

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas
dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales
1990-2024**

TESIS

Para obtener título de Ingeniero Agrícola

Autor.

Brian Jheferson Balladares zapata

TUMBES - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas
dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales
1990-2024**

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. José Modesto Carrillo Sarango
ID: 0000-0003-0841-3064

PRESIDENTE

Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval
ID: 0000-0002-8568-3255

SECRETARIO

Dr. Eber Gines Tafur
ID: 0000-0003-0366-4438

VOCAL

TUMBES - PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas
dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales
1990-2024**

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

Brian Jheferson Balladares Zapata

Autor

Dr. Eber Gines Tafur
ID: 0000-0003-0366-4438

Asesor

TUMBES - PERÚ

2025



ANEXO VIII

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

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los dieciocho días del mes de agosto de dos mil veinticinco, siendo las diez horas, con treinta minutos, en el ambiente de la Facultad de Ciencias Agrarias en el Aula 01 del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de forma presencial, se reunieron el Jurado Calificador, designado por Resolución N° 0184-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D., Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Presidente), Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval (Secretario), Dr. Eber Gines Tafur (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al Dr. Eber Gines Tafur, como Asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, "Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales 1990-2024", para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bach. Brian Jheferson Balladares Zapata, 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. BRIAN JHEFERSON BALLADARES ZAPATA**, aprobado, por unanimidad, con el calificativo sobresaliente.

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 apto 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 once horas y veinte minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 18 de agosto de 2025.

Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI N° <u>80233890</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-0841-3064</u> Presidente	Mg. Eder Esaud Hidalgo Sandoval DNI N° <u>42311217</u> CODIGO ORCID <u>0000-0002-5565-3255</u> Secretario
Dr. Eber Gines Tafur DNI N° <u>17542075</u> CODIGO ORCID <u>0000-0003-0366-4438</u> Vocal	

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

Brian Jheferson Balladares zapata

INFORME DE TESIS FINAL- BR. BRIAN JHEFERSON BALLADARES ZAPATA

 Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales 1990-2024

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trm:oid::3117-489685092

Fecha de entrega

1 sept 2025, 14:00 GMT-5

Fecha de descarga

1 sept 2025, 23:26 GMT-5

Nombre del archivo

INFORME DE TESIS FINAL- BR. BRIAN JHEFERSON BALLADARES ZAPATA.pdf

Tamaño del archivo

2.1 MB

72 páginas

11.667 palabras

73.721 caracteres



5% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 4%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 3%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

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

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



Fuentes principales

- 4% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 3% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

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

1	Internet	repositorio.untumbes.edu.pe	<1%
2	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2025-07-16	<1%
3	Internet	www.gob.pe	<1%
4	Internet	es.mongabay.com	<1%
5	Internet	environmentalsolutions.mit.edu	<1%
6	Internet	wwf.panda.org	<1%
7	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-08-07	<1%
8	Internet	repositorio.ucundinamarca.edu.co	<1%
9	Trabajos del estudiante	Universidad Alas Peruanas on 2018-11-29	<1%
10	Trabajos del estudiante	Universidad Estatal Amazonica- on 2025-07-15	<1%
11	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Loja on 2025-07-08	<1%



12	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica de los Andes on 2025-08-11	<1%
13	Internet	ezproxybib.pucp.edu.pe	<1%
14	Internet	hdl.handle.net	<1%



DEDICATORIA

A mi abuelo Isabel Donatilo Balladares Estrada que en paz descansa, por ser un modelo a seguir para mi crecimiento personal y sé que siempre me acompaña en todo momento.

A mi madre Yeni Maria, mi padre Carlos Alberto y mis hermanas Jhoselin, Karla y Briset cuyo apoyo incondicional se hizo presente manteniendo la esperanza de verme levantar mi título profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por permitirme el don tan dichoso de la vida y guiarme con sabiduría por el buen camino.

Al Dr. Gines Tafur por aceptar ser mi asesor y compartir su experiencia para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	14
II. REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	15
2.1. Planteamiento del problema.....	15
2.2. Justificación	16
2.2.1. Justificación técnica:.....	16
2.2.2. Justificación económica:.....	16
2.2.3. Justificación social:	17
2.2.4. Justificación ambiental:.....	17
2.3. Objetivos.....	18
2.3.1. Objetivo general:	18
2.3.2. Objetivos específicos:.....	18
2.4. Hipótesis.	18
2.4.1. Hipótesis general:.....	18
2.4.2. Hipótesis específicas	18
2.5. Variables.....	19
2.5.1. Variable independiente	19
2.5.2. Variable dependiente	19
2.6. Antecedentes	19
2.6.1. A nivel Internacional:	19
2.6.2. A nivel nacional:	21
2.7. Marco conceptual.....	23
2.7.1. Fajas marginales	23
2.7.2. Delimitación de faja marginal.....	23
2.7.3. Intrusión agrícola	23

2.7.4.	Uso de la tierra y cambio de cobertura	24
2.7.5.	Teledetección	24
2.7.6.	Imágenes satelitales	24
2.7.7.	Procesamiento de imágenes satelitales.....	25
2.7.8.	Sistemas de Información Geográfica (SIG).....	25
2.7.9.	Análisis multitemporal.....	25
2.7.10.	Zonificación ecológica y económica (ZEE)	26
2.7.11.	Vulnerabilidad ambiental	26
2.7.12.	Degradación del suelo	26
2.7.13.	Banda riparia	26
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	28
4.1.	Ubicación del área de estudio	28
4.1.1.	Ubicación Geopolítica:.....	28
4.1.2.	Ubicación Geodésica:.....	28
4.1.3.	Mapa de Ubicación:.....	28
4.2.	Materiales, equipos y softwares	29
4.2.1.	Material bibliográfico.....	29
4.2.2.	Material de campo	29
4.2.3.	Equipos	29
4.2.4.	Softwares	29
4.3.	Recolección de información	29
4.4.	Proceso metodológico.....	30
4.4.1.	Procesamiento de las Imágenes satelitales	31
4.5.	Proceso metodológico para la elaboración de mapas	33
4.5.1.	Adecuación y Preparación de Mapas de Intrusión Agrícola	34

4.6. Marco normativo sobre fajas marginales	34
4.6.1. Fundamento legal	34
4.6.2. Delimitación de faja marginal	35
4.7. Clasificación de imágenes satelitales	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
5.1. Resultados	59
5.1.1. Delimitación de faja marginal	59
5.1.2. Determinación de áreas agrícolas dentro de la faja marginal.....	59
5.1.3. Evolución de la intrusión de áreas agrícolas	61
5.2. Discusión	62
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES.....	65
VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	66
VIII. ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de trabajo	28
Figura 2. Imágenes satelitales	33
Figura 3. Esquema metodológico	34
Figura 4. Delimitación de faja marginal – color celeste.....	36
Figura 5. Área Invasada de la faja marginal periodo 1990 margen izquierda 1475.13 has	37
Figura 6. Área Invasada de la faja marginal periodo 1990 margen derecha 55.36 has.....	38
Figura 7. Área Invasada de la faja marginal periodo 1996 margen izquierda 1280.43 has.....	33
Figura 8. Área Invasada de la faja marginal periodo 1996 margen izquierda 77.51 has	384

