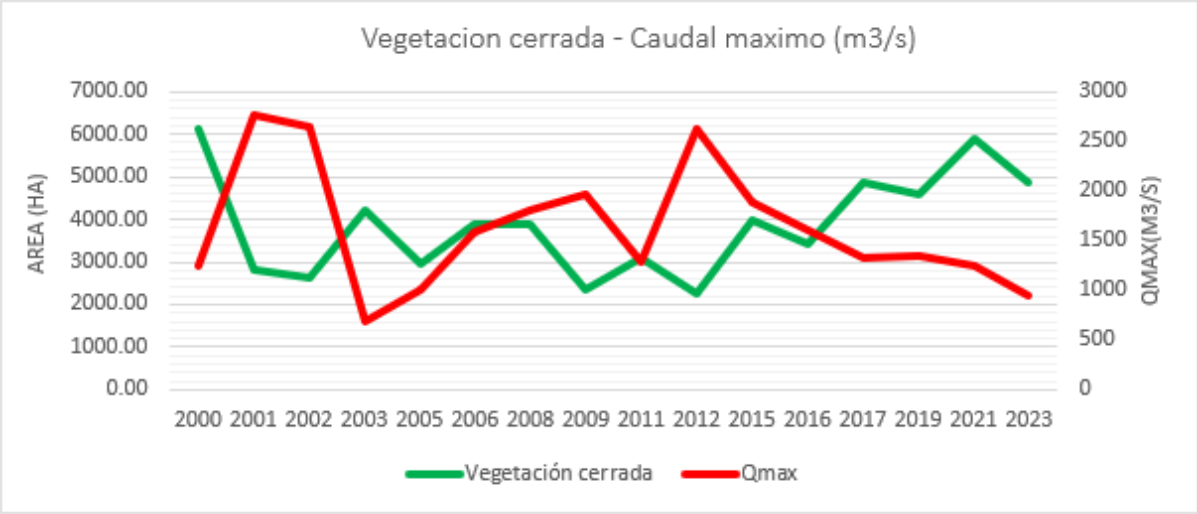
Suelo desnudo; considerando como punto de inicio el año 2000 y base de comparación con los años siguientes de análisis, se calculó un área de 508.59 Ha; para el año 2001, se calculó un área de 4294.73 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 3786.14 Ha; para el año 2002 se calculó un área de 5013.77 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 4505.18 Ha; para el año 2005 se calculó un área de 4911.12 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 4402.53 Ha; para el año 2006 se calculó un área de 3682.71 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 3174.12 Ha; para el año 2008 se calculó un área de 1818.09 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 1309.50 Ha; para el año 2009 se calculó un área de 6273.90 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 5765.31 Ha; para el año 2011

se calculó un área de 4689.63 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 4181.04 Ha; para el año 2012 se calculó un área de 6425.19 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 5916.60 Ha; para el año 2015 se calculó un área de 590.76 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 82.17 Ha; para el año 2016 se calculó un área de 1584.90 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 1076.31 Ha, para el año 2017 se calculó un área de 1303.65 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 795.06 Ha; para el año 2019 se calculó un área de 1766.43 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 1257.84 Ha; para el año 2021 se calculó un área de 2299.14 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 1790.55 Ha; finalmente para el año 2023 se calculó un área de 2674.62 Ha, lo que se ve reflejado en un incremento de 2166.03 Ha.

Tabla 15. Variación de las áreas agrícolas como consecuencia de la variación multitemporal del río Tumbes.

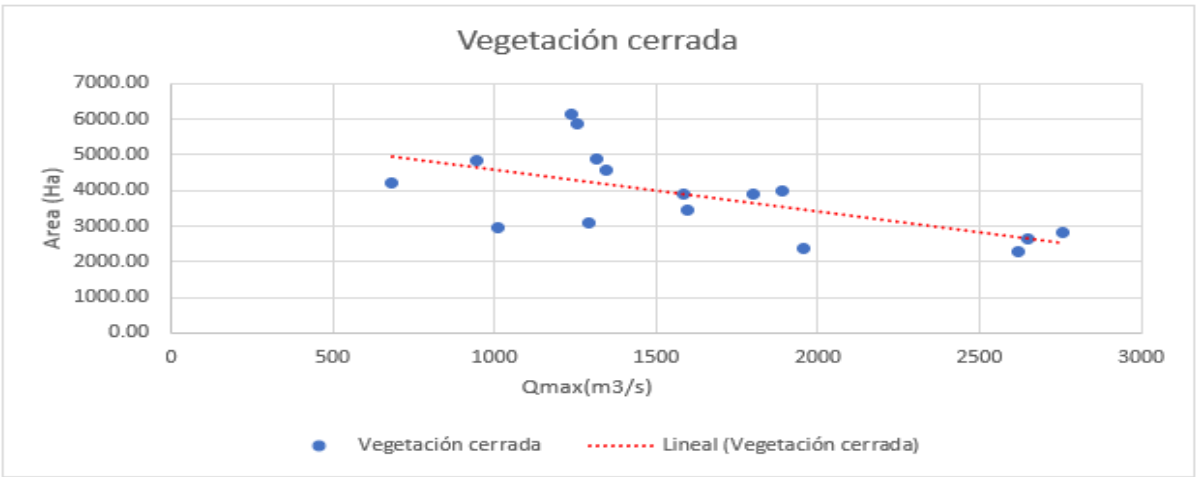
Índice Area_Ha											
Años analizados	Qmax	Vegetación cerrada	Reducción/ Incremento	Variación %	Vegetación abierta	Reducción/ Incremento	Variación %	Tierra cultivada	Reducción/ Incremento	Suelo desnudo	Reducción/ Incremento
2000	1238.1	6145.02			4488.66			377.19		508.59	
2001	2756.2	2818.51	-3326.51	-54%	2269.64	-2219.02	-49%	2221.25	1844.06	4294.73	3786.14
2002	2646.6	2639.81	-3505.21	-57%	2233.24	-2255.42	-50%	1141.76	764.57	5013.77	4505.18
2005	1012.8	2939.94	-3205.08	-52%	517.32	-3971.34	-88%	3245.40	2868.21	4911.12	4402.53
2006	1583.3	3901.23	-2243.79	-37%	2671.92	-1816.74	-40%	1236.87	859.68	3682.71	3174.12
2008	1800	3904.83	-2240.19	-36%	5015.79	527.13	12%	901.26	524.07	1818.09	1309.50
2009	1957.2	2358.90	-3786.12	-62%	2069.01	-2419.65	-54%	830.70	453.51	6273.90	5765.31
2011	1292.4	3096.54	-3048.48	-50%	2370.60	-2118.06	-47%	1192.23	815.04	4689.63	4181.04
2012	2616.7	2271.51	-3873.51	-63%	1715.22	-2773.44	-62%	1106.10	728.91	6425.19	5916.60
2015	1887.7	3974.23	-2170.79	-35%	6585.62	2096.96	47%	536.76	159.57	590.76	82.17
2016	1598.7	3428.28	-2716.74	-44%	5525.37	1036.71	23%	1137.24	760.05	1584.90	1076.31
2017	1317.7	4866.39	-1278.63	-21%	5012.73	524.07	12%	360.45	-16.74	1303.65	795.06
2019	1347.1	4576.05	-1568.97	-26%	3813.12	-675.54	-15%	1425.51	1048.32	1766.43	1257.84
2021	1253.4	5896.53	-248.49	-4%	1790.28	-2698.38	-60%	1281.87	904.68	2299.14	1790.55
2023	941.61	4842.18	-1302.84	-21%	3083.58	-1405.08	-31%	751.05	373.86	2674.62	2166.03

En la **gráfica 4**, se muestra la relación que existe entre los caudales máximos con respecto a las áreas agrícolas o vegetación cerrada, se puede entender que a mayor caudal que se ha genera a lo largo del periodo de estudio menor área agrícola existe en el tramo Higuерón – Puente Tumbes.



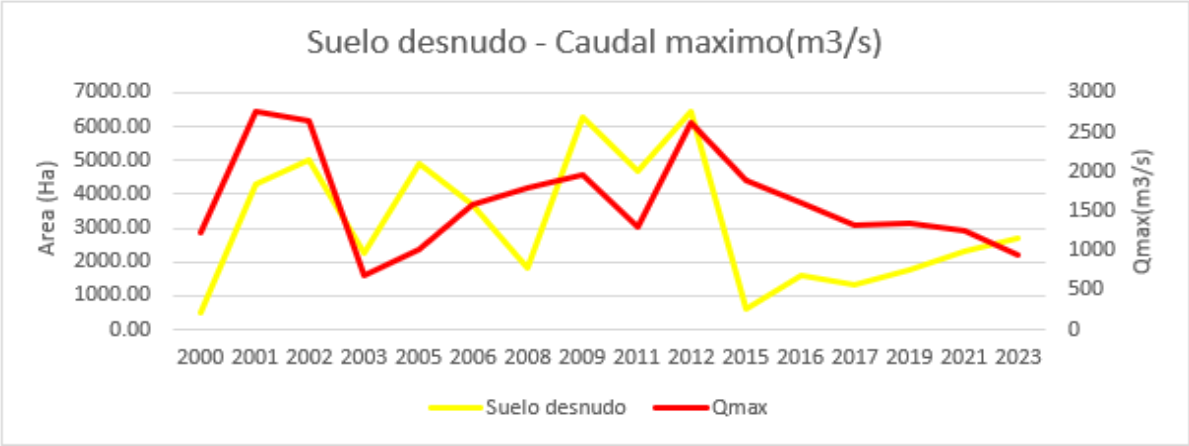
Gráfica 4. Relación entre la vegetación cerra y caudales máximos.

En la **gráfica 5**, se muestra una gráfica de dispersión, la que nos permite visualizar la correlación que existe entre la vegetación cerrada y los caudales máximos; mediante la fórmula de correlación de Pearson podemos ver que existe una correlación negativa moderada con un valor de -0.61, lo que quiere decir que entre mayor sea el caudal de ingreso, menor es el área de la vegetación cerrada.



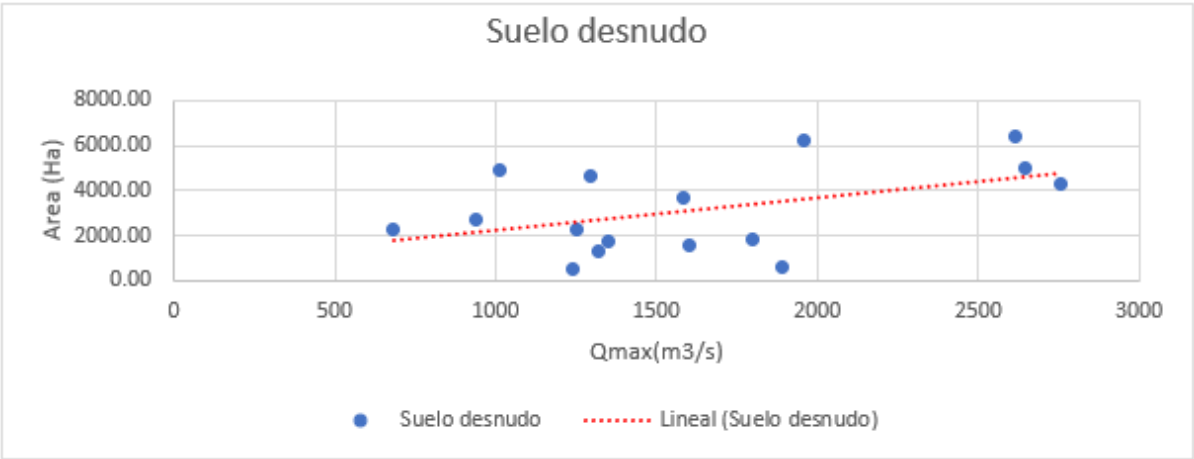
Gráfica 5. Grafica de dispersión para la vegetación cerrada y caudales máximos.

En la gráfica 6, se muestra la relación que existe entre el suelo desnudo y los caudales máximos, donde se puede entender que a mayor caudal mayor suelo desnudo se presenta en el tramo Higuerón – Puente Tumbes.



Gráfica 6. Relación entre el suelo desnudo y caudales máximos.

En la gráfica 7, se muestra una gráfica de dispersión, podemos observar la correlación que existe entre el suelo desnudo y los caudales máximos; mediante la fórmula de correlación de Pearson podemos ver que existe una correlación positiva moderada con un valor de 0.47 entre estas dos variables, lo que quiere decir que entre mayor sea el caudal de ingreso, mayor es el área que ocupa el suelo desnudo.



Gráfica 7. Gráfica de dispersión para el suelo desnudo y caudales máximos.

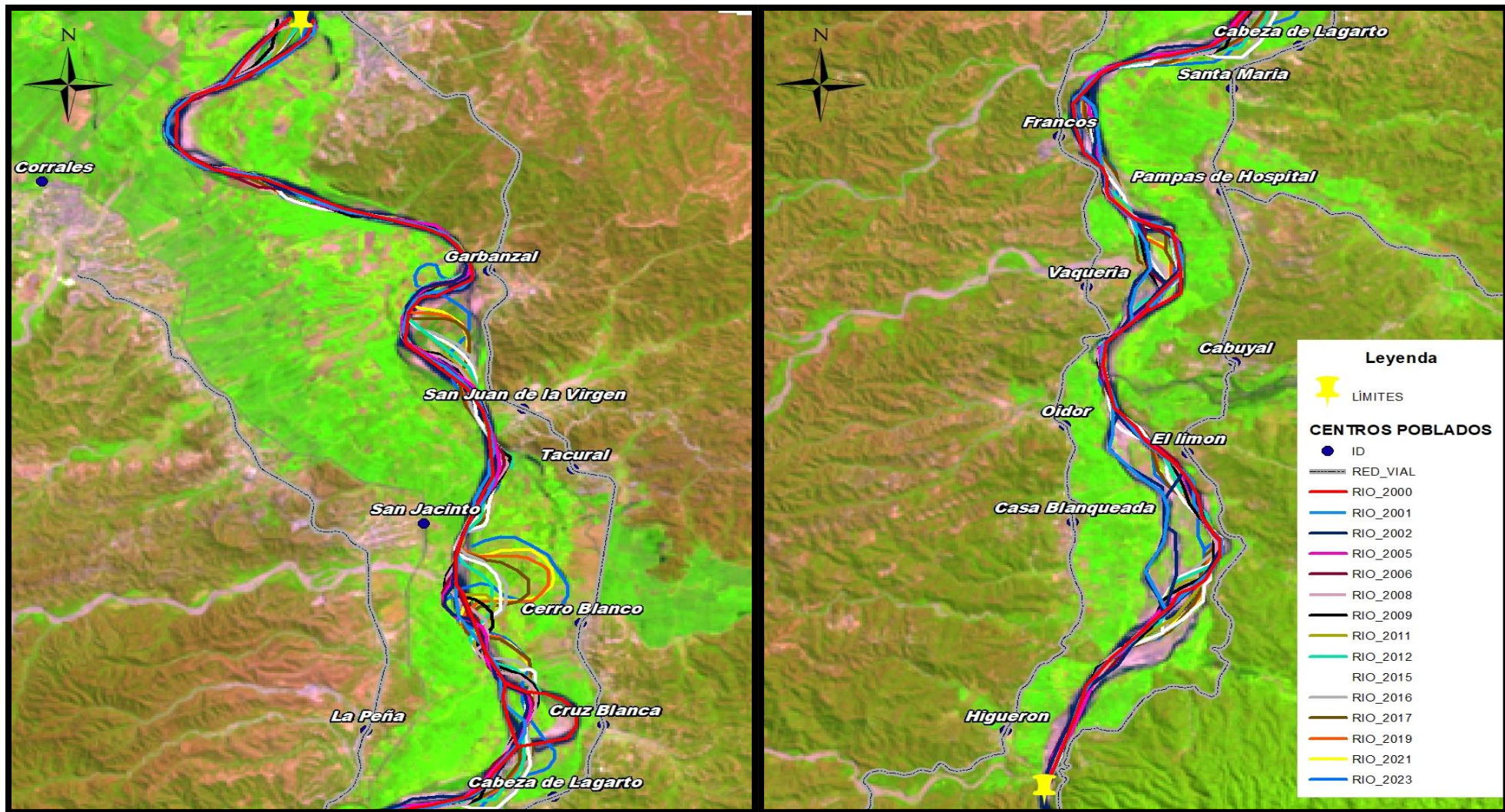


Figura 23. Mapa de variación del cauce del río Tumbes, tramo Higuieron-Puente Tumbes. 2000-2023.

En la **figura 24**, se puede apreciar que los mayores cambios en la morfología del cauce se han ocasionado en la margen derecha del río, de manera más específica en los sectores de Garbanzal, San Juan de la Virgen, Tacural, Cerro blanco, Cruz Blanca, Cabeza de Lagarto, Santa María y Pampas de Hospital, afectando directamente a las áreas agrícolas cuyas hectáreas calculadas se muestran en la **tabla 15** anteriormente mostrada.