Figura 9. Área de faja marginal en ambas márgenes del río inundadas y totalmente destruidos sus cultivos, Combinación de Bandas: Color Verdadero (NIR)	39
Figura 10. Área de faja marginal a ambas márgenes del río inundadas y totalmente destruidos sus cultivos, Combinación de Bandas: Color Verdadero (RGB).	40
Figura 11. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Combinación de Bandas: Falso color infrarrojo cercano (NIR). 41	
Figura 12. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Índice espectral NDWI	41
Figura 13. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Índice espectral NDVI	42
Figura 14. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen derecha 120.02. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR).....	42
Figura 15. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	43
Figura 16. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Índice espectral NDWI	43
Figura 17. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Índice espectral NDVI	44
Figura 18. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen derecha 152.86 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR).....	44
Figura 19. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	45
Figura 20. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Índice espectral NDWI	45
Figura 21. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Índice espectral NDVI	46
Figura 22. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen derecha 141.83 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)	46

Figura 23. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen izquierda 1360.65 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	47
Figura 24. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen izquierda 1360.65 has. Índice espectral NDWI	47
Figura 25. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen izquierda 1360.65 has. Índice espectral NDVI	48
Figura 26. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen derecha 156.21 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)	48
Figura 27. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	49
Figura 28. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Índice espectral NDWI	49
Figura 29. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Índice espectral NDVI	50
Figura 30. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen derecha 182.08 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)	50
Figura 31. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	51
Figura 32. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Combinación de bandas: SWIR Análisis de vegetación	51
Figura 33. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Índice espectral NDVI	52
Figura 34. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Mapa de procesamiento de Clasificación terrestre del suelo terrestre	52
Figura 35. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen derecha 159.17 has. Combinación de bandas falso color infrarrojo cercano (NIR)	53
Figura 36. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	53
Figura 37. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Combinación de bandas: SWIR: Análisis de vegetación	54

Figura 38. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Índice espectral NDVI	54
Figura 39. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Mapa de procesamiento de clasificadores de escenas del suelo terrestre	55
Figura 40. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen derecha 180.40 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)	55
Figura 41. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR) ..	56
Figura 42. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Combinación de bandas: SWIR: Análisis de vegetación	56
Figura 43. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Índice espectral NDVI	57
Figura 44. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Mapa de procesamiento de clasificación de suelo terrestre	57
Figura 45. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen derecha 170.49 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)	58
Figura 46. Gráfico de intrusión de áreas agrícolas	61
Figura 47. Gráfico comparativo de la evolución.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación política del río Tumbes	28
Tabla 2. Ubicación Geodésica de la zona de estudio	28
Tabla 3. Periodo 1990 – 2000	59
Tabla 4. Periodo 2000 – 2010	60
Tabla 5. Periodo 2010 – 2020	60
Tabla 6. Periodo 2020 – 2024	60
Tabla 7. Periodo de estudio completo	61

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo principal la evolución de la intrusión agrícola sobre zonas ambientalmente sensibles, utilizando herramientas geoespaciales y técnicas de teledetección. La investigación se desarrolla en el distrito de Corrales, región Tumbes, donde se ha observado un crecimiento sostenido de las áreas cultivadas en espacios que legal y ambientalmente deben permanecer libres de intervención humana por su rol ecológico y funcional en la dinámica fluvial.

Para el análisis multitemporal, se utilizaron imágenes satelitales Landsat de los años 1990, 2000, 2010 y 2024, procesadas mediante software SIG como QGIS y ArcGIS. Se aplicaron metodologías de clasificación supervisada y no supervisada para identificar las coberturas de suelo y cuantificar los cambios a lo largo del período estudiado. La validación de resultados se complementó con trabajo de campo y revisión documental.

Los resultados evidencian una variación alarmante de la ocupación agrícola en las fajas marginales del río Tumbes. Este fenómeno responde a factores como la falta de fiscalización, la presión demográfica y la expansión de cultivos. La investigación concluye que la intrusión agrícola pone en riesgo la estabilidad ecológica del ecosistema ribereño, incrementa la vulnerabilidad ante desastres naturales y compromete la sostenibilidad del recurso hídrico.

Palabras clave: fajas marginales, intrusión agrícola, análisis multitemporal, teledetección, SIG, río Tumbes, Corrales

ABSTRACT

The main objective of this study is to analyze the evolution of agricultural intrusion into environmentally sensitive areas using geospatial tools and remote sensing techniques. The research is conducted in the district of Corrales, Tumbes region, where a sustained expansion of cultivated areas has been observed in zones that, due to their ecological and functional role in river dynamics, should legally and environmentally remain free from human intervention.

For the multitemporal analysis, Landsat satellite images from the years 1990, 2000, 2010, and 2024 were used and processed using GIS software such as QGIS and ArcGIS. Supervised and unsupervised classification methodologies were applied to identify land cover types and quantify changes throughout the study period. The results were validated through fieldwork and document review.

The findings reveal an alarming variation in agricultural occupation within the marginal strips of the Tumbes River. This phenomenon is driven by factors such as lack of enforcement, population pressure, and crop expansion. The study concludes that agricultural intrusion jeopardizes the ecological stability of the riparian ecosystem, increases vulnerability to natural disasters, and threatens the sustainability of water resources.

Keywords: marginal strips, agricultural intrusion, multitemporal analysis, remote sensing, GIS, Tumbes River, Corrales.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la expansión descontrolada de las actividades agrícolas ha ejercido una presión creciente sobre los ecosistemas ribereños, afectando significativamente las fajas marginales de los ríos, las cuales constituyen zonas de protección ambiental críticas. En el caso del distrito de Corrales, ubicado en la región Tumbes, la actividad agrícola ha ido ocupando progresivamente áreas destinadas a la conservación y amortiguación natural del cauce del río Tumbes, comprometiendo su estabilidad ecológica, hidráulica y su capacidad de respuesta ante eventos hidrometeorológicos extremos.

Las fajas marginales son franjas de terreno adyacentes a los cauces naturales que, por mandato legal, deben mantenerse libres de ocupación y modificación para garantizar la funcionalidad del sistema hídrico, la conservación de la biodiversidad y la seguridad de las poblaciones ribereñas. No obstante, la limitada fiscalización, la creciente demanda de tierras cultivables y la falta de ordenamiento territorial han contribuido a que estas zonas se conviertan en espacios progresivamente invadidos por la agricultura.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad analizar la evolución de la intrusión agrícola en las fajas marginales del río Tumbes durante el período comprendido entre 1990 y 2024 en el distrito de corrales. Para ello, se emplearon herramientas geoespaciales y técnicas de teledetección que permiten realizar un análisis multitemporal de la cobertura del suelo. Se utilizaron imágenes satelitales de los programas Landsat y Sentinel, procesadas con software SIG, lo que permitió identificar patrones de ocupación del suelo, cuantificar el avance de la frontera agrícola y delimitar los sectores más críticos de afectación.