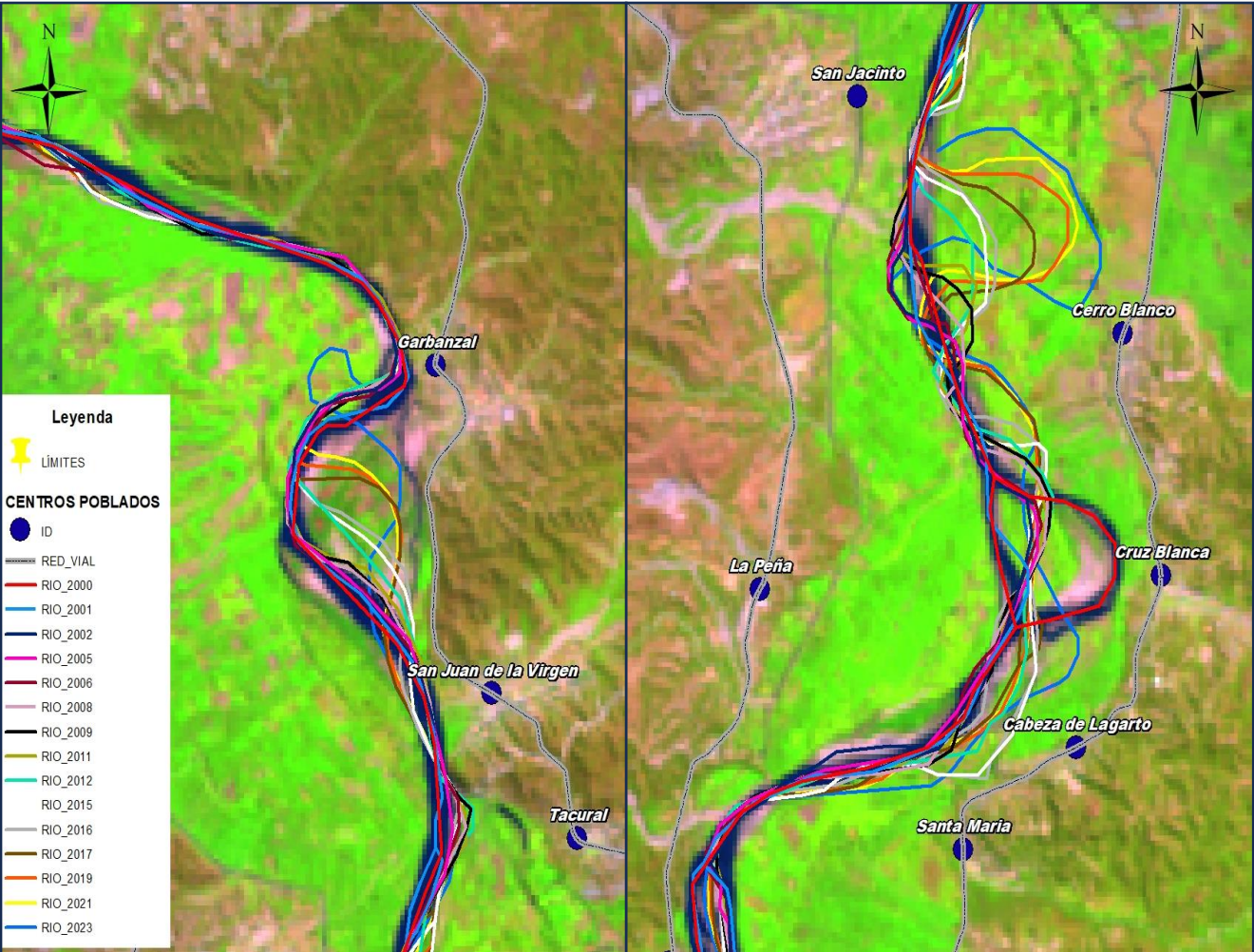


Figura 24. Sectores con mayor variación del cauce y mayores áreas agrícolas afectadas.

4.2. Discusiones.

Para la determinación de los caudales máximos que generan la variación multitemporal de cauce del río Tumbes; se logró estimar los periodos de tiempo según los años de estudio en la investigación, en la que la variación del cauce resultó mayor y cuáles fueron los caudales máximos que lo generaron; de la misma forma que (Núñez, 2006) en su investigación, concluyó que la mayor variación del cauce del río Tumbes se relaciona con los Fenómenos El Niño (FEN) ocurridos entre los años 1961 y 2000, afirma que los mayores eventos de migración del cauce ocurrieron en los FEN de 1983 y 1998. De la misma forma (Maguiña & Rogger, 2023), indican en su investigación que la mayor variación del río Casma en el sector Tabajón Bajo ocurre en el periodo 2016/2017 con un incremento de 48.51% de hectáreas con respecto a su primer año de análisis, esto debido a la presencia de los FEN, mismos que generaron caudales extremos, los cuales inundaron extensas áreas agrícolas. En esta investigación se muestra que entre los años 2011 - 2023, el cauce del río Tumbes alcanzó su mayor variación, se logró estimar además que los resultados muestran un máximo en su longitud de 30973.74 metros en el año 2021 cuyo caudal máximo fue de 1253.40 m³/s, en comparación con el año 2000 (año base de comparación), el cauce ha aumentado 2367.15 metros; aunque ese caudal no es el mayor en todo el periodo de estudio, los eventos anteriores han repercutido significativamente en el movimiento constante del cauce del río, debido a que el tramo del río Tumbes desde Higuerón hasta el Puente Tumbes no cuenta con defensas que encaucen su caja hidráulica, la migración del río en este periodo de tiempo ha sido constante y más aún en periodos con eventos extremos, mismos que se ven afectados por el cambio

climático, adentrándose e inundando las áreas agrícolas, viviendas y muchas otras estructuras cercanas al valle del río.

En cuanto a la evaluación de la morfología del cauce; se logró analizar, de qué manera se ha modificado el cauce del río Tumbes en el tramo Higuerón – Puente Tumbes para el periodo 2000 – 2023, la variación del cauce ha ido de menor a mayor longitud a través del periodo de estudio, esto se debió a los caudales máximos que han ido erosionando y degradando la caja hidráulica del río, tal y como lo menciona (Gamboa, 2023) en su trabajo de investigación acerca de la erosión hídrica en la cuenca del río Tumbes, en donde llega a la conclusión que existe una tasa de erosión actual de 5,06 Tn/Ha/Año, además resalta que la mayor erosión registrada en su investigación se muestra entre los años 2002, 2008, 2012 y 2017, originado por las elevadas precipitaciones que se generaron como consecuencia del niño costero. Como consecuencia de dichos eventos ocurridos y con ayuda de imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 se logró analizar que la variabilidad que ha sufrido el cauce del río Tumbes ha ido de tener en una longitud calculada de 28606.60 metros en el año 2000, hasta 30620.84 metros para el año 2023, lo que nos permite visualizar que existe una diferencia de 2014.24 metros, pero que el año más crítico ocurrió para el 2021 en donde se muestra una diferencia de 2367.15 metros por encima del año de inicio, además se logró analizar que para los años 2011, 2012, 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 y 2023 la sinuosidad del cauce resultó más elevada, donde pasó de tener un valor de 1.35 a un máximo de 1.46, que, según lo que menciona (Maguiña & Rogger, 2023), coloca al río Tumbes como un río con sinuosidad baja.

Para la afección de las áreas agrícolas y la relación entre los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce del río Tumbes; se logró estimar gracias a la imágenes satelitales Landsat 7 y Landsat 8 analizadas en el software ArcGIS

10.8, las pérdidas de área agrícola en el tramo Higuerón – Puente Tumbes, donde se obtuvo un máximo de áreas afectadas de 3873.51Ha lo que resulta una variación del 63%, esto ocurrido en el año 2012 y un mínimo de áreas afectadas de 248.49 Ha, lo que resulta en una variación del 4%, esto ocurre por los altos caudales que se han registrado y transcurrido por el cauce del río Tumbes a lo largo del periodo de estudio, debido a que este río no cuenta con ninguna estructura que proteja las áreas agrícolas e impida los desbordamientos e inundaciones, además que los aliviaderos naturales del río han sido obstruidos con el paso del tiempo y cuyo mantenimiento es escaso u otros son ocupados como tierras agrícolas, lo ocasiona pérdidas de plantaciones que se cosechan en la zona, pérdidas de terreno agrícola ocasionados por la erosión agresiva del río dejando a muchos agricultores sin tierras para una nueva plantación y a otros sin economía para una nueva siembra de sus tierras, tal como lo menciona (Maguiña & Rogger, 2023) en su trabajo de investigación que calculó pérdidas máximas de 1636.62 hectáreas ósea un 34.64% del total de áreas analizadas, dejando como consecuencia pérdidas significativas en la economía dado que este sector es uno de los principales agroexportadores del país.

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES

En este capítulo se muestran las conclusiones alcanzadas a partir de los objetivos planteados en el Análisis de la variación multitemporal del cauce río Tumbes en la afección de áreas agrícolas, tramo Higuerón-Puente Tumbes 2000-2023.

Con relación al primer objetivo y con el uso de los materiales, equipos y softwares se lograron identificar los caudales que causaron mayor variación del cauce del río Tumbes para el periodo de análisis, lo que dio como resultado que para los años 2011, 2012, 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 y 2023 se visualizó mediante los mapas temáticos una mayor variación multitemporal de cauce con caudales máximos 1292.40, 2616.70, 1887.70, 1598.70, 1317.70, 1347.10, 1253.40 y 941.61 m³/s respectivamente y mediante los cálculos obtenidos gracias a al software ArcGIS 10.8 se logró estimar que en comparación con el año base 2000, se obtuvo un incremento máximo de 2367.15 metros en la longitud inicial del cauce esto registrado en el año 2021 lo que generó una variación del 8.27% con un caudal registrado de 1253.40 m³/s, lo que se deduce a través de este estudio como cuál es el efecto de los caudales máximos ante la variación multitemporal del cauce.

Las imágenes satelitales landsat resultaron de gran apoyo para identificar que la morfología del cauce ha sido variable a través del tiempo y tiene una estrecha relación con los caudales máximos, se obtuvo información para cada año de análisis y cada uno tiende a contribuir con la variación multitemporal del río Tumbes; los resultados muestran que a medida que

pasaba los años y los caudales sobrepasaban el umbral rojo establecido por el SENAMHI, la longitud inicial del cauce aumentaba, para un inicio de la investigación el cauce del río Tumbes registraba una longitud de 28606.60 metros misma que contaba con un caudal inicial de 1238.10 m³/s, a partir de ese punto de partida ha ido aumentando hasta llegar a un máximo de 30973.74 metros lo que se refleja en una variación de un 8.27%, con una diferencia de más de dos kilómetros; ya para el último año de análisis 2023 se registró una longitud de 30620.84 metros cuya variación fue de 7.04%; se identificaron cinco zonas en las cuales el cauce del río Tumbes ha sufrido mayor migración hacia la margen derecha ocasionando pérdidas severas de áreas agrícolas, dichas zonas se encuentran en los centros poblados de Pampa Grande, Garbanzal, Cerro Blanco, Cabeza de Lagarto y Pampas de Hospital. El cauce del río Tumbes presenta una sinuosidad máxima de 1.46 y un mínimo de 1.35 lo que coloca al río Tumbes como un río con sinuosidad baja.

Las imágenes satelitales Landsat y los softwares ArcGIS y QGIS fueron indispensables para el análisis de las áreas agrícolas afectadas por la variación del cauce del río Tumbes, tramo Higuerón – Puente Tumbes, con ellas se obtuvieron los resultados para el análisis de los efectos de la variación del cauce con relación a los caudales máximos a las áreas agrícolas, obteniendo como respuesta una variación máxima de áreas con vegetación cerrada para el año 2012 de 3873.51 Ha por debajo del año de inicio lo que resulta una variación del 63% en comparación con el año base 2000 cuya área total fue de 6145.02 ha, y una variación mínima para el año 2021 de 248.49 Ha por debajo del año de inicio, lo que resulta una variación del 4%, cabe resaltar que para

esta investigación se tomó como áreas agrícolas las clases vegetales cerradas vistan en la clasificación de suelos del NDVI.

6. RECOMENDACIONES

Como se apreció en los resultados mostrados en la evaluación de los caudales máximos y para mejorar la calidad de vida de los pobladores de los sectores que son continuamente afectados por los desbordamientos de río Tumbes y más aún a los agricultores cuyas plantaciones y tierras son constantemente golpeadas por los incrementos de caudales de río, se recomienda a la población realizar gestiones a la ANA, a la Dirección regional de Agricultura, al gobierno local u otros, la construcción de diques enrocados, gaviones, terraplenes de material propio u otras estructuras de encauzamiento del río, ya que dichas tecnologías permitirán una mayor protección a las áreas agrícolas y por ende la sustentabilidad agrícola y económica de los sectores afectados.

Mostrados los resultados de la evaluación morfológica del cauce y como en esta investigación queda evidencia que la variación multitemporal del río Tumbes es constante y más aún cuando se presentan eventos extraordinarios como los FEN y por lo que es más probable que estos eventos vuelvan a repetirse, se recomienda a los gobiernos locales que realicen las gestiones pertinentes para el mantenimiento del cauce, así como también en los aliviaderos naturales del mismo cauce, además se recomienda prestar mayor atención a las cinco zonas que se identificaron con mayor migración del cauce, dado que cada año aumenta la migración acercándose cada vez más a los centros poblados lo que podría ocasionar daños no solo a la agricultura sino que perjudicaría de forma directa a la población, es por ello que se recomienda además, realizar trabajos de protección inmediato en esas zonas, como diques, enrocados o gaviones.

Para los resultados mostrados en cuanto a cómo afectan a las áreas agrícolas la relación entre los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce, se recomienda a las instituciones competentes a poner más énfasis en cuanto a estos desafortunados eventos que ocasionan pérdidas económicas y materiales a los agricultores y comenzar a iniciar un plan de contingencia con la finalidad de salvaguardar y conservar más áreas agrícolas, con la creación de obras de protección a lo largo del cauce del río Tumbes, Tramo Higuerón – Puente Tumbes, dado que la agricultura es en su mayor parte la mayor fuente de ingresos y sostenibilidad económica de la región.

Por último y de forma general para este trabajo de investigación, se recomienda hacer mayor uso de imágenes satelitales para realizar investigaciones sobre uso de cobertura de suelo o de vegetación para el análisis de las situaciones de áreas terrestres y brindar las bases posibles nuevas investigaciones acerca de temas similares o relacionados con imágenes satelitales.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca Medina, J. I. (2024). Evaluación de riesgo por inundación en las áreas agrícolas, sector Garbanzal, distrito de San Juan de la Virgen, Tumbes-2022. *Universidad Nacional de Tumbes*.
<https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64879>
- Alvarado, Q., & Espinoza, Z. (2018). *Evaluación temporal del uso y cobertura vegetal del suelo en la subcuenca del río Llavircay y planteamiento de acciones para su manejo y gestión*.
- Alvaro, G., Valera. (s.f). *LANDSAT*.
<https://www.kimerius.com/app/download/5784863998/LANDSAT.pdf>
- Bandas de ráster—ArcGIS Pro | Documentación*. (s. f.). Recuperado 19 de julio de 2024, de <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/latest/help/data/imagery/raster-bands-pro-.htm>
- Best, S., & Vargas, P. (s. f.). *Variabilidad microclimática, espacial de características fisicoquímicas del suelo y su efecto en la heterogeneidad a la respuesta productiva de los cultivos*.
[https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68559/Capitulo%202.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=La%20variabilidad%20temporal%20es%20el,2003\)](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68559/Capitulo%202.pdf?sequence=5&isAllowed=y#:~:text=La%20variabilidad%20temporal%20es%20el,2003)).
- Características de los suelos agrícolas—Laboratorio Alazor*. (2022, noviembre 16).
<https://www.laboratorioalazor.com/caracteristicas-de-los-suelos-agricolas/>
- Cueva, G. C. (2018, abril 6). *¿Qué son las imágenes satelitales?* Blog de la Universidad de Ciencias y Humanidades UCH.

- <https://blog.uch.edu.pe/ingenieria-electronica-con-mencion-en-telecomunicaciones/que-son-las-imagenes-satelitales/>
- Desarrollo (INADE), I. N. de, & Tumbes, P. B. P.-. (1992). Dragado del río Tumbes y limpieza de los cauces naturales de alivio: Informe técnico preliminar. *Autoridad Nacional del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2691>
- EarthExplorer*. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2025, de <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- EOS DATA ANALYTICS. (2021, septiembre 27). *NDVI: Fórmula Y Uso Del Índice De Vegetacion Na Agricultura*. <https://eos.com/es/make-an-analysis/ndvi/>
- ESA - Eduspace ES - Inicio—Teledetección, a fondo. (2012, julio 2). European Space Agency. https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMZ3YD3GXF_0.html
- Felices, A. R. (s. f.). *LA MORFOLOGÍA FLUVIAL Y SU INCIDENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LAS OBRAS VIALES*.
- gabri. (2022, julio 31). *Landsat: El programa de imágenes de la Tierra más antiguo*. El blog de franz. <https://acolita.com/landsat-el-programa-de-imagenes-de-la-tierra-mas-antiguo/>
- Gamboa Cruz, A. O. (2023). Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022. *Universidad Nacional de Tumbes*. <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64161>
- gisadminbeers. (2019, agosto 15). La jerga de la teledetección de la A a la Z. *Gis&Beers*. <https://www.gisandbeers.com/la-jerga-terminologia-teledeteccion/>
- González Sanhueza, C. S. (2023). *Estudio multitemporal de la morfodinámica de la cuenca del río Andalién ante efectos del cambio del uso de la tierra y obras hidráulicas*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/11779>

- Introducción a las imágenes | Documentation.* (s. f.). Recuperado 18 de julio de 2024, de <https://learn.arcgis.com/es/projects/get-started-with-imagery/>
- Landsat 7 | Servicio Geológico de Estados Unidos.* (s. f.). Recuperado 19 de julio de 2024, de <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7>
- Lopez, J. D. C. (2011). MODELACIÓN HIDRÁULICA Y MORFODINÁMICA DE CAUCES SINUOSOS APLICACIÓN A LA QUEBRADA LA MARINILLA (ANT). *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 30, Article 30. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rbct/article/view/29299>
- Maguiña, Y., & Rogger, R. (2023). Estimación de la pérdida del área agrícola como consecuencia de la variabilidad espacial y temporal del río Casma, sector tabón bajo, período 2015-2018. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.* <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/9478056>
- nandrade. (2017, marzo 23). *La Importancia de la Agricultura en nuestro país.* <https://agropecuaria.utn.edu.ec/?p=1091>
- Navarro Córdova, E. J. (2018). Análisis de cambios de cobertura y uso de la tierra con imágenes satelitales del distrito de Eduardo Villanueva periodos 1992—2003—2016. *Universidad Nacional de Cajamarca.* <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2600>
- Núñez Juárez, S. (2006). Variación del cauce del río Tumbes en el sector Higuierón - Desembocadura: Relación con los peligros hidrometeorológicos. *Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico - INGEMMET.* <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/handle/20.500.12544/453>
- Olivares Ramos, E. E. (2017). *Patrones de cambio morfológico y meándrico de 13 ríos pertenecientes a la Cuenca Hidrográfica del Amazonas.* <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio//handle/20.500.12404/7619>

Pachari, M. (2016). *GEOMORFOLOGÍA Y EVOLUCIÓN DEL DELTA DEL RÍO TUMBES*.

Pérez Miranda, R., Cruz Bello, G. M., Moreno Sánchez, F., González Hernández, A., & Romero Sánchez, E. M. (2012). Cambios de vegetación y uso de suelo en la Cuenca Río Bravo-San Juan, Coahuila (1993- 2008). *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(10), 25-40.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-11322012000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Rasilla, D., & Conde, F. (2023, noviembre 3). *TEMA 11: CLASIFICACIÓN SUPERVISADA DE IMÁGENES DE SATÉLITE*.
https://personales.unican.es/rasillad/docencia/g174/11_clasificacion/clasificacion_supervisada.html

SENAMHI Tumbes—Prensa. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2025, de <https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=tumbes&p=prensa&n=1813>

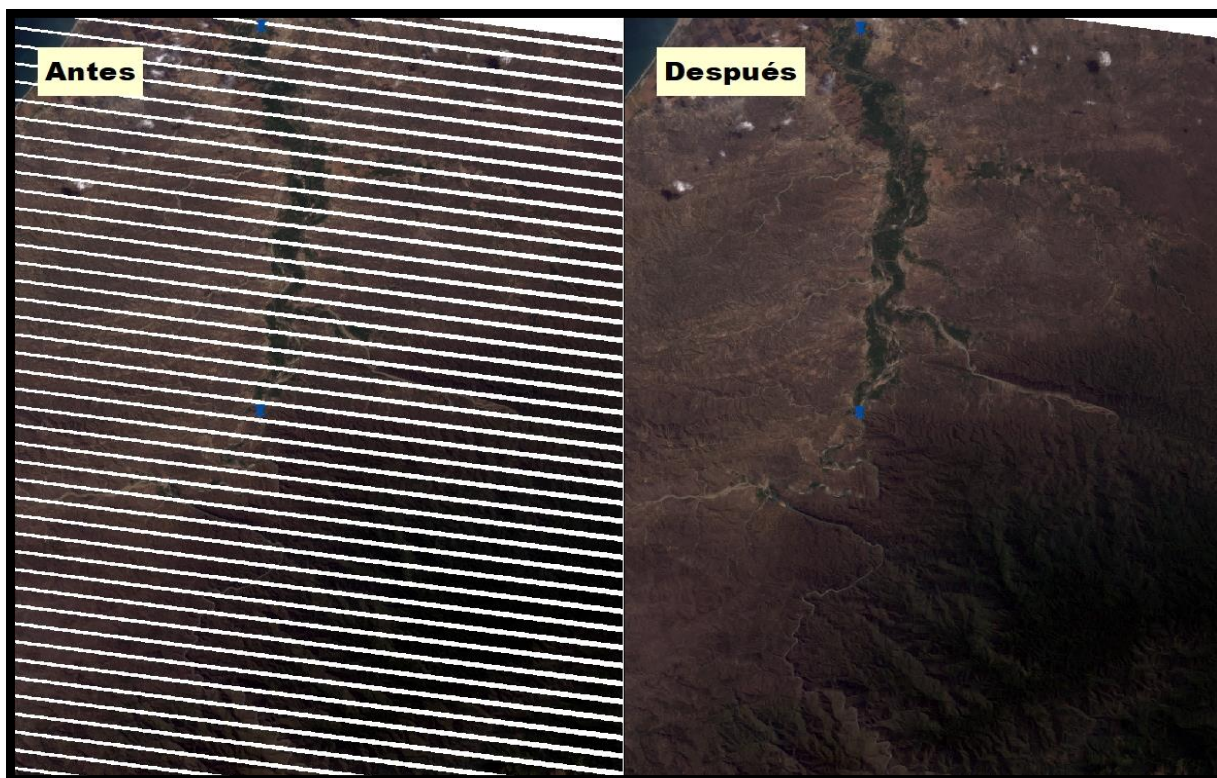
SNIRH. (s. f.). Recuperado 18 de febrero de 2025, de <https://snirh.ana.gob.pe/SCCRH/Forms/S2/Cantidad/frmDescarga.aspx>

Villalobos Mondragon, R. (2023). Análisis de los patrones de cambio hidráulicos y meándricos del río La Leche basado en imágenes satelitales para el control de inundaciones período 1999- 2019. *Repositorio Institucional - USS*.
<https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/11117>

vínculo, O., Facebook, Twitter, Pinterest, electrónico, C., & apps, O. (2016, marzo 20). *Combinación RGB con bandas del satélite Landsat 5, 7 y 8*.
<https://www.hidraulicafacil.com.mx/2016/03/Com.Landsat7.html>

ANEXOS

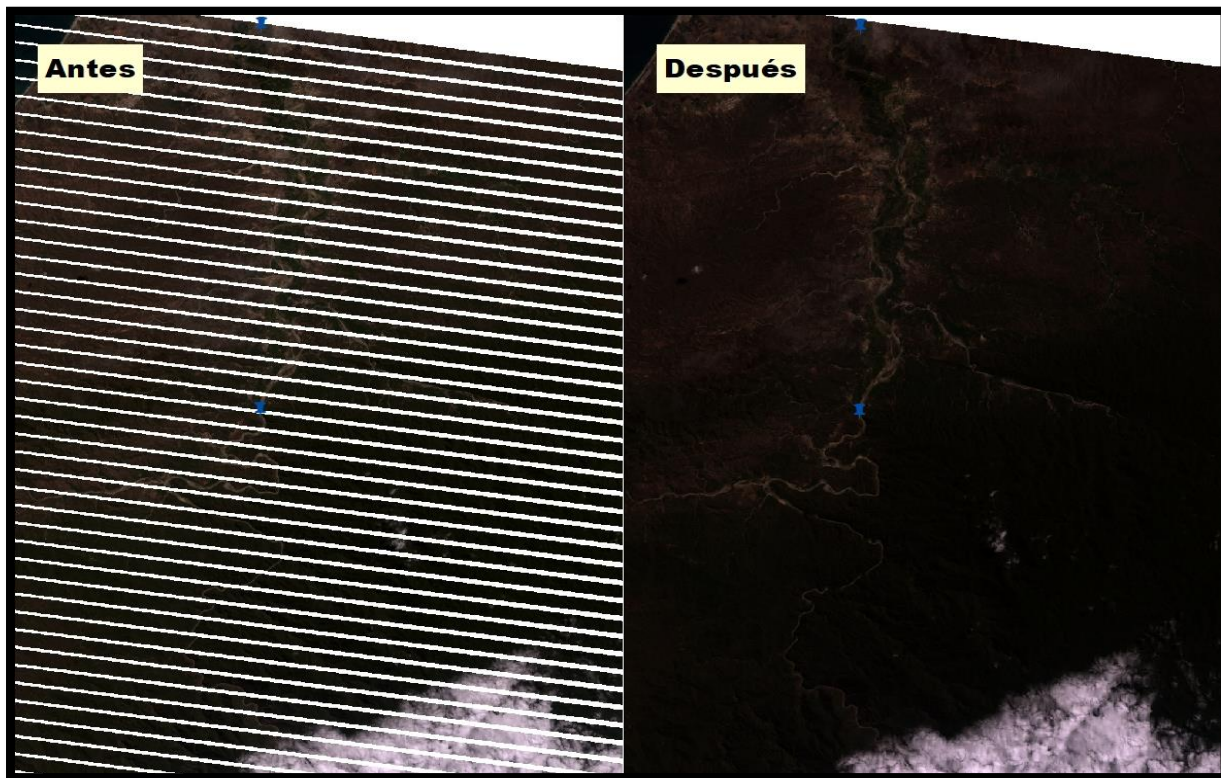
Anexo 1. Corrección de imagen Landsat 7 por bandeamiento 2005.



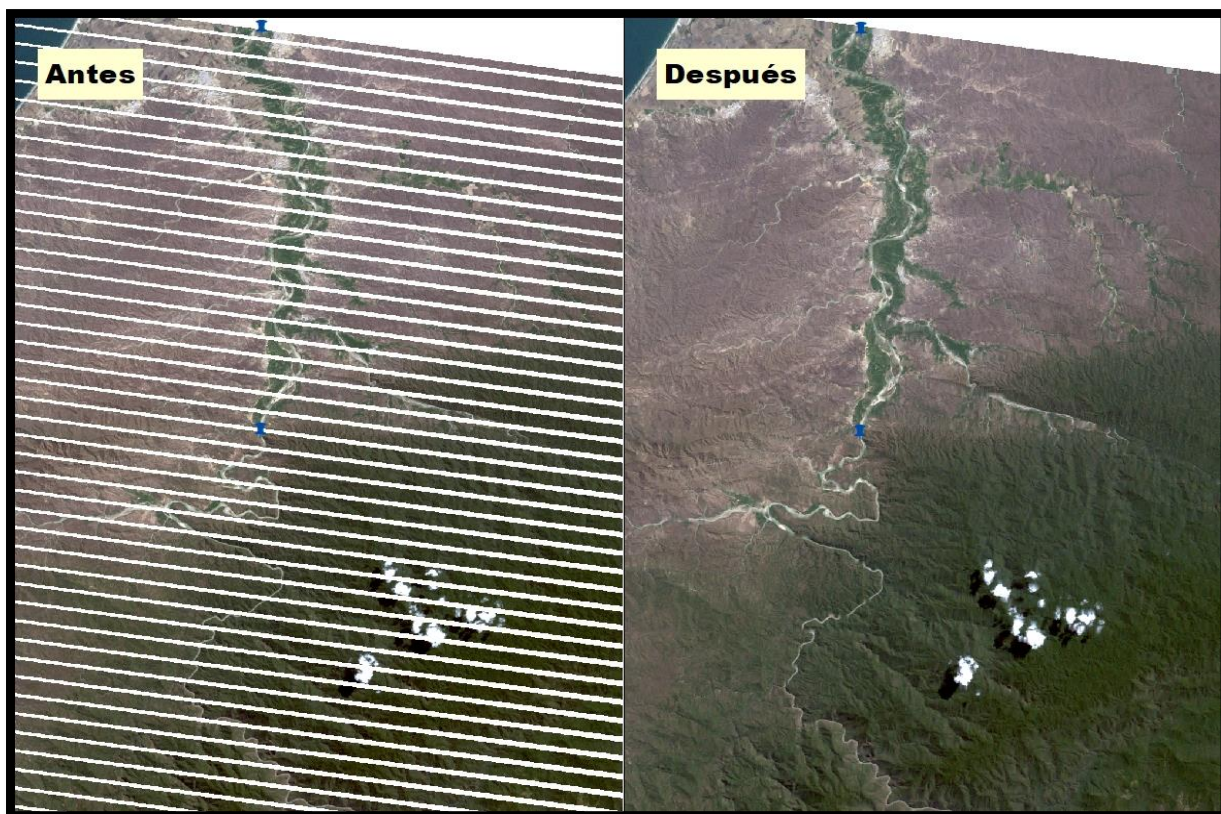
Anexo 2. Corrección de imagen Landsat 7 por bandeamiento 2006.



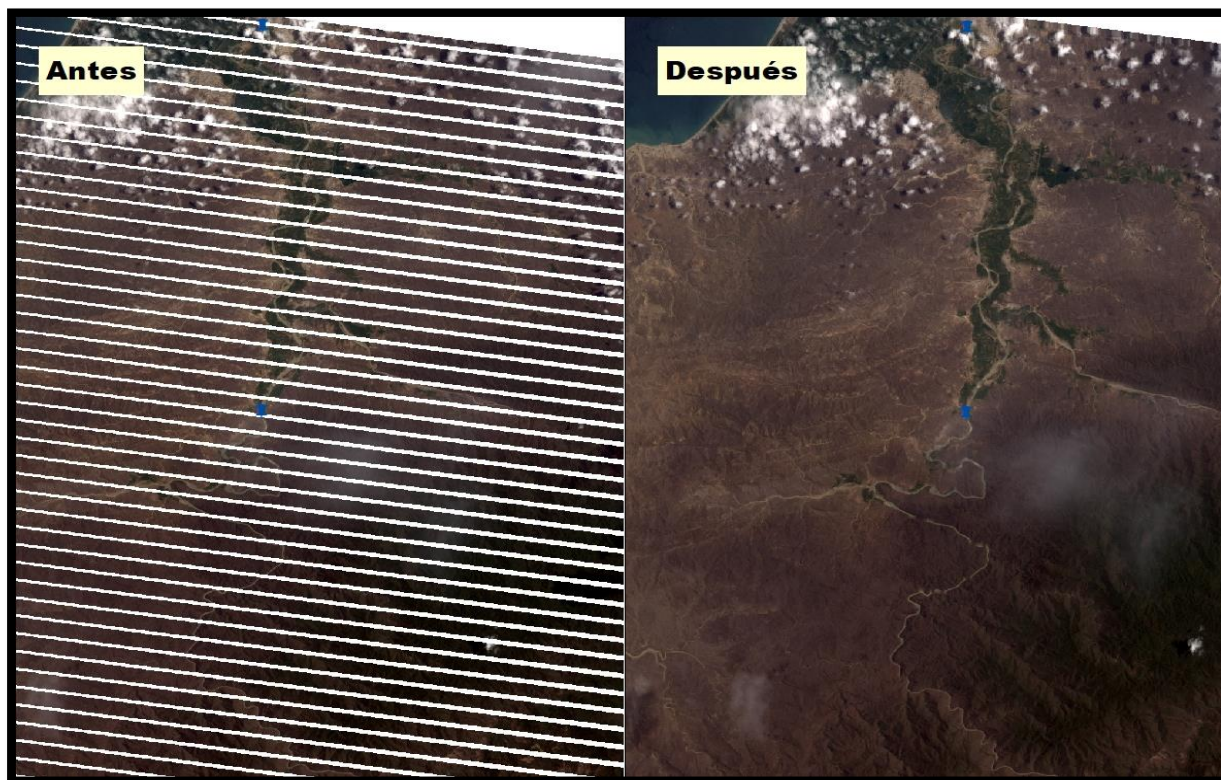
Anexo 3. Corrección de imagen Landsat 7 por bandeamiento 2008



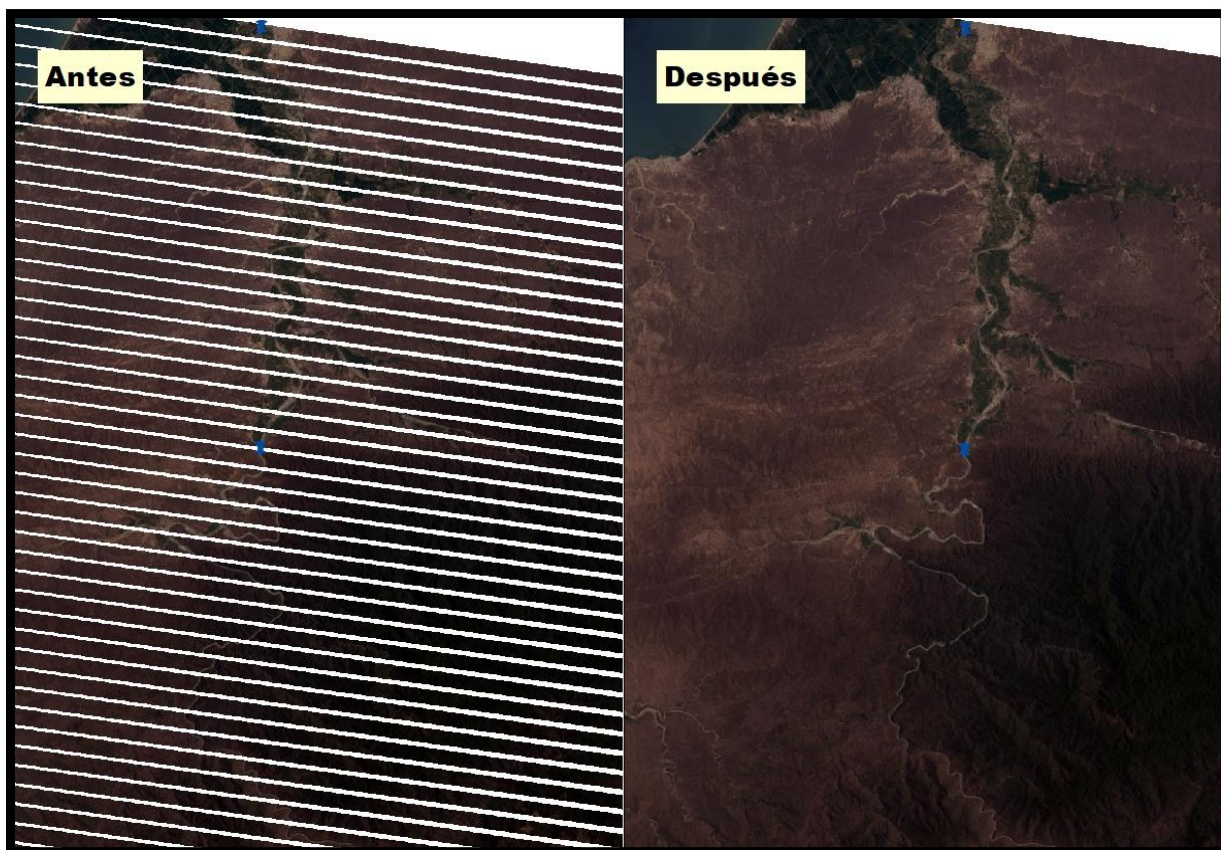
Anexo 4. Corrección de imágenes Landsat 7 por bandeamiento 2009



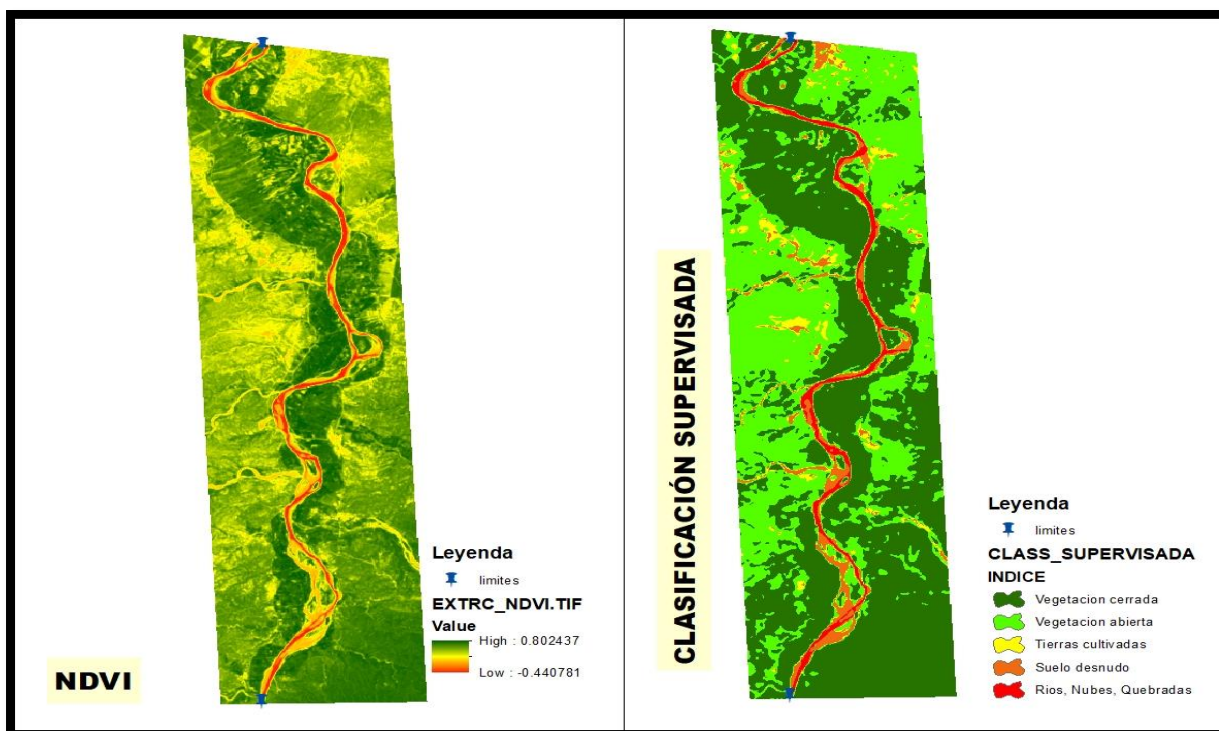
Anexo 5. Corrección de imagen Landsat 7 por bandeamiento 2011.