El estudio se justifica en la necesidad de generar evidencia técnica y visual que sirva como base para la toma de decisiones en materia de gestión del territorio, planificación ambiental y políticas de conservación. Asimismo, la investigación busca fortalecer el conocimiento local sobre los impactos de la expansión agrícola en zonas vulnerables, y aportar con recomendaciones técnicas y estratégicas orientadas a la recuperación y protección de las fajas marginales del río Tumbes.

II. REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1. Planteamiento del problema.

Desde 1990, el distrito de Corrales, situado en la cuenca del río Tumbes, ha experimentado un aumento significativo en las actividades agrícolas. Este incremento ha llevado a una expansión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, zonas que son vitales para el equilibrio ecológico, la prevención de inundaciones y la conservación de la biodiversidad. Las fajas marginales son áreas que bordean los ríos y están sujetas a inundaciones periódicas, desempeñando un papel crucial en la absorción del exceso de agua durante eventos de lluvias intensas y protegiendo las áreas aguas abajo de daños mayores.

Gland, Suiza – Según un nuevo libro del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), la agricultura —que es la industria más grande del mundo— es una de las mayores amenazas al medio ambiente. (WWF, 2024)

En Colombia las principales causas de la deforestación son la expansión de la frontera agropecuaria, especialmente para ganadería extensiva, siembra de cultivos ilícitos, tala ilegal, minería e infraestructura, incendios forestales y presión por el crecimiento poblacional. (Romero, pág. 5)

Es una situación preocupante, ya que actualmente, las fajas marginales están afectadas por el establecimiento de viviendas y sembríos, así como el arrojado de basura y desmontes. Solo en Lima, entre un 50 a 60 % de las fajas marginales de los ríos Chillón, Lurín y Rímac, que corresponde a las zonas urbanas, están ocupadas por diferentes actividades económicas, entre estas, restaurantes y centros campestres; asimismo actividad agrícola y de urbanización. (ANA, 2024)

La suma total de palma aceitera cultivada en estas cuatro regiones es de alrededor de 85 000 hectáreas de acuerdo con Maap, el Proyecto de Monitoreo de la Amazonía Andina, y de estas la mitad se plantó sustituyendo bosques amazónicos. (MONGABAY, 2018)

En Tumbes, la invasión de las fajas marginales del río es una problemática que ha sido destacada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Esta entidad resalta que estas áreas, consideradas intangibles debido a su vulnerabilidad, están siendo ocupadas irregularmente, lo que no solo pone en riesgo a la población sino también afecta negativamente los ecosistemas fluviales. Las autoridades locales han sido instaladas a tomar medidas preventivas para desalentar estas ocupaciones y promover la reubicación de las familias en riesgo.

2.2. Justificación

2.2.1. Justificación técnica:

Desde un enfoque técnico, la intrusión de áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes representa un desafío para la gestión hídrica y la planificación territorial. Estas fajas cumplen un rol crucial en la protección de la infraestructura hidráulica y en la regulación del flujo de agua, lo cual es esencial para prevenir inundaciones y garantizar un adecuado drenaje de aguas pluviales. La ocupación de estas áreas afecta la capacidad del sistema fluvial para gestionar los caudales y puede modificar el comportamiento hidráulico del río, incrementando el riesgo de desbordes y erosión.

La investigación técnica de este fenómeno permitirá evaluar el impacto de la expansión agrícola sobre los recursos hídricos, utilizando herramientas de modelamiento hidráulico y análisis espacial. Esto facilitará el desarrollo de soluciones técnicas, como la implementación de prácticas agrícolas sostenibles, la restauración de las fajas marginales y el diseño de infraestructuras de drenaje eficientes, para mitigar los efectos negativos de la intrusión agrícola y optimizar la gestión del agua en la región.

2.2.2. Justificación económica:

La intrusión de áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes afecta negativamente la economía local a largo plazo. Estas zonas son esenciales para la prevención de inundaciones y la conservación de los recursos hídricos, lo que garantiza la estabilidad de la producción agrícola y la disponibilidad de agua para consumo humano e industrial. Al alterar estos ecosistemas, se pone

en riesgo la seguridad hídrica y se incrementa la vulnerabilidad a desastres naturales, lo que podría generar mayores costos en infraestructura, rehabilitación de tierras y atención a emergencias.

Además, la expansión agrícola descontrolada puede resultar en la sobreexplotación de los recursos naturales, afectando la productividad a largo plazo y reduciendo la capacidad del territorio para sustentar actividades agrícolas sostenibles. La investigación en este tema permitirá identificar medidas para equilibrar el desarrollo agrícola con la conservación de los recursos, lo que podría reducir riesgos económicos, mejorar la eficiencia en el uso del agua y aumentar la resiliencia de las comunidades agrícolas frente a eventos climáticos extremos, promoviendo una economía más sostenible y competitiva en la región.

2.2.3. Justificación social:

La intrusión de las áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes, en el distrito de Corrales, ha aumentado considerablemente desde 1990, lo que genera riesgos tanto ambientales como sociales. Estas zonas son fundamentales para la regulación de inundaciones y la preservación de ecosistemas. La expansión agrícola sin planificación adecuada puede aumentar el riesgo de inundaciones, erosión y pérdida de biodiversidad, afectando la seguridad hídrica y los medios de vida de las comunidades locales. Esta investigación busca dar a conocer el impacto de la intrusión agrícola a estas zonas protegidas y con ello se busca generar soluciones sostenibles que equilibren la actividad agrícola con la conservación de las áreas ribereñas, garantizando así el bienestar y la resiliencia de la población dependiente del río.

2.2.4. Justificación ambiental:

La intrusión de áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes compromete la integridad ecológica de estos ecosistemas vitales, los cuales juegan un papel clave en la regulación del caudal fluvial, la prevención de inundaciones y la conservación de la biodiversidad. La ocupación de estas

zonas reduce la capacidad del río para manejar flujos de agua durante eventos extremos, aumenta el riesgo de erosión y contamina los recursos hídricos, afectando la calidad del agua y la salud del entorno natural. La investigación busca identificar soluciones que equilibren la actividad agrícola con la preservación de estos ecosistemas, promoviendo un uso sostenible de los recursos naturales y protegiendo la resiliencia ambiental de la región.

2.3. Objetivos

2.3.1. Objetivo general:

Determinar la intrusión de las áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales durante el período 1990-2024, utilizando análisis multitemporal con herramientas geoespaciales.

2.3.2. Objetivos específicos:

- a) Delimitar las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales.
- b) Determinar la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes a lo largo del período de estudio.
- c) Determinar cuál es la evolución de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes distrito de Corrales durante el período en estudio.

2.4. Hipótesis.

2.4.1. Hipótesis general:

La intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales ha aumentado significativamente entre 1990 y 2024.

2.4.2. Hipótesis específicas

- d) La determinación de las fajas marginales del río Tumbes muestra áreas significativas de invasión.
- e) La intrusión de las áreas agrícolas de las fajas marginales del río Tumbes ha sido mayor en las últimas décadas.
- f) La intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes en distrito de Corrales ha mostrado un incremento constante.

2.5. Variables.

2.5.1. Variable independiente

El Tiempo (1990-2024).

2.5.2. Variable dependiente

Intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes.

2.6. Antecedentes

2.6.1. A nivel Internacional:

Barrios Amaya & Ochoa Cáceres (2021) en su investigación “Análisis multitemporal de cambios del uso del suelo y cobertura en la cuenca media del río Bogotá desde 2013 a 2020”, los autores utilizaron imágenes Landsat procesadas en ArcGIS para detectar transformaciones en el uso del suelo en una zona con alta presión urbana y agrícola. Identificaron un aumento del 35% en la cobertura de cultivos y urbanizaciones sobre zonas ribereñas, generando una pérdida significativa de cobertura vegetal nativa. Asimismo, el estudio documentó un incremento en la contaminación de cuerpos de agua y mayor frecuencia de desbordes. Se concluye que el análisis multitemporal permite monitorear impactos en tiempo real y planificar estrategias de recuperación ecológica, metodología que respalda la base técnica de esta tesis.

Requena (2015) en su tesis “Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja”, Requena empleó imágenes satelitales clasificadas por el método supervisado, combinadas con trabajo de campo. El estudio reveló que entre 1990 y 2014, el área agrícola creció en un 42%, reemplazando ecosistemas secos ribereños. Esta expansión generó fragmentación del hábitat, disminución del caudal de los ríos y sedimentación acelerada. La investigación destaca la necesidad de establecer zonas de protección ecológica y demuestra que, sin planificación, la agricultura puede alterar de forma irreversible paisajes sensibles. Estos hallazgos son directamente comparables con la situación del río Tumbes.

Giri et al. (2008) Giri y colaboradores analizaron los cambios globales en ecosistemas costeros y ribereños utilizando imágenes Landsat durante un

período de 20 años. Estudiaron 214 sitios distribuidos en Asia, África y América Latina, encontrando una pérdida global de más del 35% en zonas de manglares y fajas marginales debido a actividades agrícolas e industriales. Su estudio concluye que la falta de protección legal de los bordes fluviales agrava el impacto del cambio climático. Recomiendan una planificación integrada del territorio con enfoque ecosistémico, lo cual respalda los objetivos de conservación de esta investigación.

Lambin & Meyfroidt (2011) en su artículo “Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity”, los autores examinaron cómo la globalización económica ha intensificado la transformación del suelo, especialmente en los márgenes de ecosistemas naturales. A través de modelado estadístico y revisión de casos, demostraron que la demanda de productos agrícolas provoca la invasión de zonas frágiles como humedales, riberas y zonas de amortiguamiento fluvial. Advierten que los márgenes de los ríos son comúnmente invadidos debido a su alta fertilidad y acceso al agua. Este marco teórico es aplicable al contexto de Tumbes, donde la producción agrícola ha crecido sin planificación hidrológica.

Geist & Lambin (2002) este metaanálisis de 152 estudios de deforestación tropical concluyó que más del 70% de la pérdida de cobertura vegetal en América Latina está directamente relacionada con la expansión agrícola en áreas de protección natural. El estudio distingue entre causas directas (agricultura, ganadería) y causas subyacentes (débil gobernanza, pobreza rural, presión demográfica), todos factores presentes en el distrito de Corrales. Geist y Lambin resaltan que las riberas de los ríos son altamente vulnerables por su accesibilidad y fertilidad, y proponen usar datos geoespaciales para orientar decisiones territoriales, lo cual se aplica directamente a la presente tesis.

Ramankutty et al. (2008) a través de bases de datos globales de uso del suelo y modelado SIG, Ramankutty et al. evaluaron la extensión de tierras agrícolas desde 1950 hasta 2000. Encontraron que los ecosistemas fluviales, humedales

y zonas de amortiguamiento fueron los más afectados por la expansión agrícola, especialmente en países en desarrollo. Resaltaron que, en ausencia de límites legales claros y fiscalización efectiva, las actividades productivas tienden a invadir las fajas marginales, afectando el ciclo hidrológico y la biodiversidad. El trabajo respalda el uso de imágenes satelitales para establecer líneas de base y monitoreo, como se plantea en esta investigación.

2.6.2. A nivel nacional:

Alvarado Huapaya et al. (2020) el estudio “Variación del área agrícola en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna, Perú” utilizó imágenes Landsat de los años 2000, 2010 y 2018 procesadas en QGIS, con clasificación supervisada. Se determinó que la superficie agrícola aumentó un 48%, principalmente sobre terrenos de recarga hídrica y zonas de amortiguamiento. Este crecimiento trajo consigo una reducción del nivel freático, pérdida de cobertura vegetal y disminución en la calidad del suelo. La investigación recomienda la implementación urgente de políticas de zonificación ecológica y control del uso del agua. Este caso sirve de comparación directa con la situación del río Tumbes.

Cabrera Dioses (2022) en su análisis del comportamiento forestal del ecosistema manglar en Tumbes entre 1986 y 2021, Cabrera utilizó imágenes Landsat 5, 7 y 8, procesadas con el software QGIS 3.24. El estudio mostró patrones de pérdida de cobertura debido al cambio de uso del suelo para actividades agrícolas y camaroneras. Se identificó una recuperación parcial solo en áreas protegidas. El autor recomienda el uso constante de herramientas SIG y teledetección para vigilancia territorial, argumento que refuerza la metodología de este estudio sobre las fajas marginales del río Tumbes.

Autoridad Nacional del Agua – ANA (2024) según la ANA, aproximadamente 60% de las fajas marginales de ríos peruanos han sido ocupadas por agricultura, viviendas, recreación o comercio informal. La entidad señala que estas zonas, legalmente intangibles, se encuentran bajo fuerte presión en regiones como Lima, Lambayeque y Tumbes. La ANA ha implementado

campañas de sensibilización y delimitación técnica de fajas marginales, pero reconoce que los gobiernos locales no cuentan con recursos ni capacidades para ejercer control. Esta información justifica la necesidad de estudios académicos que aporten evidencia técnica y mapas de riesgo, como el presente trabajo.

Mendoza et al. (2018) en su investigación en el valle del Mantaro, Mendoza y su equipo usaron sensores remotos para analizar la evolución de zonas agrícolas en relación con los cauces fluviales. Determinaron que el 45% de las fajas marginales analizadas habían sido invadidas en los últimos 20 años, afectando la estabilidad del suelo y la infraestructura hídrica. El estudio destaca la necesidad de crear mecanismos de vigilancia mediante SIG y establecer una normativa más clara sobre la recuperación de zonas invadidas, recomendaciones alineadas con esta tesis.