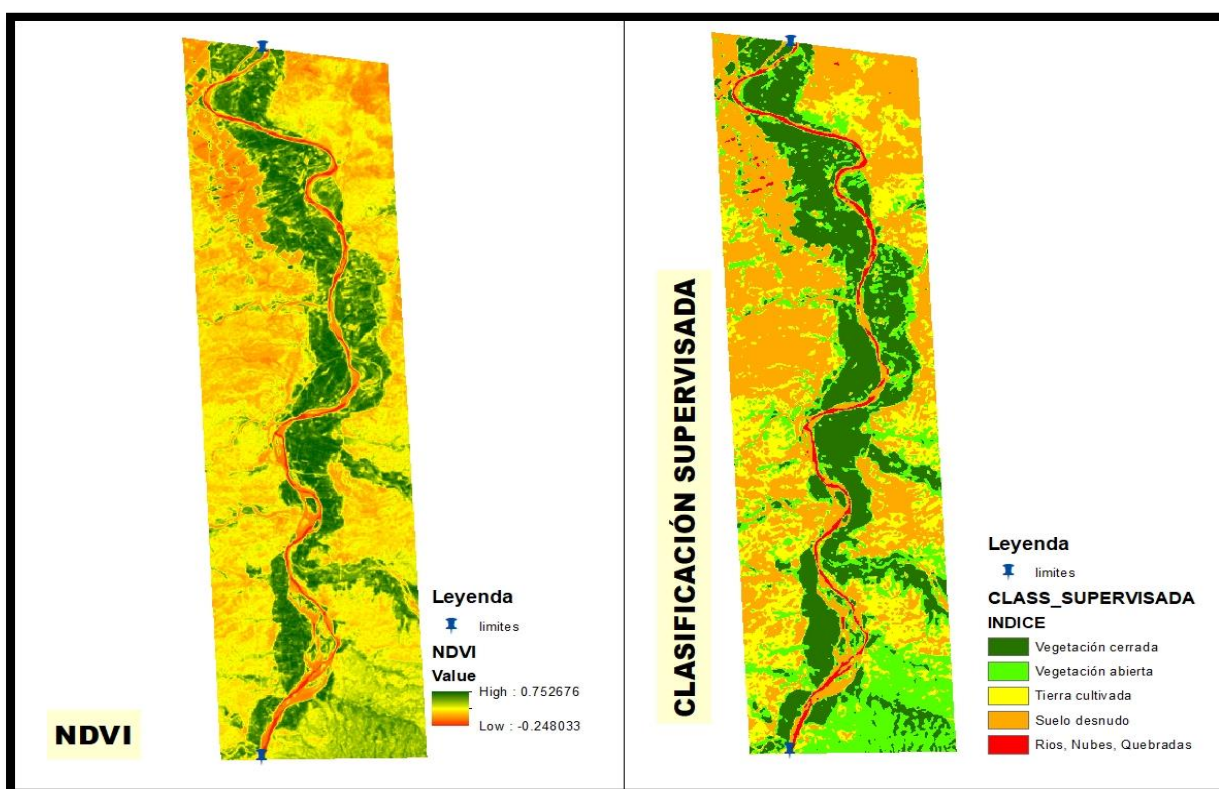
Anexo 6. Corrección de imágenes Landsat 7 por bandeamiento 2012.



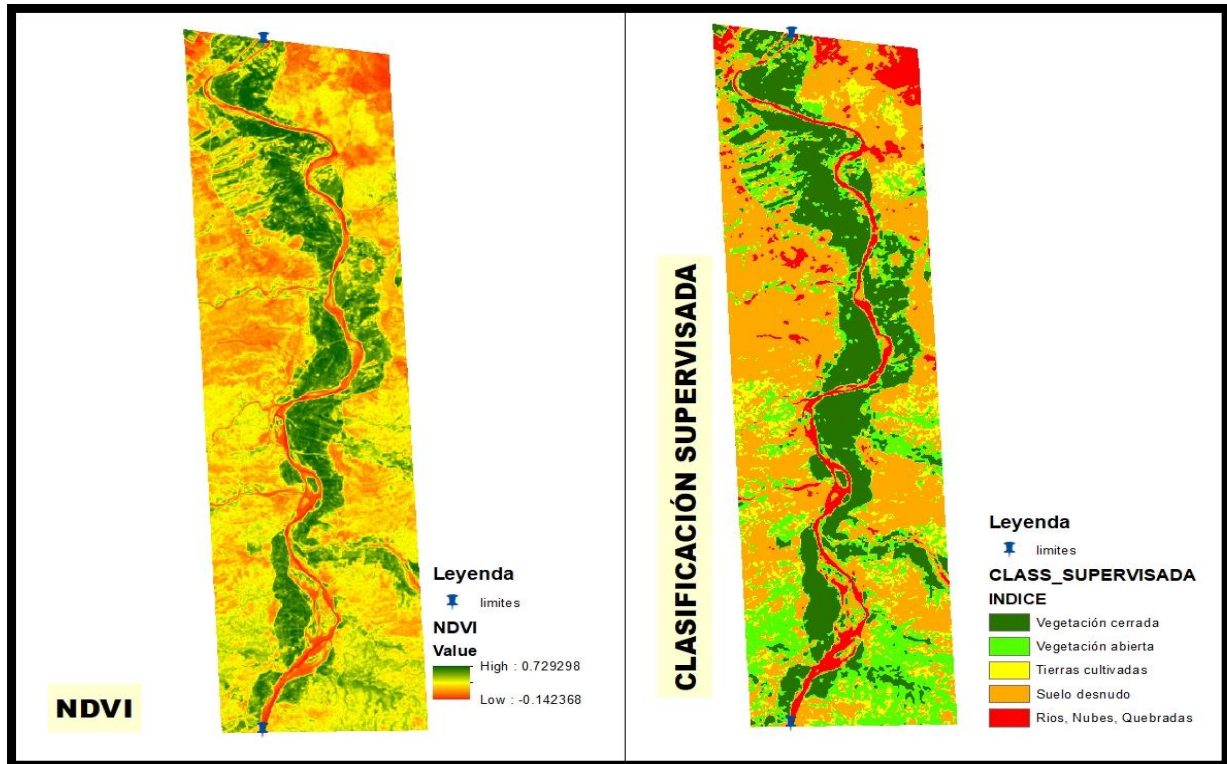
Anexo 7. NDVI y clasificación supervisada 2000.



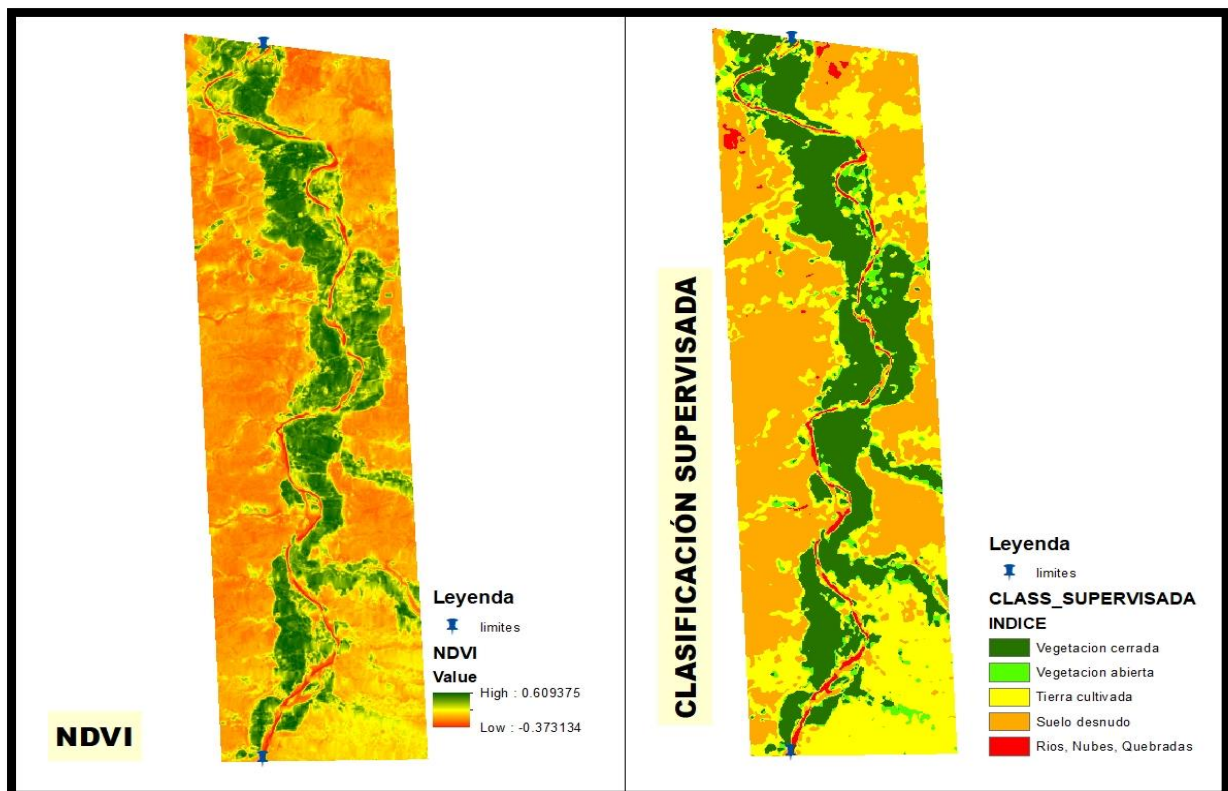
Anexo 8. NDVI y clasificación supervisada 2001



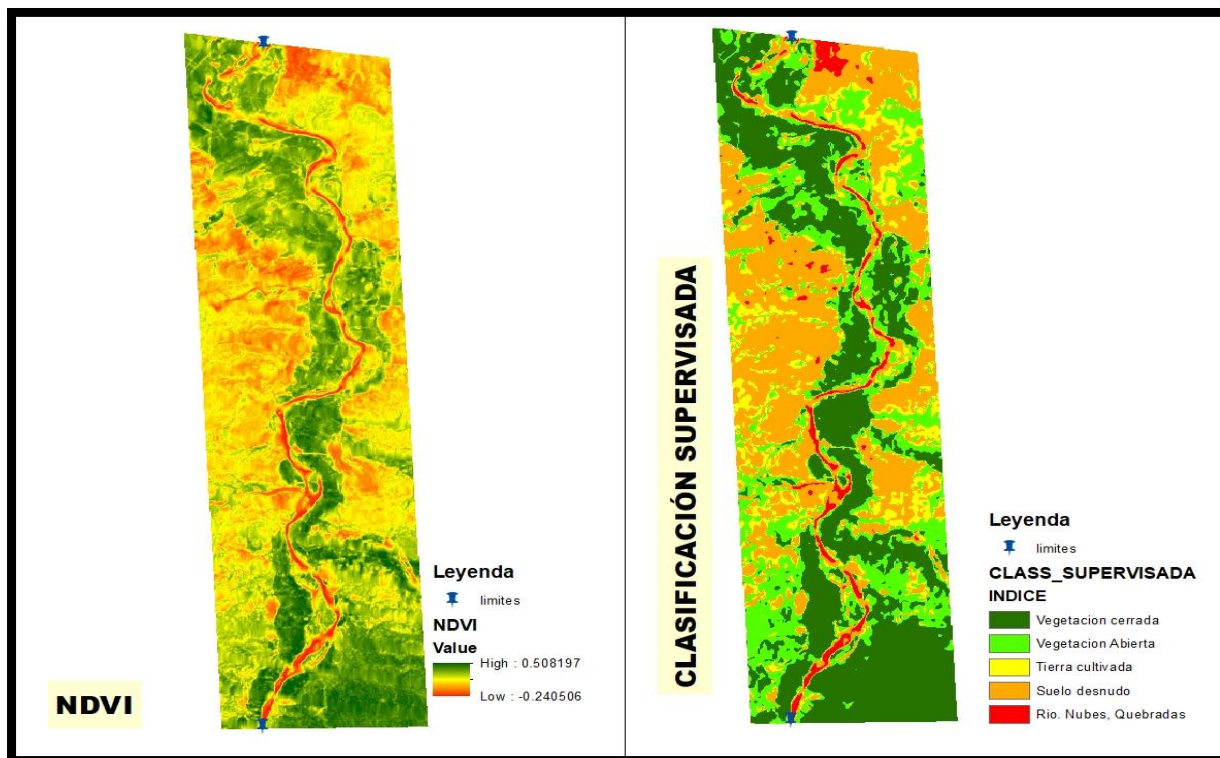
Anexo 9. NDVI y clasificación supervisada 2002.



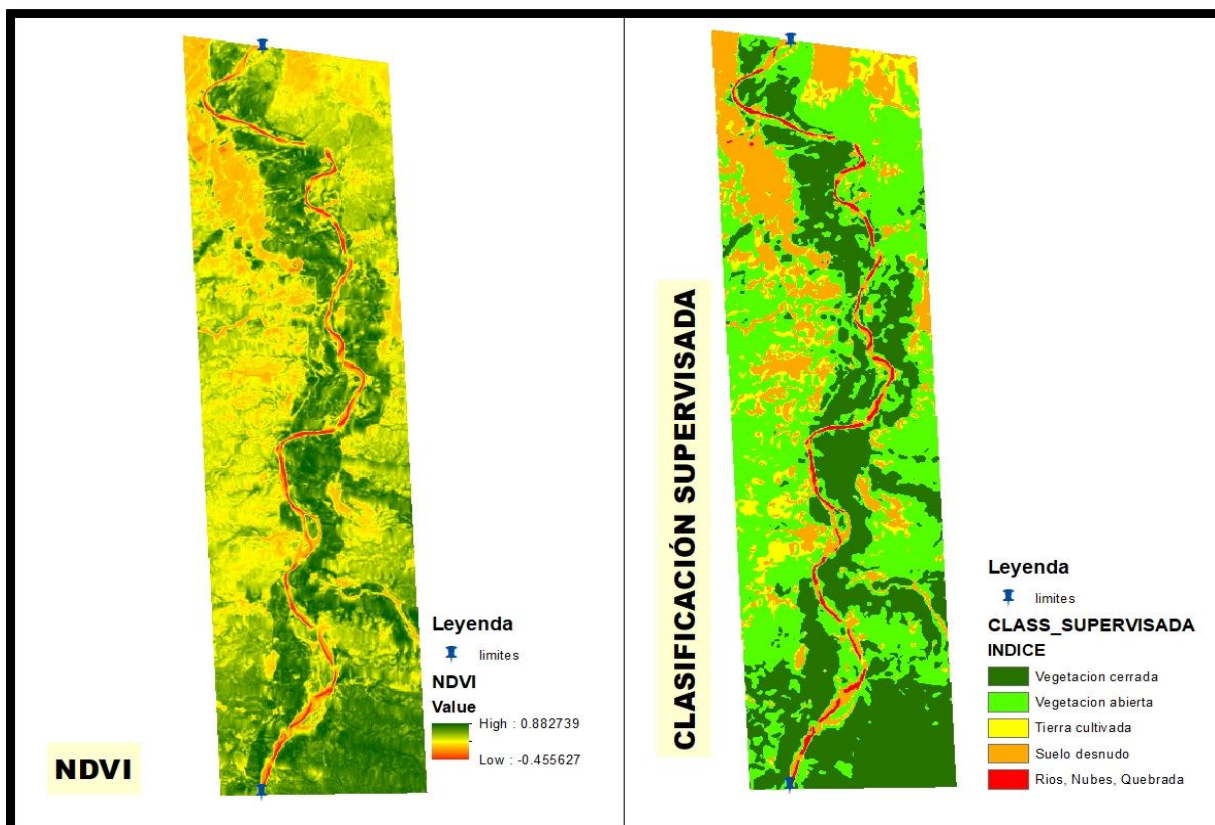
Anexo 10. NDVI y clasificación supervisada 2005



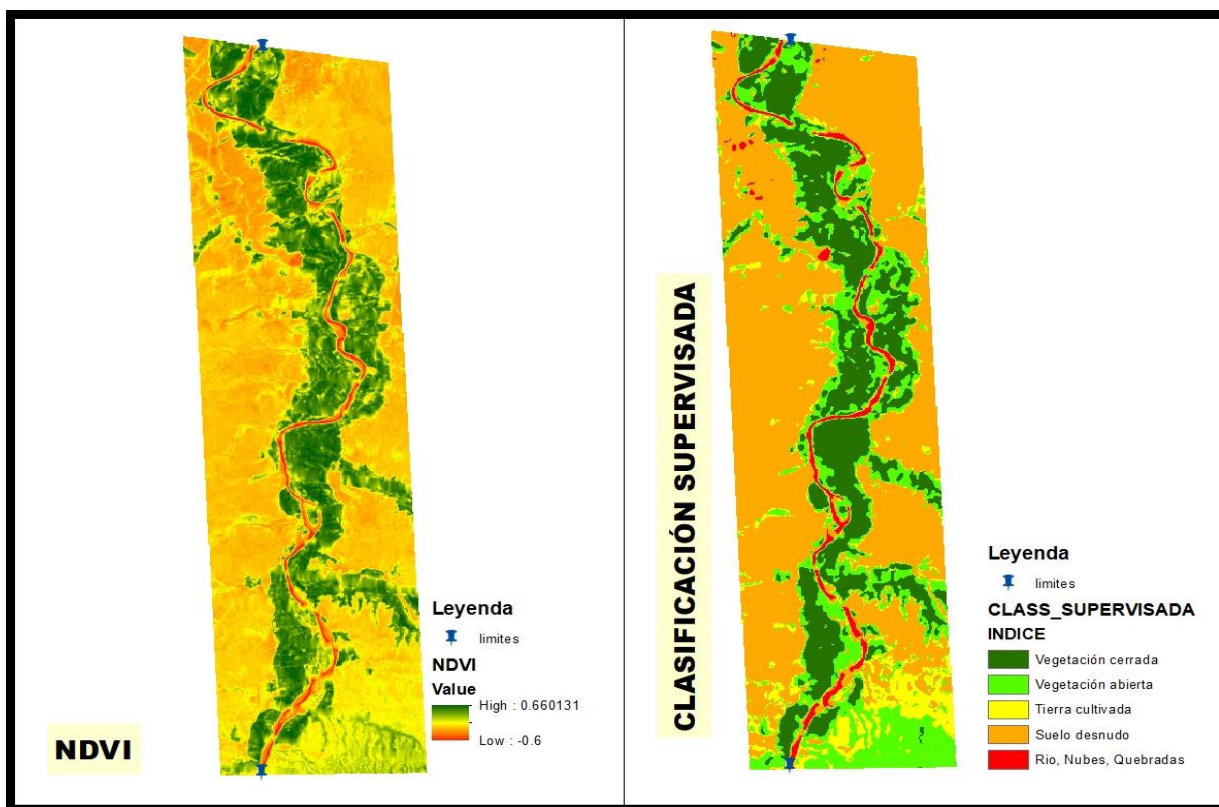
Anexo 11. NDVI y clasificación supervisada 2006.



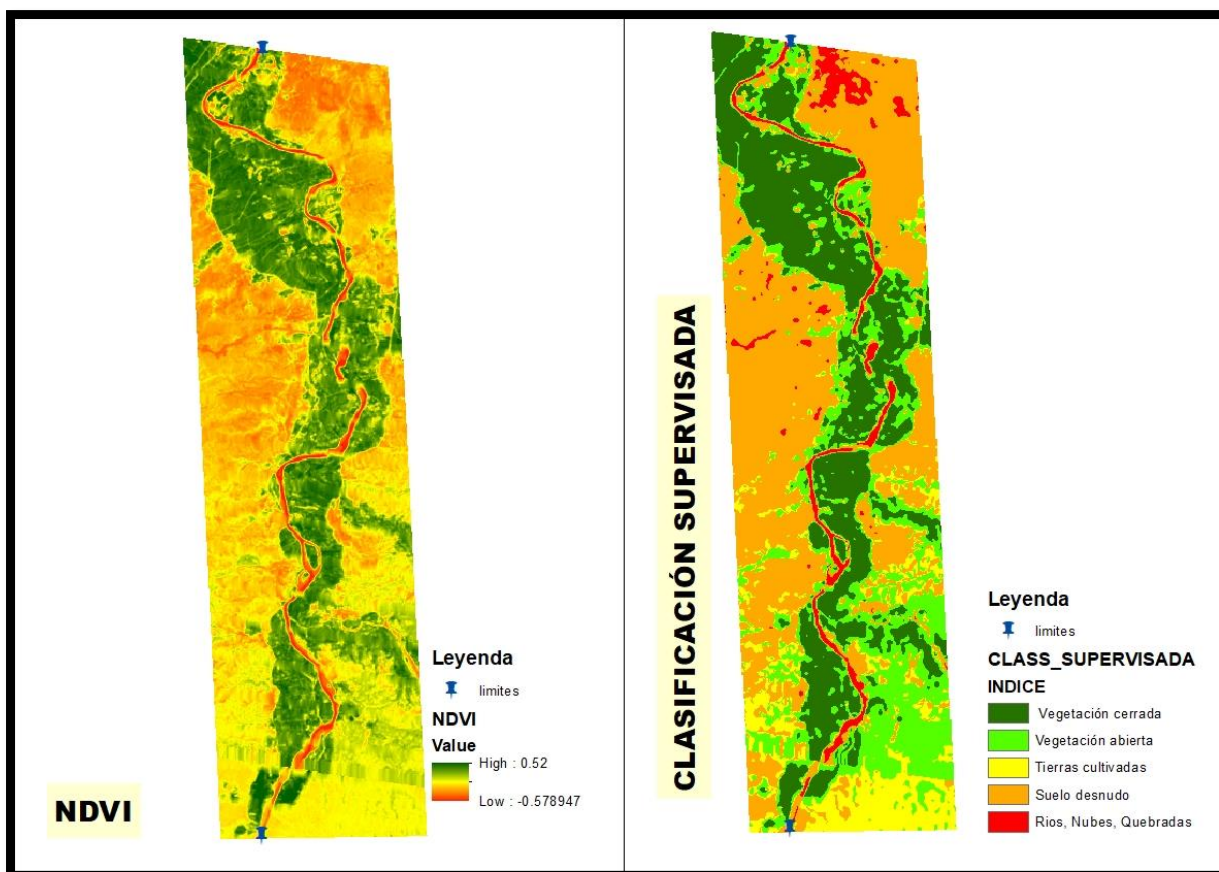
Anexo 12. NDVI y clasificación supervisada 2008.



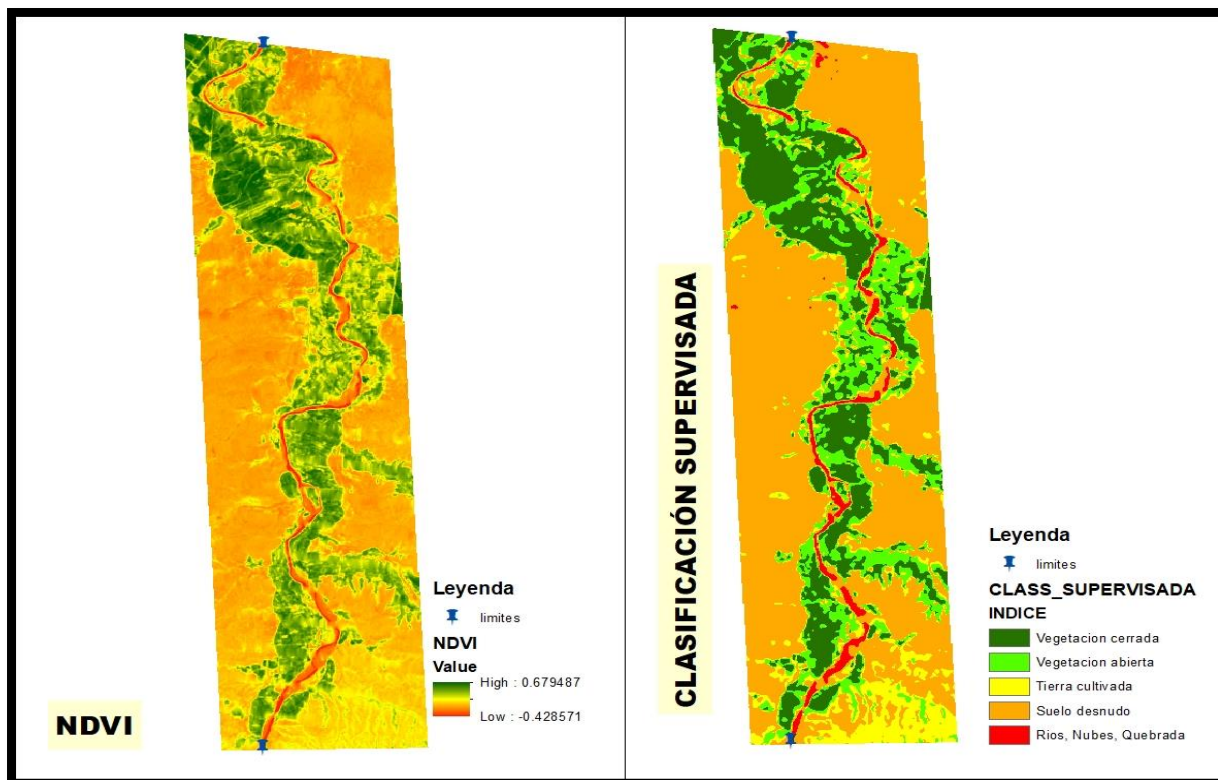
Anexo 13. NDVI y clasificación supervisada 2009.



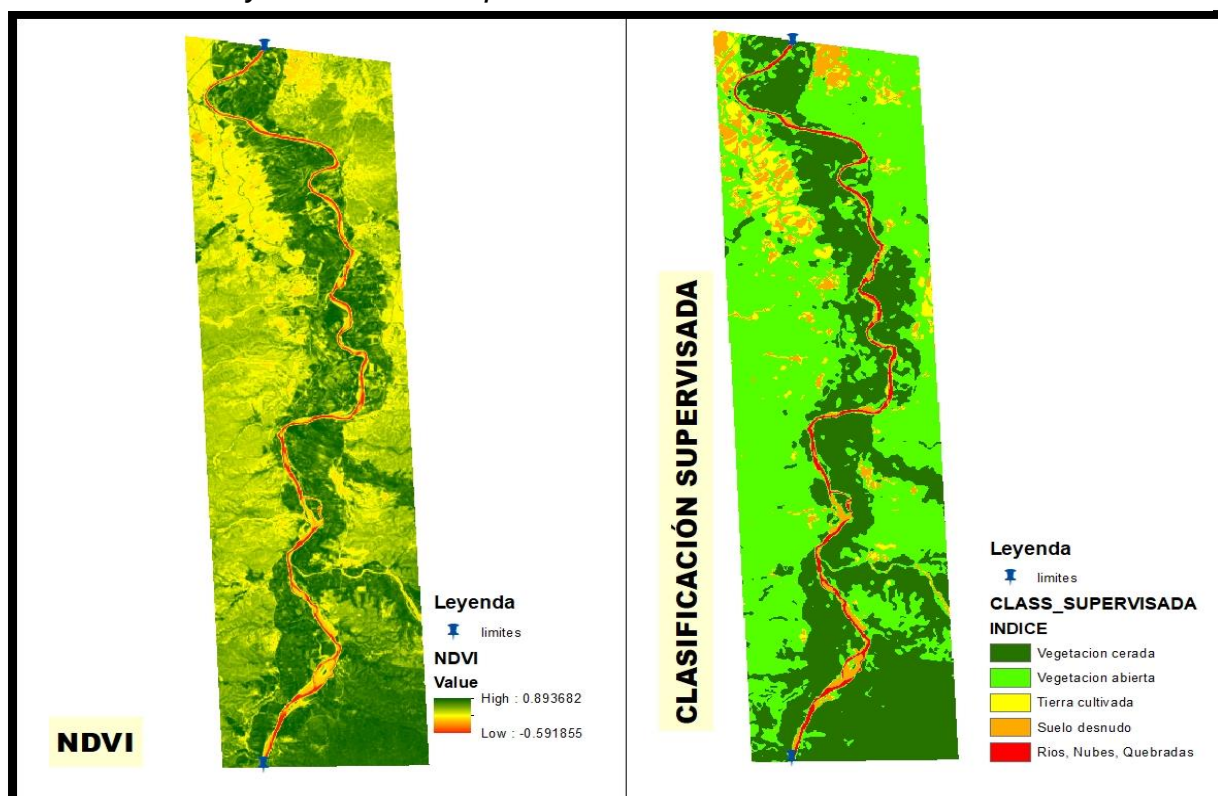
Anexo 14. NDVI y clasificación supervisada 2011.



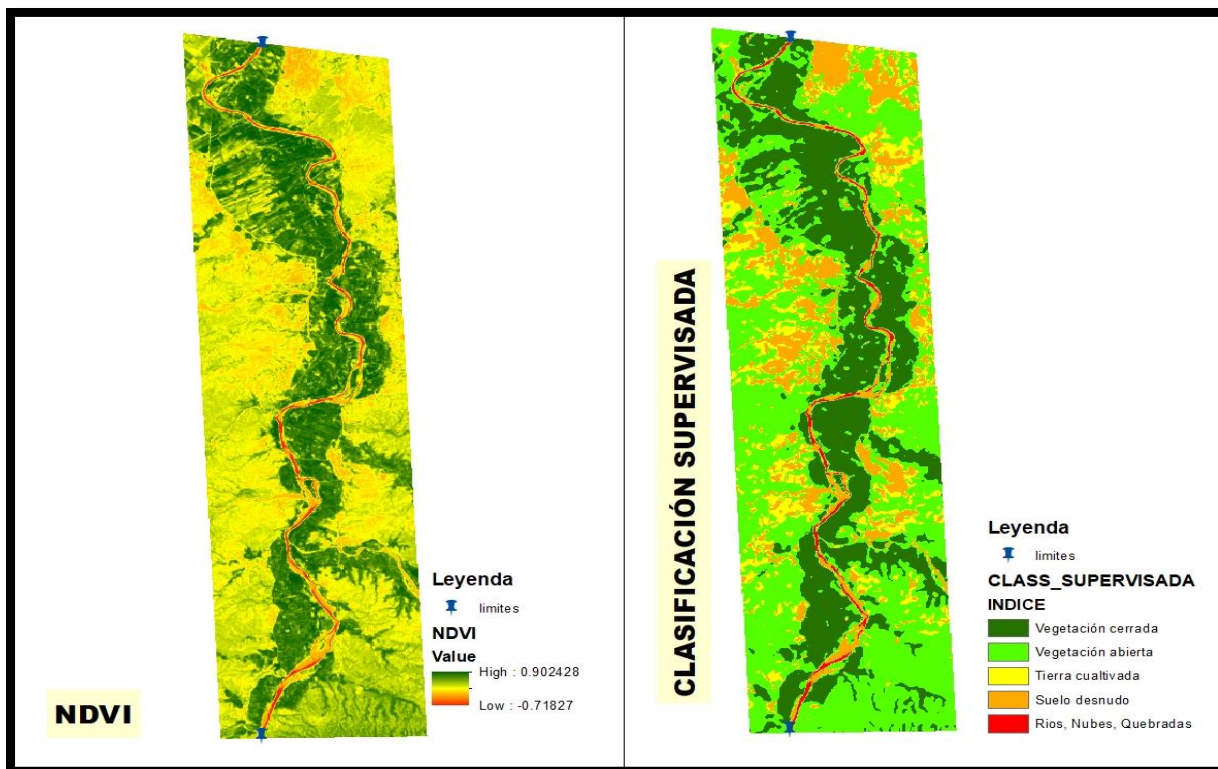
Anexo 15. NDVI y clasificación supervisada 2012.



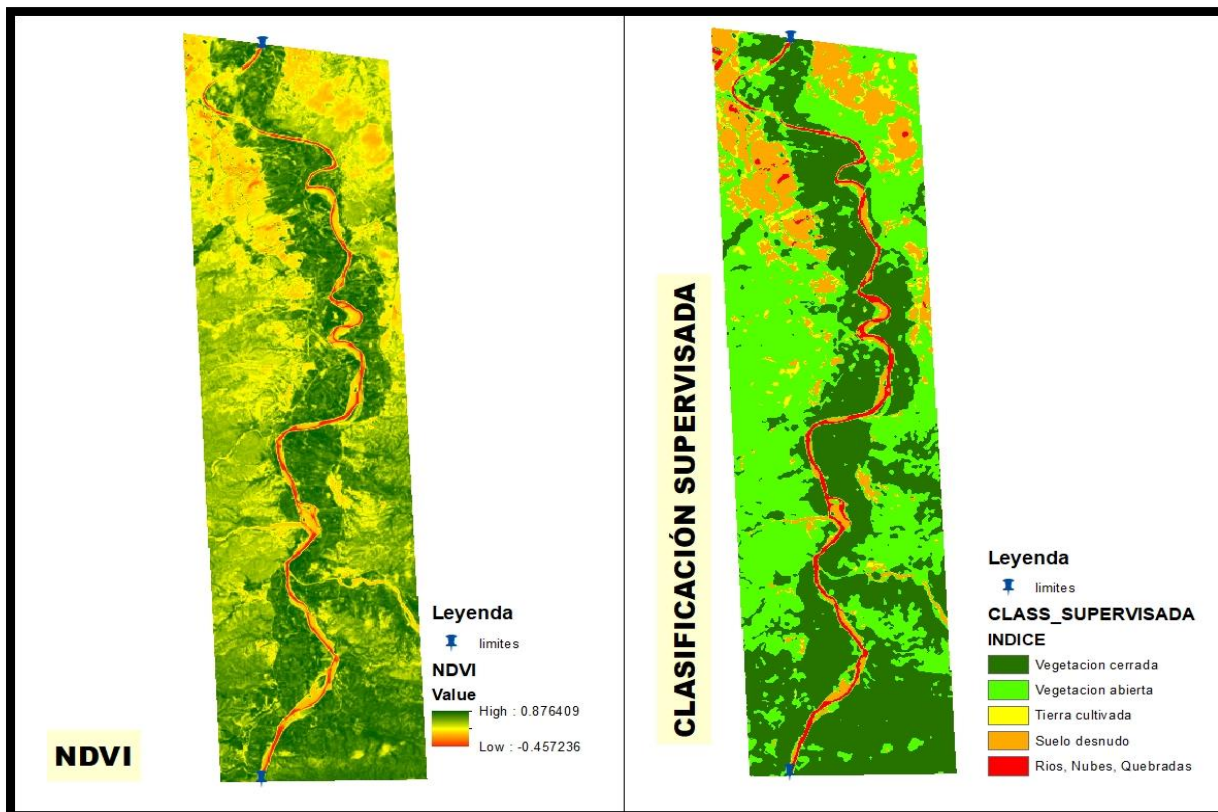
Anexo 16. NDVI y clasificación supervisada 2015.