Valqui & Núñez (2016) en su trabajo sobre el uso del suelo en la cuenca del río Mayo (San Martín), encontraron que la expansión agrícola avanzó sin planificación, ocupando riberas y zonas con alta pendiente. Utilizando datos satelitales e inventarios de campo, identificaron un incremento del 52% en cultivos sobre fajas marginales, con consecuencias como erosión, azolvamiento de ríos y pérdida de conectividad ecológica. Propusieron fortalecer la articulación entre autoridades locales y la ANA para monitorear y ordenar el uso del suelo en zonas críticas.

Gonzales et al. (2019) en la cuenca del río Jequetepeque, estos investigadores utilizaron imágenes multitemporales y técnicas SIG para evidenciar que el 39% de las fajas marginales habían sido transformadas en zonas agrícolas o urbanas informales. Advirtieron que la falta de delimitación oficial, combinada con la expansión de cultivos de arroz y caña de azúcar, ha generado conflictos sociales y problemas de sedimentación. El estudio propone usar el análisis multitemporal como herramienta legal para recuperar zonas invadidas, línea metodológica que se replica en esta tesis.

2.7. Marco conceptual

El presente estudio se basa en un conjunto de conceptos clave que permiten entender, analizar y explicar los procesos de ocupación no planificada de las fajas marginales del río Tumbes. Estos conceptos se enmarcan en los campos de la geografía, gestión ambiental y tecnologías geoespaciales, y son fundamentales para desarrollar un análisis multitemporal riguroso.

2.7.1. Fajas marginales

Las fajas marginales son áreas de protección definidas legalmente como franjas de terreno adyacentes a los cauces naturales de agua, como ríos y quebradas, que deben mantenerse libres de ocupación, edificación o cultivo. Su función es preservar el equilibrio hídrico, amortiguar eventos extremos (como inundaciones), conservar la biodiversidad y evitar la erosión del suelo (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2024). La invasión de estas zonas puede causar impactos severos en la dinámica fluvial y en la seguridad de las poblaciones ribereñas (López et al., 2017).

2.7.2. Delimitación de faja marginal

La delimitación técnica de fajas marginales es un procedimiento realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) que consiste en establecer espacialmente los límites de estas zonas a partir de criterios geomorfológicos, históricos y jurídicos. Esta delimitación busca prevenir la ocupación indebida del cauce y permitir acciones de recuperación y fiscalización (ANA, 2024). Su ausencia o desactualización ha sido un factor clave en la ocupación progresiva observada en zonas como el río Tumbes.

2.7.3. Intrusión agrícola

La intrusión agrícola es el proceso mediante el cual actividades agropecuarias se desarrollan en territorios legalmente prohibidos o ambientalmente frágiles, como las fajas marginales. Esta ocupación suele estar impulsada por factores socioeconómicos como la presión por el acceso a tierras cultivables, la expansión de la frontera agrícola y la falta de fiscalización (Geist & Lambin, 2002). En el contexto del río Tumbes, esta intrusión ha incrementado

considerablemente en las últimas décadas, alterando la morfología ribereña y generando conflictos entre la conservación ambiental y las prácticas productivas (Requena, 2015).

2.7.4. Uso de la tierra y cambio de cobertura

El uso de la tierra se refiere a las actividades que los seres humanos desarrollan en una superficie determinada (como agricultura, ganadería o urbanización), mientras que la cobertura del suelo describe los elementos biofísicos que la componen (como vegetación, agua, suelo desnudo) (Foley et al., 2005). El análisis del cambio de uso y cobertura permite detectar transformaciones territoriales y cuantificar la presión humana sobre áreas sensibles como las fajas marginales. Estos cambios suelen evaluarse a través de técnicas de percepción remota y análisis multitemporal.

2.7.5. Teledetección

La teledetección es una técnica que permite recopilar información de la superficie terrestre sin contacto directo, mediante sensores ubicados en satélites o plataformas aéreas. Esta herramienta permite identificar, clasificar y monitorear fenómenos espaciales como el avance agrícola, la deforestación o los cambios en los cuerpos de agua (Campbell & Wynne, 2011). Su uso es indispensable para estudios a gran escala y de difícil acceso, como los que se desarrollan en las riberas del río Tumbes. Además, la teledetección facilita el seguimiento histórico de los cambios territoriales, permitiendo comparar imágenes de diferentes años para detectar intrusiones progresivas.

2.7.6. Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son registros visuales de la superficie terrestre captados por sensores remotos. Estas imágenes pueden tener diferentes resoluciones espaciales, espectrales y temporales, dependiendo del satélite utilizado. En estudios ambientales, las imágenes de los satélites Landsat y Sentinel son comúnmente utilizadas por su disponibilidad gratuita y series históricas extensas (Jensen, 2007). En esta investigación, las imágenes

satelitales permiten analizar la evolución del uso del suelo en el área de estudio entre los años 1990 y 2024.

2.7.7. Procesamiento de imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes satelitales es el conjunto de técnicas aplicadas a los datos obtenidos por sensores remotos, con el fin de corregir, mejorar, clasificar e interpretar la información contenida en las imágenes. Esto incluye la corrección geométrica, corrección atmosférica, clasificación supervisada o no supervisada, y análisis de índices espectrales como el NDVI (Giri et al., 2008). Estas técnicas permiten generar mapas temáticos y cuantificar el cambio en la cobertura vegetal o uso agrícola, como ocurre en las fajas marginales invadidas por cultivos en Tumbes.

2.7.8. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los SIG son herramientas que permiten almacenar, procesar, analizar y visualizar datos espaciales vinculados a información alfanumérica. Son fundamentales para representar la distribución geográfica de fenómenos como el uso del suelo, la expansión agrícola o la delimitación de zonas de protección (Longley et al., 2005). En este estudio, los SIG se emplean para superponer imágenes multitemporales, delimitar las fajas marginales del río Tumbes y analizar la evolución espacial de la intrusión agrícola durante el período de estudio.

2.7.9. Análisis multitemporal

El análisis multitemporal consiste en comparar imágenes satelitales obtenidas en diferentes momentos para detectar, medir y visualizar cambios en el uso y cobertura del suelo (Jensen, 2007). Esta metodología permite identificar patrones de transformación territorial, evaluar tendencias de expansión agrícola y proyectar escenarios futuros. En esta tesis, se aplica para examinar la evolución de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes entre 1990 y 2024, generando evidencia cuantificable sobre la ocupación no planificada.

2.7.10. Zonificación ecológica y económica (ZEE)

La ZEE es un instrumento técnico-normativo que organiza el territorio en función de sus características biofísicas, sociales y económicas, orientando su uso sostenible. Aunque su implementación en el Perú ha sido parcial, se reconoce como una herramienta clave para establecer límites de uso del suelo en zonas vulnerables, como riberas y ecosistemas acuáticos (MINAM, 2016). La ausencia de una ZEE eficaz en Tumbes contribuye a la expansión agrícola sobre las fajas marginales.

2.7.11. Vulnerabilidad ambiental

La vulnerabilidad ambiental se refiere al grado de exposición y sensibilidad de un sistema ecológico frente a amenazas naturales o antrópicas. En el caso de las fajas marginales, su ocupación agrícola incrementa la vulnerabilidad del territorio frente a desbordes, erosión y pérdida de biodiversidad (Valqui & Núñez, 2016). Este concepto es central para comprender las consecuencias de la transformación del uso del suelo en zonas de amortiguamiento fluvial.

2.7.12. Degradación del suelo

La degradación del suelo implica la pérdida de su calidad biológica, física o química debido a actividades humanas como el sobrecultivo, la deforestación o el uso no planificado del territorio. En las fajas marginales, la degradación se manifiesta en forma de erosión, compactación y pérdida de materia orgánica, agravada por la desaparición de vegetación ribereña protectora (Pimentel et al., 1995). La agricultura intensiva en estas zonas acelera el proceso y compromete la productividad a largo plazo.

2.7.13. Banda riparia

La banda riparia es la franja de vegetación natural ubicada a ambos lados de un cauce fluvial, que juega un rol esencial en la protección del ecosistema acuático. Esta zona actúa como filtro ecológico, estabiliza los márgenes, regula la temperatura del agua y alberga una alta biodiversidad (Naiman et al., 2005). Su conservación es prioritaria para el mantenimiento de la calidad del agua y la

estructura del hábitat. La conversión de la banda riparia en campos agrícolas reduce su funcionalidad ecológica y promueve la fragmentación del paisaje.

4.2. Materiales, equipos y softwares

Los materiales utilizados en esta investigación fueron fundamentales para alcanzar los objetivos planteados, permitiendo la clasificación multitemporal y la generación de mapas de uso de suelo en la faja marginal del río Tumbes. A continuación, se detallan los recursos cartográficos, tecnológicos y de campo empleados:

4.2.1. Material bibliográfico

- Imágenes satelitales obtenidas de Landsat y Sentinel

4.2.2. Material de campo

- Lapiceros
- Agenda

4.2.3. Equipos

- Movilidad
- Celular
- Computadora portátil
- Drone

4.2.4. Softwares

- ArcGIS 10.5.
- Qgis Desktop 3.36.3
- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.

4.3. Recolección de información

La recolección de información para el presente estudio se basó en un enfoque metodológico integral, empleando tanto fuentes primarias como secundarias con el objetivo de obtener datos confiables y representativos sobre la intrusión agrícola en las fajas marginales del río Tumbes, en el distrito de Corrales. En cuanto a las fuentes secundarias, se recurrió a entidades oficiales como la Autoridad Nacional del Agua (ANA), de donde se obtuvo la delimitación legal de la faja marginal en formato shapefile, lo cual permitió establecer los límites normativos del análisis.

Asimismo, se utilizó información geoespacial proveniente del Instituto Geográfico Nacional (IGN), específicamente los límites distritales del área de estudio. En el ámbito de la teledetección, se descargaron imágenes satelitales multitemporales de plataformas como EO Browser, Copernicus Data Space Ecosystem, Land Viewer y USGS Earth Explorer, priorizando aquellas con menos del 10% de nubosidad y cubriendo los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2024. Estas imágenes fueron seleccionadas considerando la estacionalidad agrícola local y la resolución espacial adecuada para identificar actividades agrícolas a nivel de parcela. Finalmente, se realizaron salidas de campo puntuales con fines de validación de los datos satelitales, mediante observación directa, uso de GPS y recopilación fotográfica georreferenciada, lo que permitió corroborar las clasificaciones obtenidas por medios remotos. Esta triangulación metodológica fortaleció la confiabilidad de los resultados obtenidos en el análisis multitemporal.

4.4. Proceso metodológico

El proceso metodológico seguido en esta investigación se fundamentó en un enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y explicativo, orientado a determinar y analizar los patrones de intrusión agrícola en las fajas marginales del río Tumbes entre los años 1990 y 2024. En primer lugar, se delimitó el área de estudio en el tramo correspondiente al distrito de Corrales, utilizando herramientas SIG (ArcGIS 10.8), aplicando buffers sobre el eje del cauce del río con base en la normativa legal vigente sobre fajas marginales. Luego, se procedió a la selección y descarga de imágenes satelitales históricas y recientes de alta calidad, priorizando sensores como Landsat 5, 7 y 8, así como Sentinel-2, mediante filtros por nubosidad y fecha. El procesamiento incluyó correcciones geométricas y radiométricas, así como el recorte de las imágenes al área de interés. Posteriormente, se realizó la clasificación del uso del suelo utilizando técnicas supervisadas y no supervisadas. Para ello se entrenaron algoritmos con muestras representativas del terreno, permitiendo identificar categorías clave como vegetación natural, área agrícola, cuerpos de agua y suelo desnudo. Los mapas obtenidos fueron comparados entre sí mediante análisis post-clasificación, con el fin de detectar los cambios en el uso del suelo a lo largo del tiempo. Se aplicaron índices espectrales como el NDVI para identificar

cobertura vegetal y el NDWI para detectar cuerpos de agua. Finalmente, se validaron los resultados con observaciones de campo y se realizó un análisis estadístico para cuantificar la superficie invadida, calcular tasas de cambio y comprender los patrones espaciales de ocupación. Esta metodología permitió construir una narrativa técnica y visual clara del proceso de invasión agrícola, aportando evidencia objetiva para la gestión sostenible del territorio en el área de estudio.

4.4.1. Procesamiento de las Imágenes satelitales

El procesamiento de imágenes Landsat constituye una etapa fundamental para el análisis multitemporal, particularmente en estudios orientados a identificar la intrusión de áreas agrícolas en zonas ambientalmente sensibles, como las fajas marginales del río Tumbes. En esta investigación, se utilizaron imágenes satelitales provenientes de los sensores Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ y Landsat 8 OLI, los cuales ofrecen una resolución espacial de 30 metros y una cobertura global histórica. Esta continuidad histórica permite realizar un análisis temporal consistente y robusto sobre más de tres décadas.

En primer lugar, se procedió a la descarga y selección de imágenes satelitales desde plataformas oficiales como USGS Earth Explorer y Land Viewer, priorizando aquellas con porcentajes bajos de nubosidad, ideales para un análisis claro y preciso. Las fechas seleccionadas para el análisis multitemporal fueron los años 1990, 2000, 2010 y 2020, procurando que correspondan a la estación seca, con el fin de minimizar las variaciones fenológicas de la vegetación y asegurar así una comparabilidad adecuada entre los distintos periodos. Para el caso del año 2024, se empleó principalmente la plataforma Copernicus Browser, desarrollada por la Agencia Espacial Europea (ESA), la cual reemplaza al antiguo EO Browser y permite el acceso gratuito a imágenes Sentinel-2 L2A, ya corregidas atmosféricamente. Luego, se realizaron correcciones geométricas con el fin de alinear espacialmente las escenas, asegurando que los píxeles coincidan en ubicación geográfica entre todas las fechas. Se utilizó la proyección cartográfica WGS 84 – UTM Zona 17S.