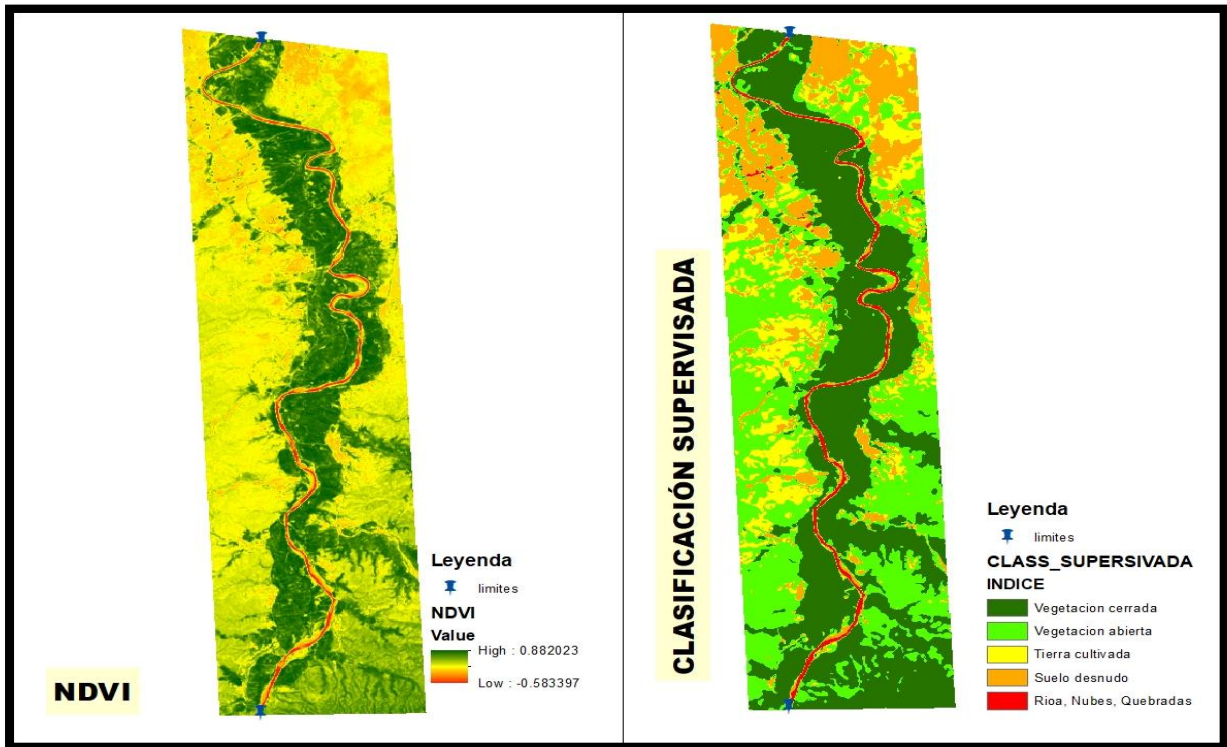
Anexo 17. NDVI y clasificación supervisada 2016.



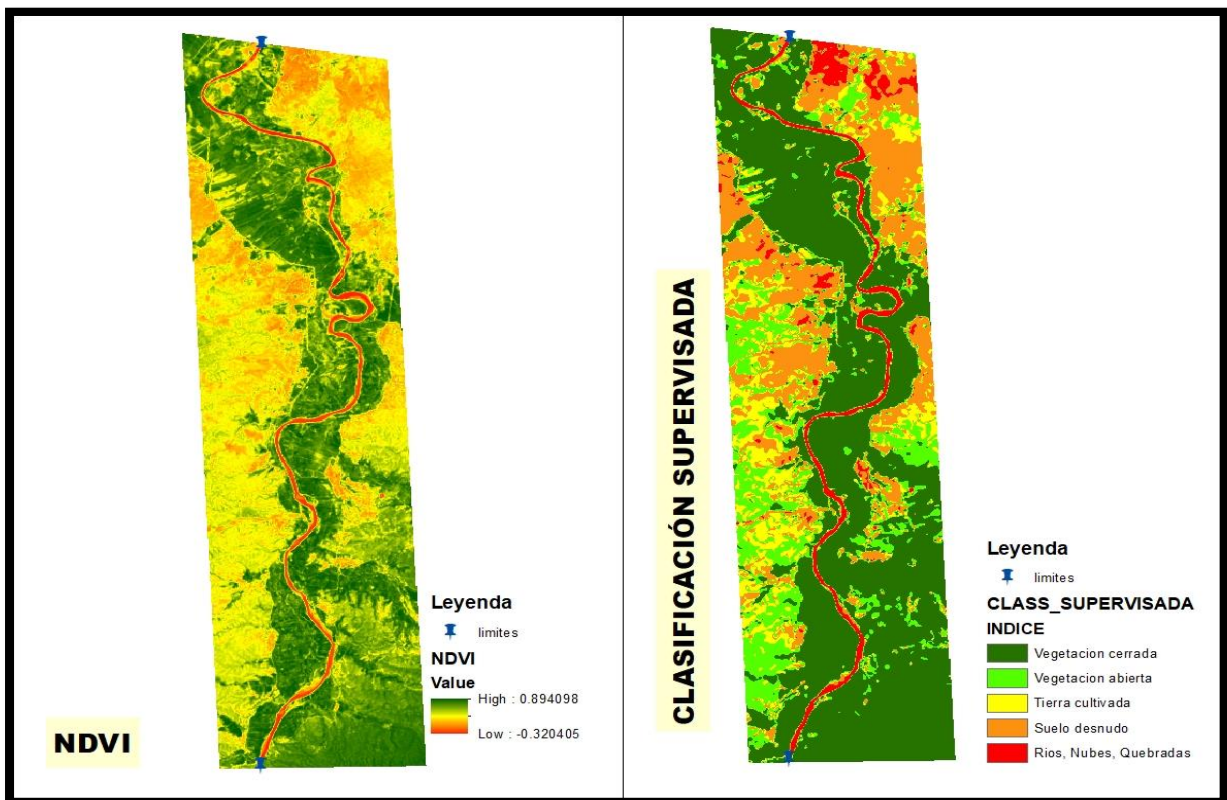
Anexo 18. NDVI y clasificación supervisada 2017.



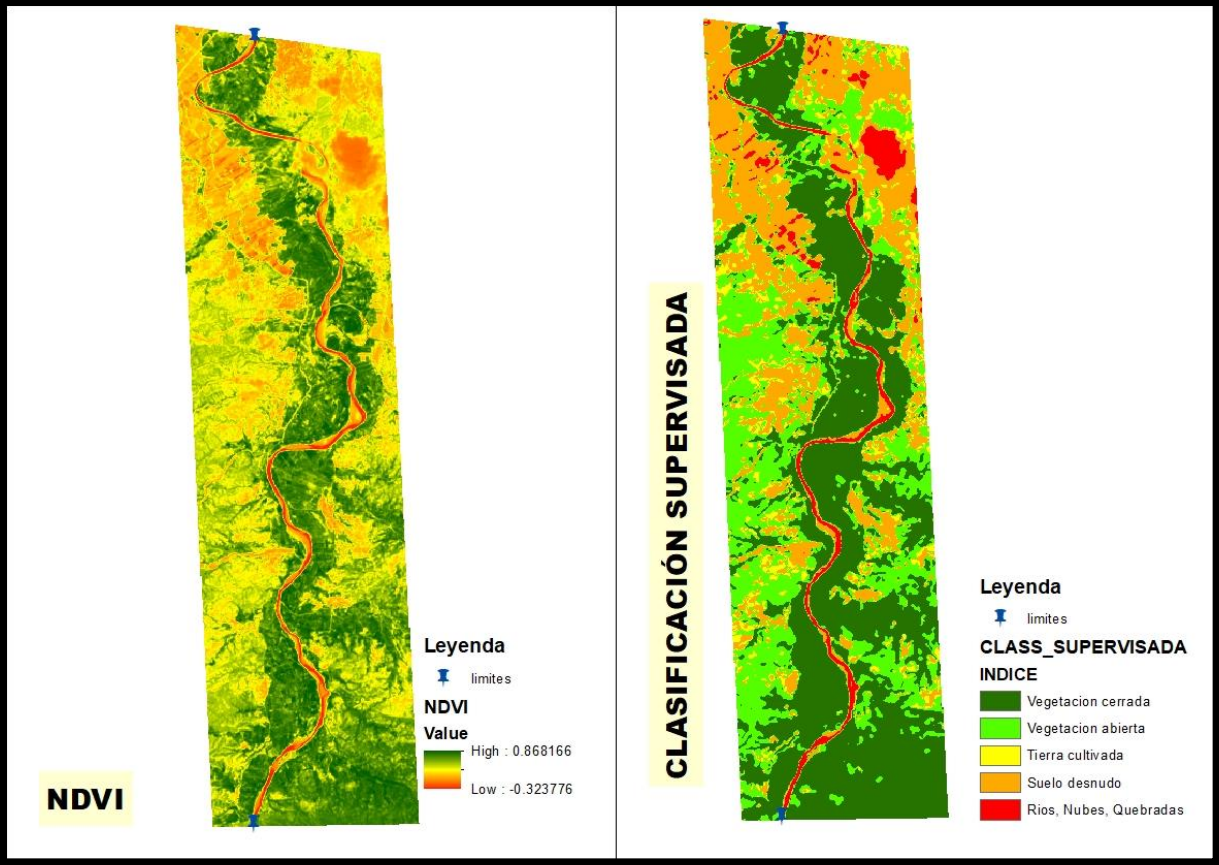
Anexo 19. NDVI y clasificación supervisada 2019.



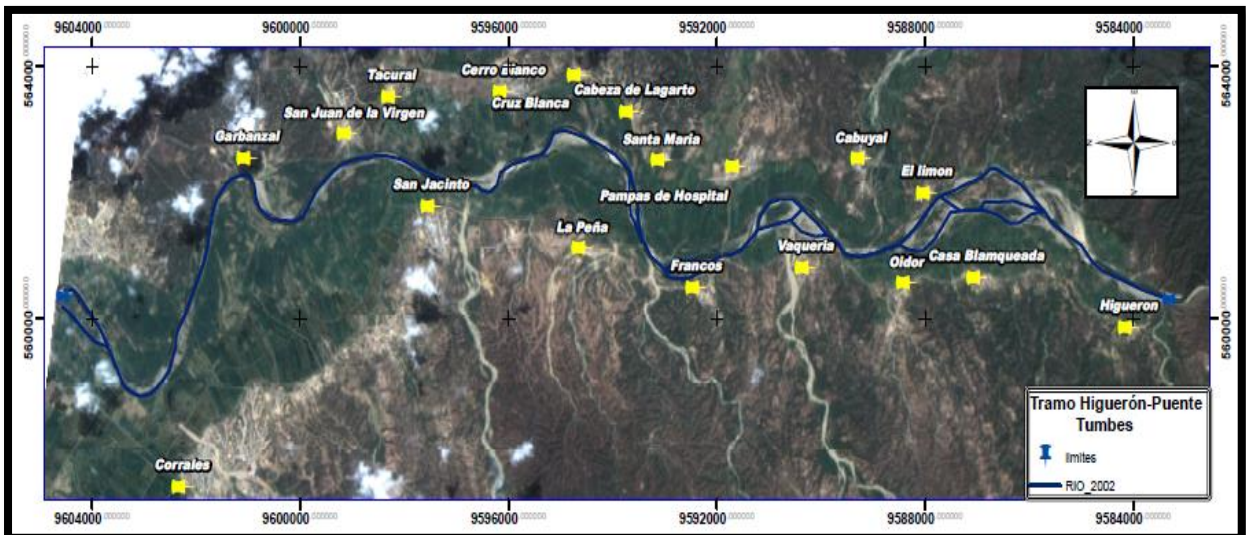
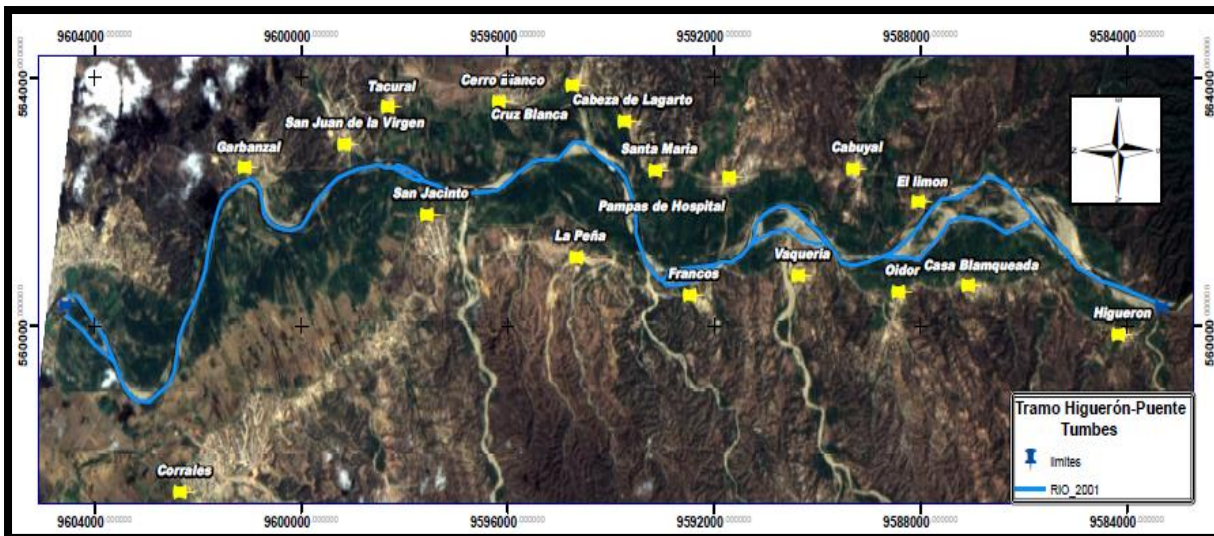
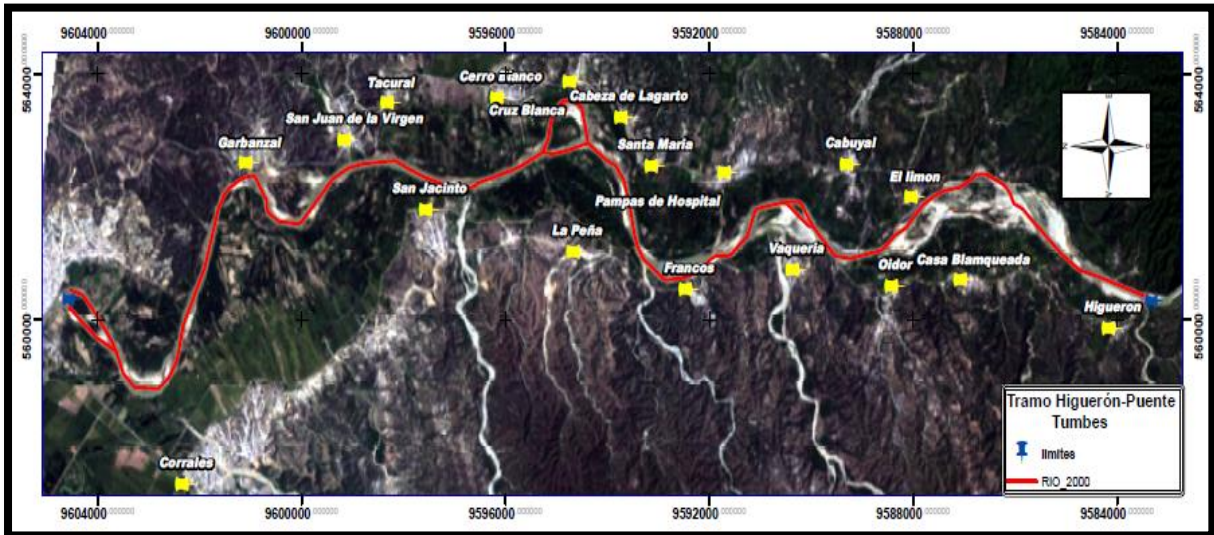
Anexo 20. NDVI y clasificación supervisada 2021.



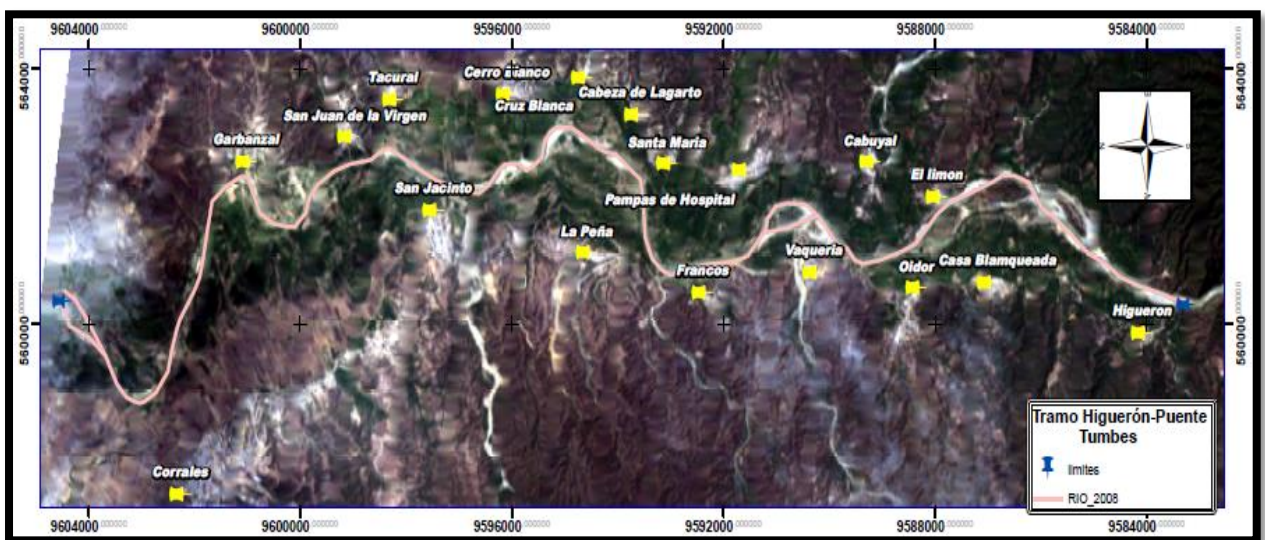
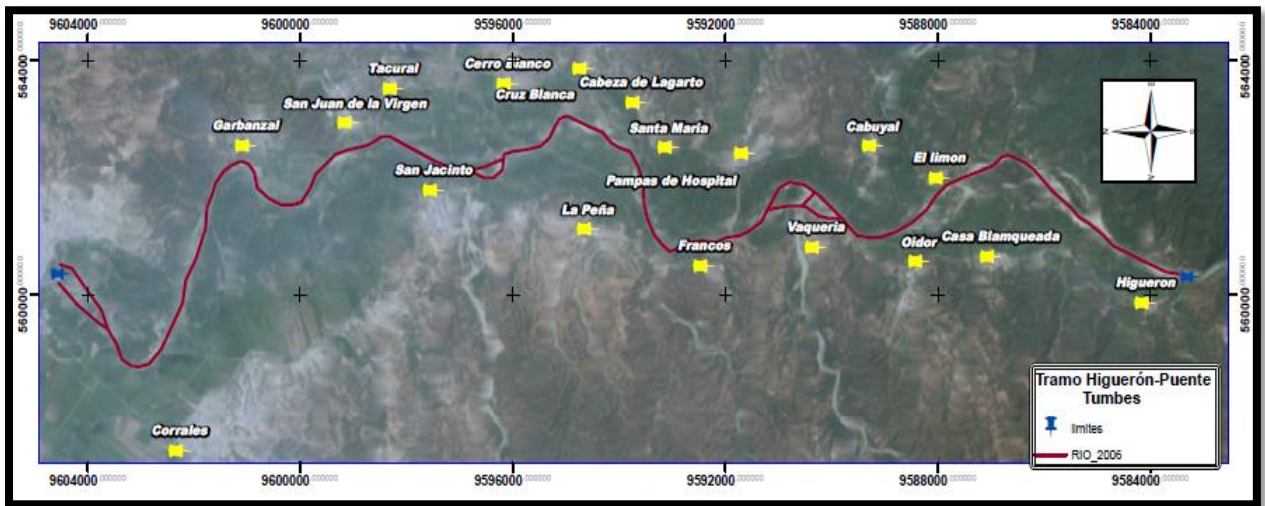
Anexo 21. NDVI y clasificación supervisada 2023.