Adicionalmente, se aplicaron correcciones radiométricas y atmosféricas para normalizar los valores de reflectancia superficial, eliminando distorsiones causadas por condiciones atmosféricas variables. En el caso de Landsat 8, se trabajó con productos de nivel 2 que ya incluyen estas correcciones a través del algoritmo LaSRC (Land Surface Reflectance Code).

Posteriormente, se realizó el recorte (clipping) de las imágenes al área de interés correspondiente a las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales, utilizando como base los shapefiles obtenidos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Este paso permitió optimizar el procesamiento de datos y focalizar el análisis exclusivamente en la zona de estudio.

Una vez delimitada el área, se generaron combinaciones de bandas en falso color, como la del infrarrojo cercano (NIR), rojo y verde, para realzar visualmente la cobertura vegetal y distinguirla de otras clases de cobertura, tales como cuerpos de agua, suelo desnudo o áreas agrícolas. Estas combinaciones facilitaron la interpretación preliminar de las imágenes.

A continuación, se calcularon los índices espectrales más relevantes para el estudio: el NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada), que permitió identificar la presencia y densidad de vegetación saludable, y el NDWI (Índice de Agua de Diferencia Normalizada), útil para detectar cuerpos de agua o suelos saturados. Ambos índices fueron fundamentales para orientar y fortalecer el proceso de clasificación de uso del suelo.

Finalmente, todas las imágenes corregidas, así como los índices generados, fueron exportados en formato GeoTIFF y gestionados dentro de un entorno SIG (ArcGIS 10.8 y QGIS), donde se integraron con capas vectoriales complementarias para su análisis temático y la posterior detección de cambios multitemporales. Este conjunto de procedimientos permitió asegurar la integridad, precisión y consistencia de los datos, constituyendo una base sólida para el análisis espacial y temporal de la intrusión agrícola en las fajas marginales del río Tumbes.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo
CAUCES RIO TUMBES 1987 - 2017 SHAPE	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
Faja Marginal ANA Rio Tumbes	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 14 - 11 - 2014	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 15 - 14 - 2018	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 08 - 12 - 2011	16/05/2025 12:01	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 11 - 07 - 2009	16/05/2025 11:54	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 16 - 05 - 2006	16/05/2025 11:50	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 8 - 9 - SENTINEL 2 - FECHA 19 - 12 - 2024	22/05/2025 08:54	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 8 - 9 - SENTINEL 2 - FECHA 20 - 11 - 2021	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 1-5 - 27 - 03 - 1985	28/05/2025 12:42	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 1-5 - 1983	16/05/2025 08:46	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5 - 7 - FECHA 31 - 05 - 2000	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5 - FECHA 12 - 30 - 1993	16/05/2025 10:34	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5 - FECHA 16 - 04 - 1998	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5 - FECHA 26 - 01 - 1998	19/05/2025 10:50	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5 - FECHA 29 - 11 - 1999	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5, 20 - 01 - 1990	29/05/2025 08:20	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 5, FECHA 25 - 03 - 1996	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 4 - 18 - 04 - 1987	28/05/2025 12:00	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 08 - 05 - 2009	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
IMAGENES LANDSAT 7 - FECHA 16 - 05 - 2006	20/05/2025 10:56	Carpeta de archivos
IMAGENES SENTINEL 2 - FECHA 10 - 05 - 2024	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos
Limites_Distritales	2/06/2025 10:23	Carpeta de archivos

Figura 2. Imágenes satelitales

4.5. Proceso metodológico para la elaboración de mapas

El proceso metodológico para la elaboración de los mapas de delimitación de faja marginal y la detección de intrusión agrícola en el distrito de Corrales se estructuró de la siguiente manera:

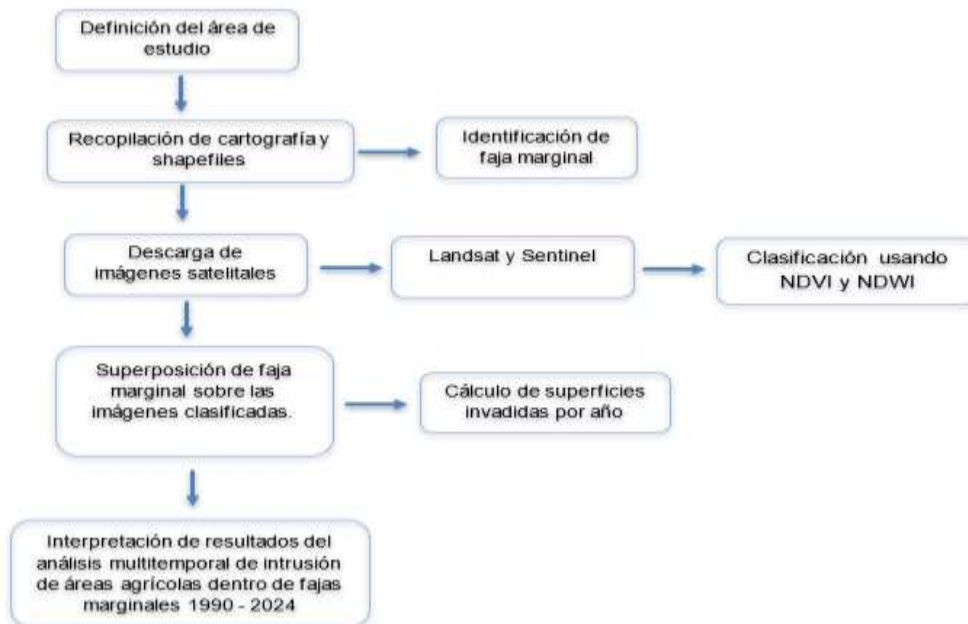


Figura 3. Esquema metodológico

4.5.1. Adecuación y Preparación de Mapas de Intrusión Agrícola

La detección de la intrusión agrícola dentro de las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales implicó un trabajo detallado de procesamiento y análisis de imágenes satelitales multitemporales. Las imágenes fueron obtenidas de plataformas como EO Browser, Land Viewer y Copernicus, priorizando aquellas con menor porcentaje de nubosidad y alineadas a las campañas agrícolas locales para optimizar la detección de cultivos mediante el uso de bandas NIR y SWIR. Cada imagen fue corregida atmosféricamente (productos L2A en el caso de Sentinel-2) y georreferenciada. Se aplicaron índices como NDVI para identificar áreas de vegetación activa y NDWI para delimitar cuerpos de agua. A partir de estos insumos se generaron mapas clasificados que diferenciaron claramente vegetación natural, cultivos, suelo desnudo y cuerpos de agua. Posteriormente, estas clasificaciones fueron cruzadas con la capa oficial de faja marginal obtenida del ANA, permitiendo aislar las áreas invadidas por actividad agrícola dentro del área de protección. Este proceso fue repetido para nueve años clave del período 1990-2024, construyendo una matriz temporal de superficies invadidas y evidenciando la persistencia y expansión de esta problemática a lo largo del tiempo.