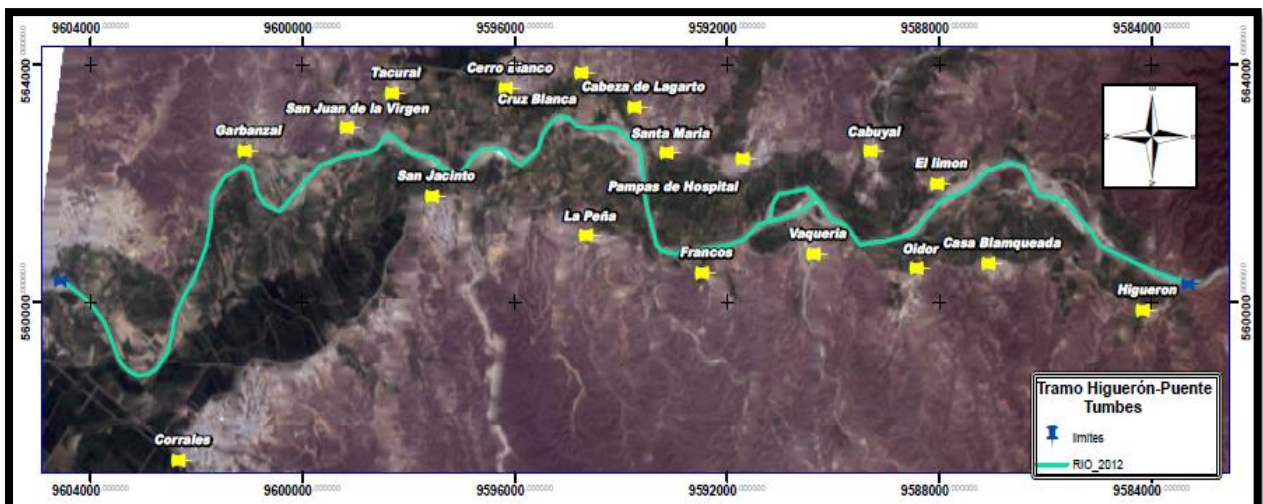
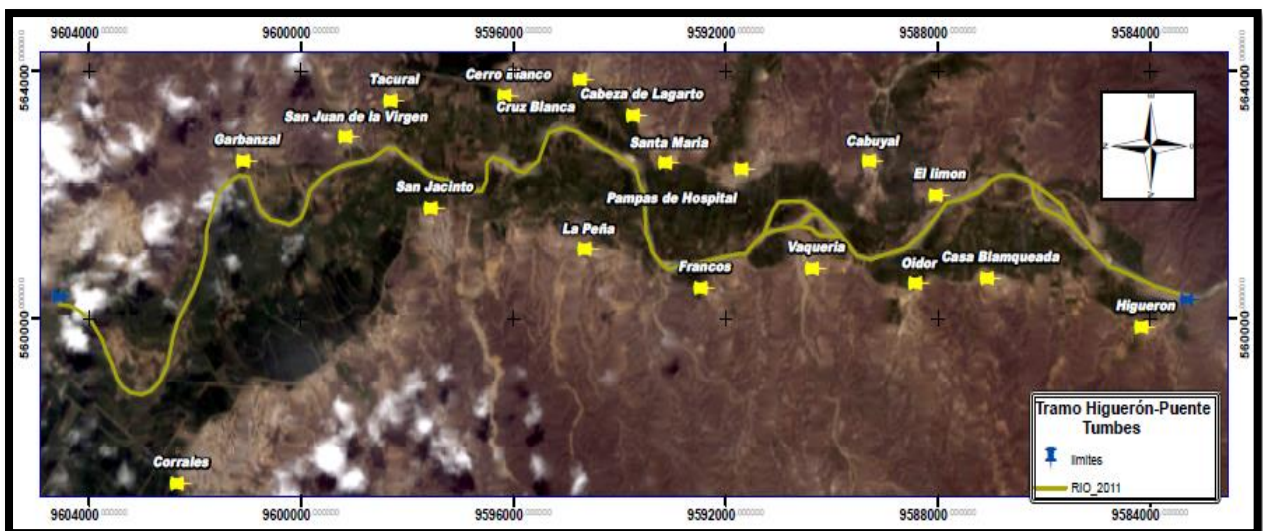
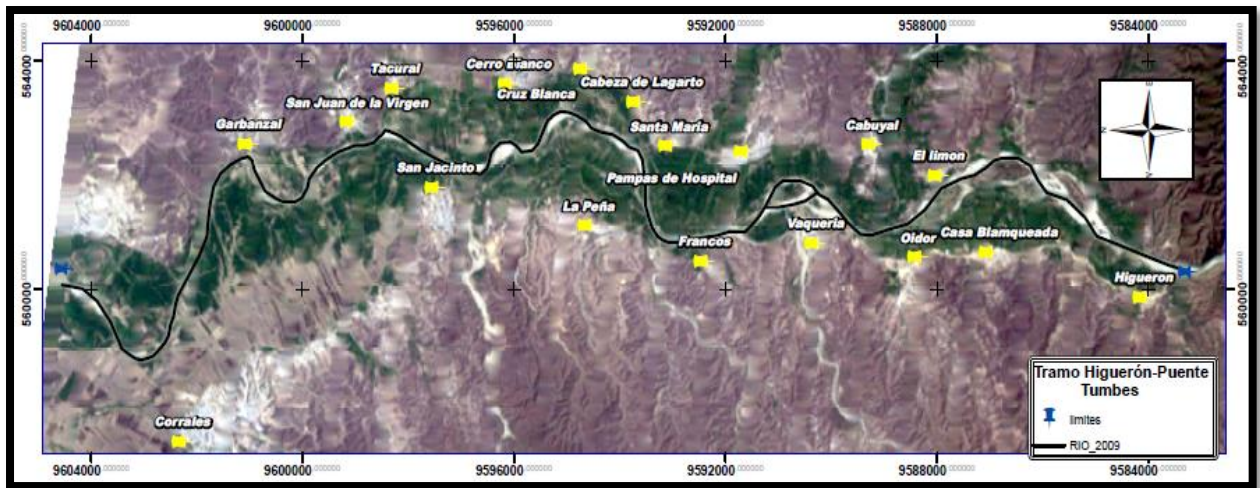
Anexo 22. Variación del cauce del río Tumbes, años 2000, 2001, 2002.



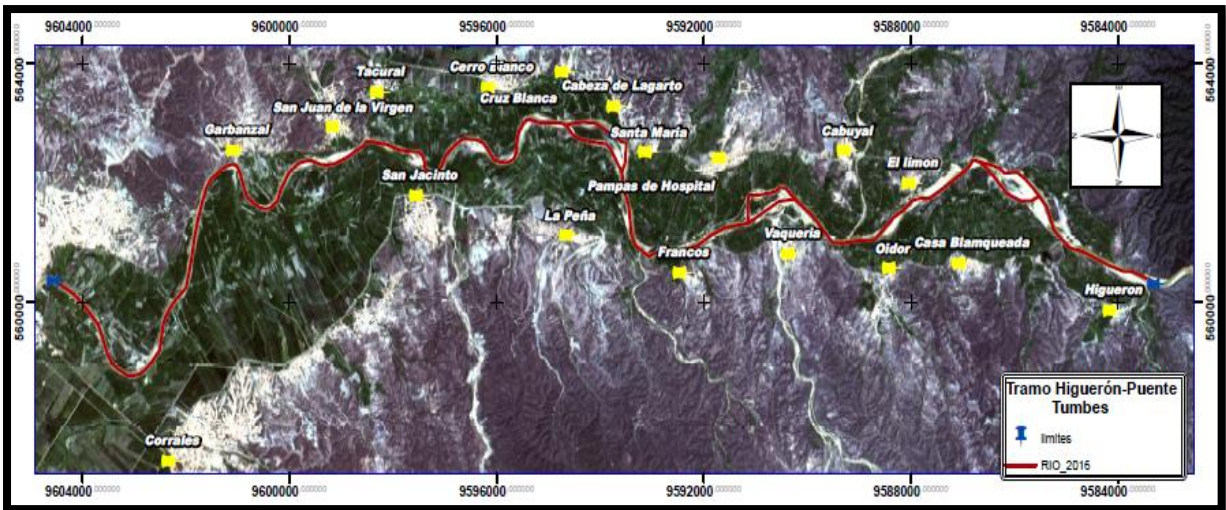
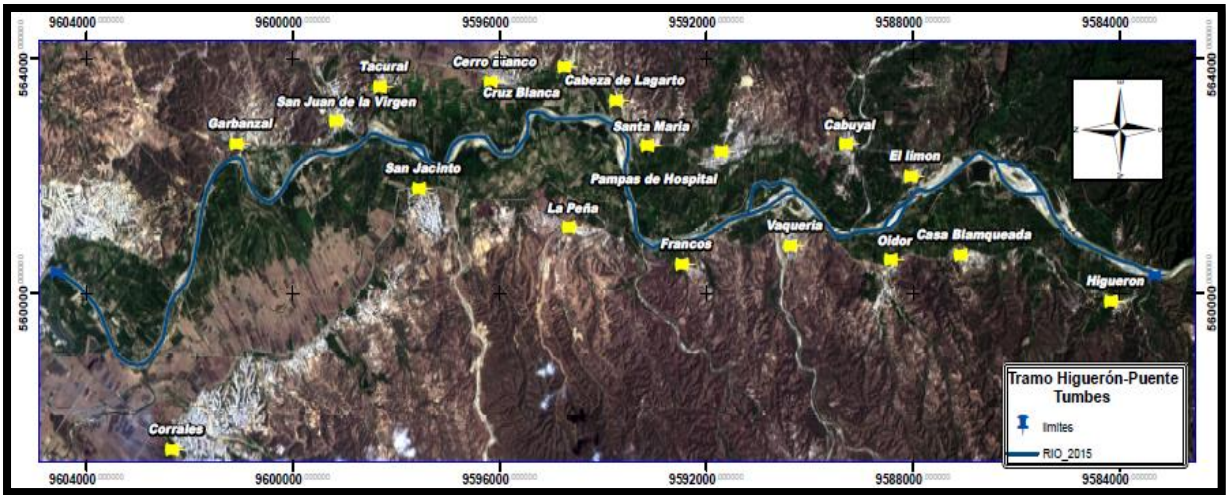
Anexo 23. Variación del cauce del río Tumbes, años 2005, 2006, 2008.



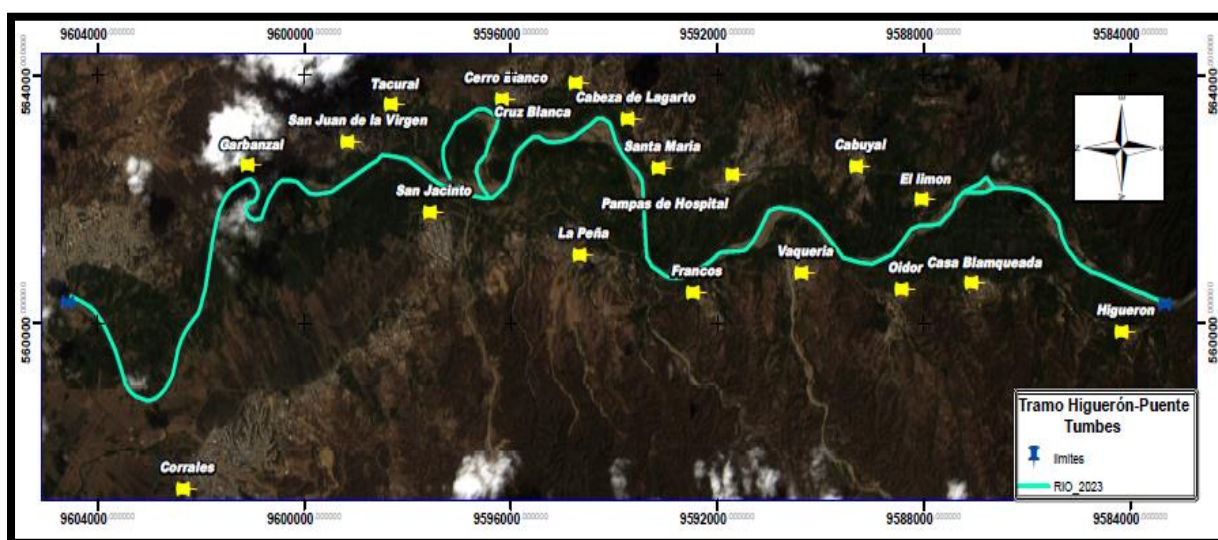
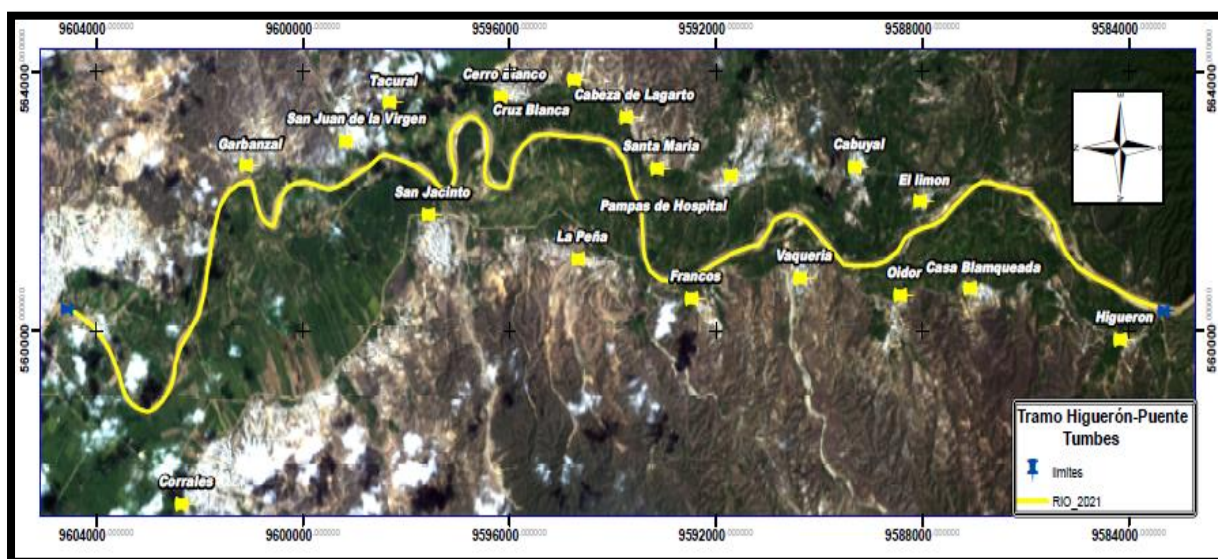
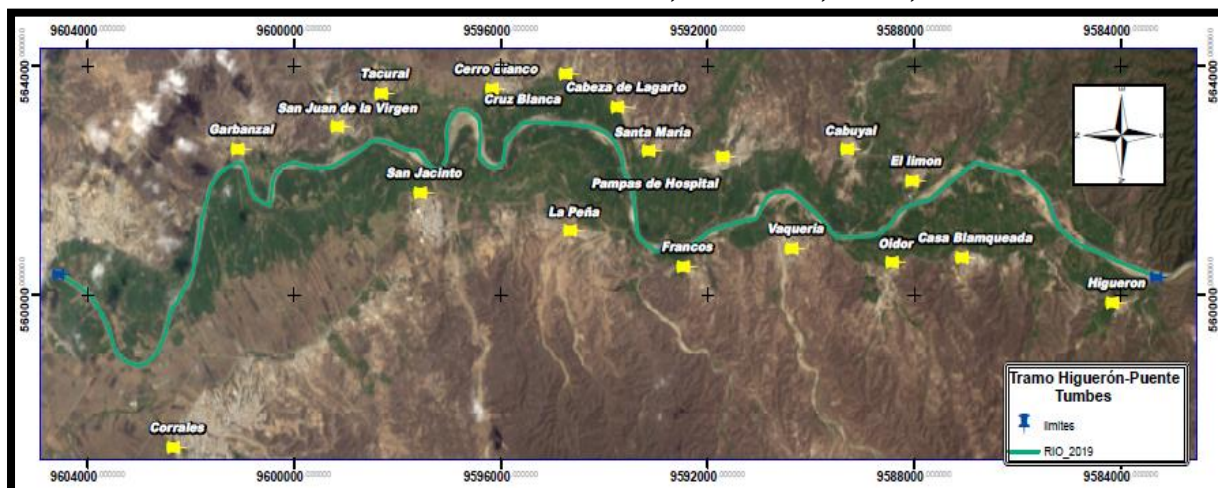
Anexo 24. Variación del cauce del río Tumbes, año 2009, 2011, 2012.



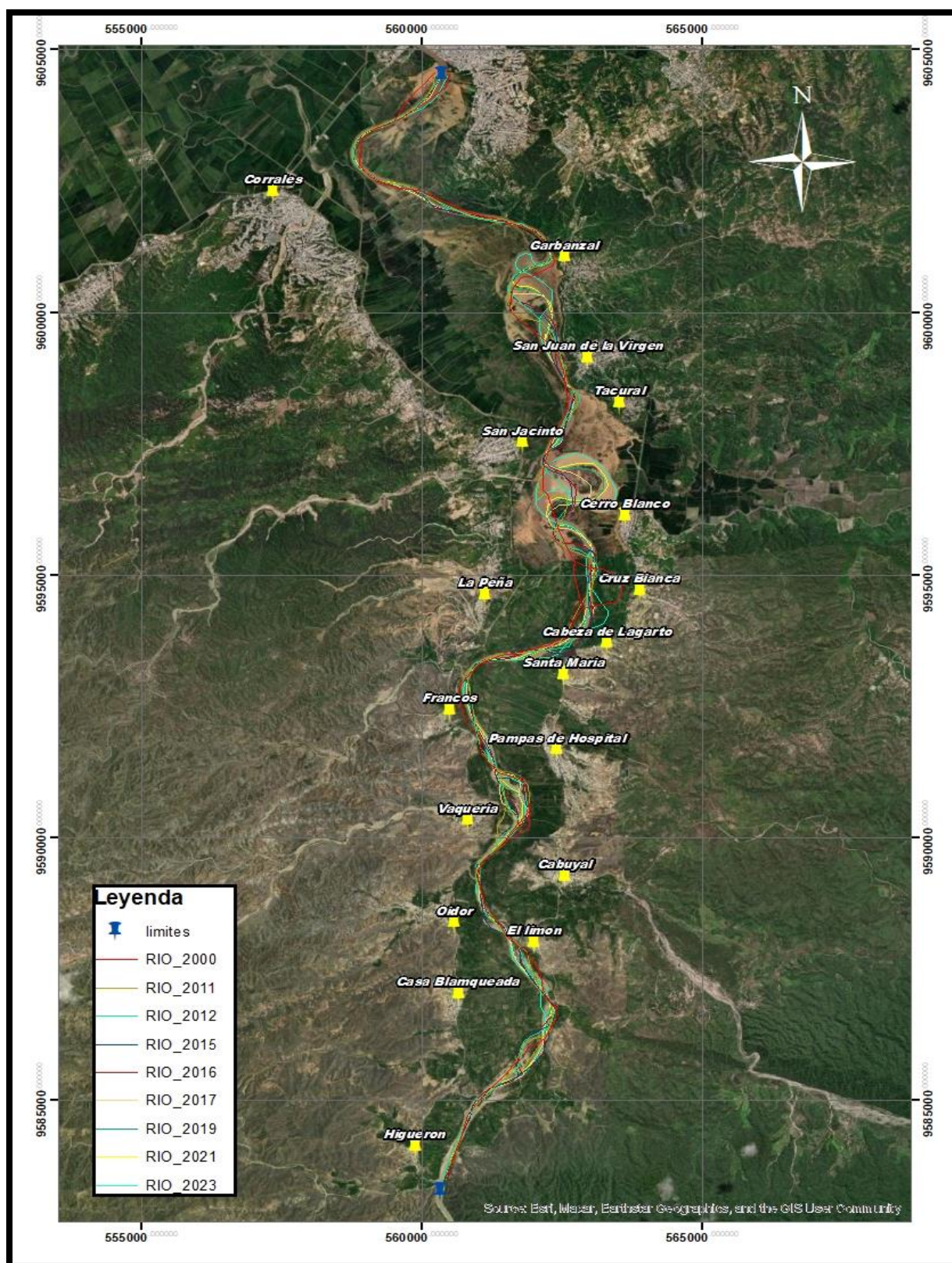
Anexo 25. Variación del cauce del río Tumbes, año 2015, 2016, 2017.



Anexo 26. Variación del cauce del río Tumbes, año 2019, 2021, 2023.

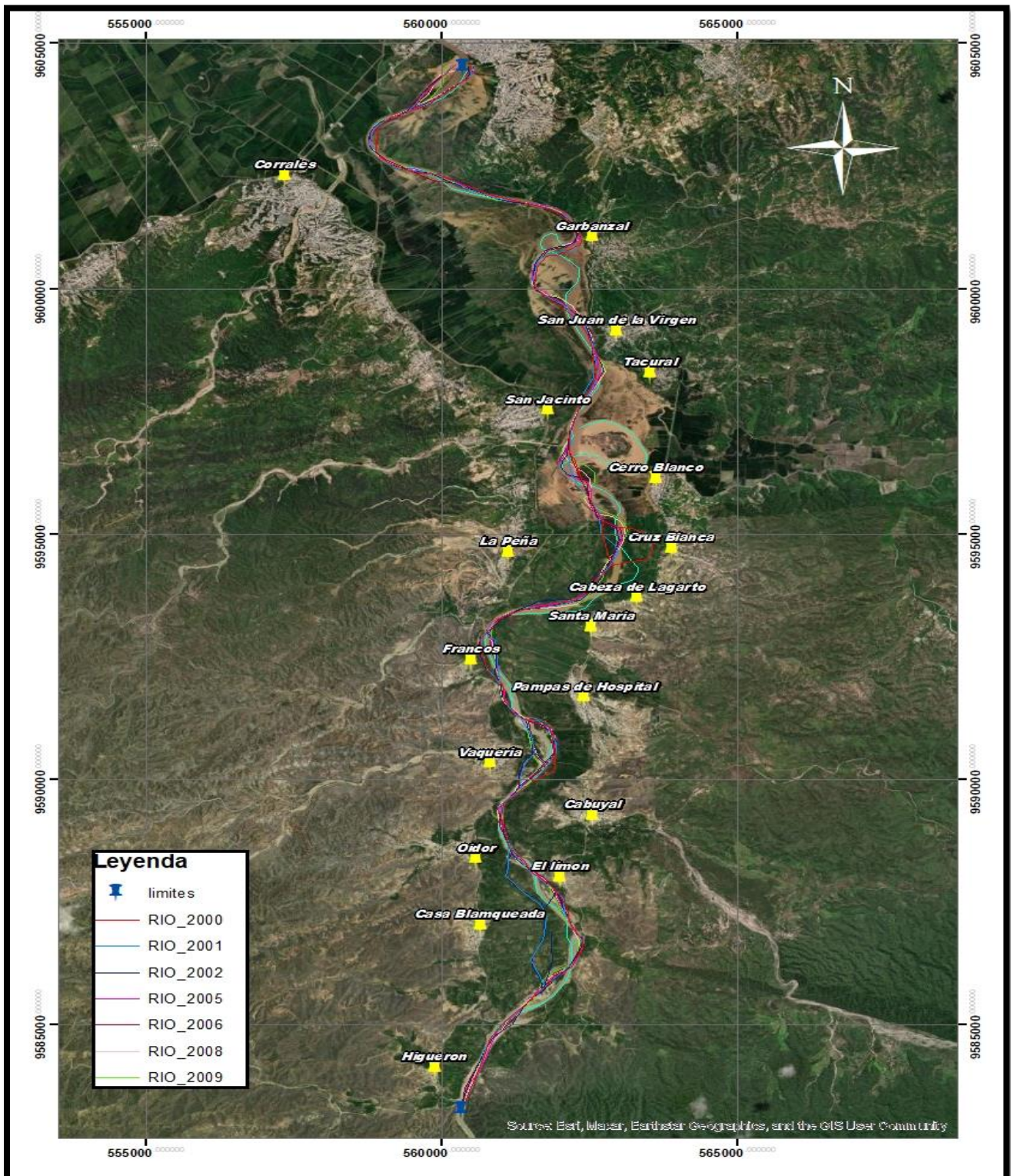


Anexo 7. Periodos con mayor variación del cauce, periodos 2011 - 2023.



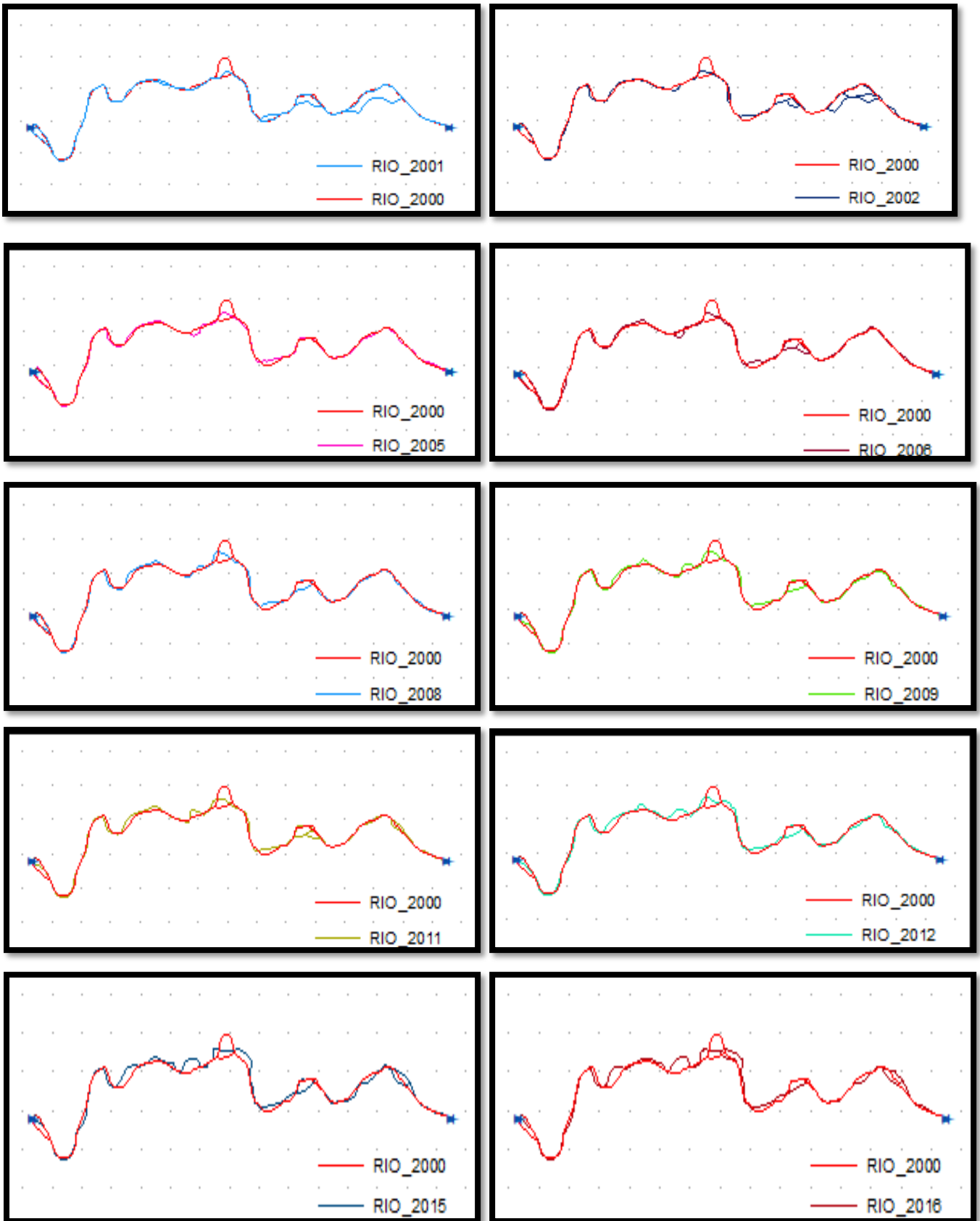
Nota: La imagen siguiente muestra los años en la que el cauce del río Tumbes ha tenido mayor incidencia en la variación multitemporal para los años de análisis comparados con el año de inicio 2000.

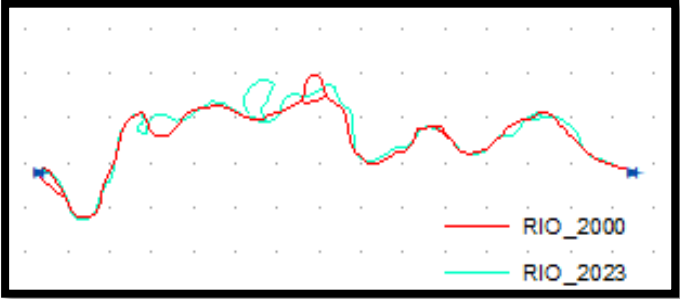
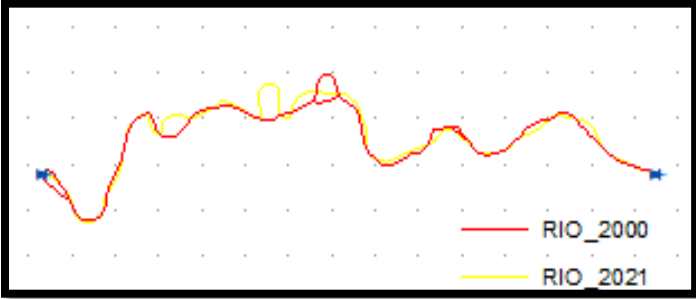
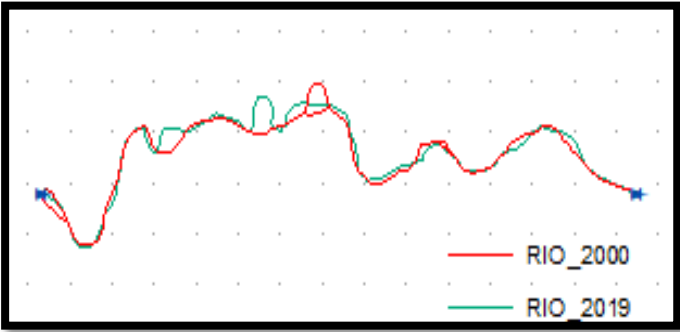
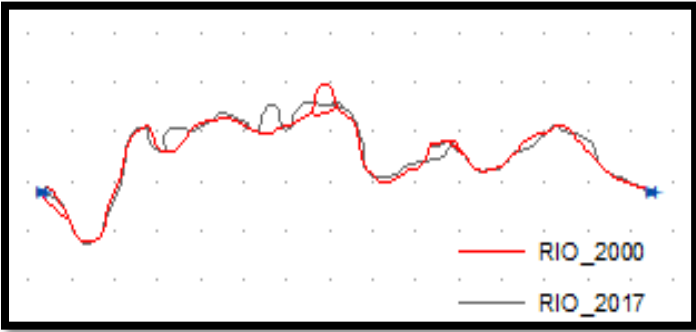
Anexo 28. Periodos con menor variación del cauce, periodos 2000 - 2009.



Nota: La imagen siguiente muestra los años en la que el cauce del río Tumbes ha tenido menor incidencia en la variación multitemporal para los años de análisis comparados con el año de inicio 2000

Anexo 29. Comparación del cauce del río Tumbes con año base 2000.





Anexo 30. Tabla de resultados.

Tipos de cobertura vegetal tramo estación el Tigre - Puente Tumbes																
Índice	Area_Ha															
	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2008	2009	2011	2012	2015	2016	2017	2019	2021	2023
Vegetación cerrada	6145.02	2818.51	2639.81	4198.64	2939.94	3901.23	3904.83	2358.90	3096.54	2271.51	3974.23	3428.28	4866.39	4576.05	5896.53	4842.18
Vegetación abierta	4488.66	2269.64	2233.24	3677.56	517.32	2671.92	5015.79	2069.01	2370.60	1715.22	6585.62	5525.37	5012.73	3813.12	1790.28	3083.58
Tierra cultivada	377.19	2221.25	1141.76	1460.41	3245.40	1236.87	901.26	830.70	1192.23	1106.10	536.76	1137.24	360.45	1425.51	1281.87	751.05
Suelo desnudo	508.59	4294.73	5013.77	2265.84	4911.12	3682.71	1818.09	6273.90	4689.63	6425.19	590.76	1584.90	1303.65	1766.43	2299.14	2674.62
Ríos, Nubes, Quebradas	292.95	208.64	784.13	210.35	198.45	319.68	172.44	279.81	463.23	294.39	199.53	136.44	269.19	231.30	544.59	460.98

cálculo de la sinuosidad del río Tumbes tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes																
Índice (mts)	Periodo de análisis															
	2000	2001	2002	2003	2005	2006	2008	2009	2011	2012	2015	2016	2017	2019	2021	2023
Distancia del cauce	28606.6	29144.3	28676.7	29310.3	29303.8	28726.7	29469.0	29554.9	29700.3	29822.3	30032.8	30623.0	30492.8	30939.3	30973.7	30620.8
	0	8	2	4	7	8	5	1	7	0	8	6	0	3	4	4
Distancia recta del cauce	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6	21260.6
	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
sinuosidad del cauce	1.35	1.37	1.35	1.38	1.38	1.35	1.39	1.39	1.40	1.40	1.41	1.44	1.43	1.46	1.46	1.44
Qmax	1238.1	2756.2	2646.6	681.4	1012.8	1583.3	1800	1957.2	1292.4	2616.7	1887.7	1598.7	1317.7	1347.1	1253.4	941.61

Anexo 10. Matriz de consistencia.

Matriz de consistencia del proyecto de tesis: "ANALISIS DE LA VARIACIÓN MULTITEMPORAL DEL CAUCE RÍO TUMBES EN LA AFECCIÓN DE AREAS AGRICOLAS, TRAMO ESTACIÓN EL TIGRE-PUENTE TUMBES 2000-2023"					
Problema de la investigación	Objetivo de la investigación	Hipotesis de la investigación	Variable de la investigación	Tipo de investigación	Unidades
<u>Problema General</u>	<u>Objetivo General</u>	<u>Hipotesis General</u>			
¿Cómo afecta la variación multitemporal del cauce del río Tumbes a las áreas agrícolas, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023?	Determinar como afecta la variación multitemporal del cauce del río Tumbes a las áreas agrícolas, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	La variación multitemporal del cauce del río Tumbes afecta las áreas agrícolas, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.			
<u>Problemas específicos</u>	<u>Objetivos específicos</u>	<u>Hipótesis específicas</u>			
¿Qué caudales máximos generan la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023?	Determinar cuales son los caudales máximos que generan la variación multitemporal de cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	Los caudales máximos registrados en los eventos de los fenómenos de El Niño pasados generaron la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	<u>Variable independiente.</u> Variación multitemporal del río Tumbes.	<u>De acuerdo con el enfoque de la investigación.</u> Aplicativa - descriptiva longitudinal.	<u>Población</u> El trabajo de investigación tiene como población el área agrícola el valle de Tumbes.
¿Cómo se modifica la geomorfología ante la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000- 2023?	Analizar como se modifica la morfología del cauce del río Tumbes como consecuencia de la variación multitemporal, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	La geomorfología se ve modificada en el eje y cauce del río Tumbes como consecuencia de la variación multitemporal, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	<u>Variable dependiente.</u> Áreas agrícolas	<u>De acuerdo con el fin que se persigue.</u> Cuantitativa - no experimental transversal.	<u>Muestra</u> Se tomó como muestra para la investigación el sector agrícola, tramo del cauce Estación el Tigre - Puente Tumbes.
¿Afectan a las áreas agrícolas la relación que existe entre los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación en Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023?	Determinar como afectan a las áreas agrícolas la relación entre los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.	Las áreas agrícolas se ven afectadas como consecuencia de la relación que existe de los caudales máximos y la variación multitemporal del cauce del río Tumbes, tramo Estación el Tigre - Puente Tumbes 2000 - 2023.			