4.6. Marco normativo sobre fajas marginales

4.6.1. Fundamento legal

La delimitación, uso y conservación de las fajas marginales en el Perú está regulada por la **Ley N°29338 – Ley de Recursos Hídricos**, promulgada el 30 de marzo de 2009. Esta norma establece, en su artículo 78, que las fajas marginales son franjas adyacentes a los cauces naturales que tienen como finalidad: “preservar el equilibrio hidráulico, prevenir riesgos, proteger la infraestructura hidráulica, conservar la calidad del agua y mantener el ecosistema acuático” (Congreso de la República del Perú, 2009, art. 78), dchas

zonas son consideradas intocables o de uso restringido, y su ocupación para fines agrícolas, ganaderos o urbanos está prohibida. La Autoridad Nacional del Agua (ANA) es el ente responsable de determinar técnica y administrativamente los límites de estas áreas, según los criterios establecidos en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N.º 001-2010-AG).

4.6.2. Delimitación de faja marginal

Para el presente estudio, la delimitación de la faja marginal se desarrolló siguiendo criterios técnico-normativos establecidos por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en concordancia con lo dispuesto en la Ley de Recursos Hídricos N.º 29338, su Reglamento y la Resolución Jefatural N.º 285-2013-ANA, que define los procedimientos técnicos para la identificación de estas franjas de protección ribereña.

El proceso se ejecutó en las siguientes etapas:

- 1. Obtención del shapefile oficial:** Se obtuvo de la ANA el archivo geoespacial vectorial correspondiente a la delimitación de la faja marginal del río Tumbes, abarcando el distrito de Corrales. Este archivo fue entregado en formato shapefile.
- 2. Verificación técnica y geoespacial:** El shapefile fue cargado y revisado en el software ArcGIS, verificándose su consistencia espacial, proyección cartográfica y correspondencia con los tramos fluviales actuales identificables en imágenes satelitales recientes.
- 3. Integración con imágenes satelitales:** La delimitación de la faja marginal fue sobrepuesta a las imágenes satelitales obtenidas permitiendo identificar la intrusión agrícola dentro de los límites legales definidos por la ANA.
- 4. Análisis y segmentación por márgenes:** Con base en la línea central del cauce principal, la faja marginal fue segmentada en margen izquierda (M.I.) y margen derecha (M.D.), a fin de realizar un análisis comparativo de ocupación agrícola en ambos lados del río.
- 5. Extracción de estadísticas espaciales:** Finalmente, el polígono de la faja marginal fue utilizado como “máscara de recorte” para extraer datos de cobertura de suelo y calcular la intrusión agrícola dentro del área protegida.

Este procedimiento se repitió para cada año de análisis, asegurando la uniformidad metodológica y la comparabilidad multitemporal.

Esta metodología asegura la validez normativa del análisis y fortalece su aplicabilidad en procesos de fiscalización, planificación territorial y gestión de riesgos hidrometeorológicos.

Fuente: Faja Marginal ANA 500-m Río Tumbes



Figura 4. Delimitación de faja marginal – color celeste

4.7. Clasificación de imágenes satelitales

La clasificación de imágenes satelitales constituye una etapa clave del análisis, ya que permite identificar, separar y cuantificar las diferentes coberturas del suelo presentes dentro y fuera de las fajas marginales del río Tumbes, en el distrito de Corrales. Para ello, se emplearon imágenes de los sensores Landsat (TM, ETM+, OLI) y Sentinel-2 MSI, seleccionadas para los años 1990, 1996, 1998, 2000, 2009, 2010, 2014, 2018, 2020, 2021 y 2024.

Las imágenes fueron previamente corregidas (radiométrica, atmosférica y geométricamente), y luego sometidas a un proceso de clasificación supervisada bajo el algoritmo de Máxima Verosimilitud (Maximum Likelihood Classification - MLC). Esta técnica permitió generar mapas temáticos con clases de cobertura agrícola, vegetación natural, cuerpos de agua, suelo desnudo u otras coberturas.

El entrenamiento del clasificador se realizó seleccionando muestras representativas mediante fotointerpretación y validación cruzada con puntos de control y datos auxiliares. Adicionalmente, se calcularon índices espectrales como el NDVI (para vegetación activa) y NDWI (para cuerpos de agua), lo que permitió mejorar la precisión de la clasificación y validar la coherencia espacial del resultado.

Cada mapa resultante fue comparado con la capa oficial de faja marginal proporcionada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), permitiendo identificar áreas agrícolas que se encuentran dentro de las zonas de protección ribereña, y calcular su extensión en hectáreas por margen del río.

A continuación, se presentan los mapas temáticos resultantes del proceso de clasificación para cada uno de los años analizados, en los cuales se puede observar la distribución espacial de las coberturas, así como la progresiva ocupación agrícola dentro de la faja marginal:

Periodo de estudio 1990 – 2024

Imágenes Landsat 4-5 -fecha de captura 20 de enero 1990

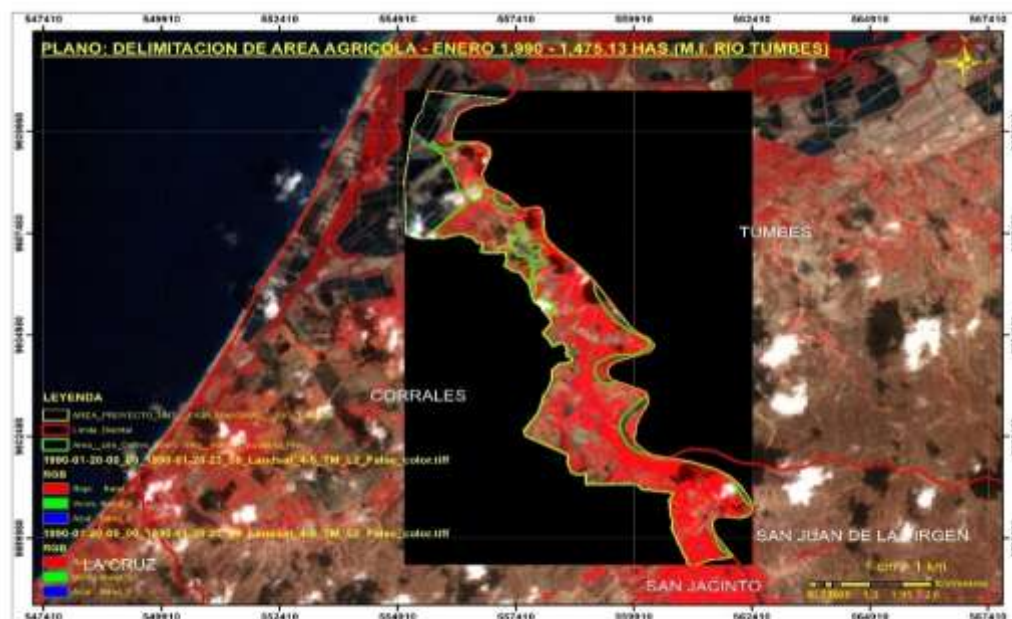


Figura 5. Área Invasada de la faja marginal periodo 1990 margen izquierda 1475.13 has

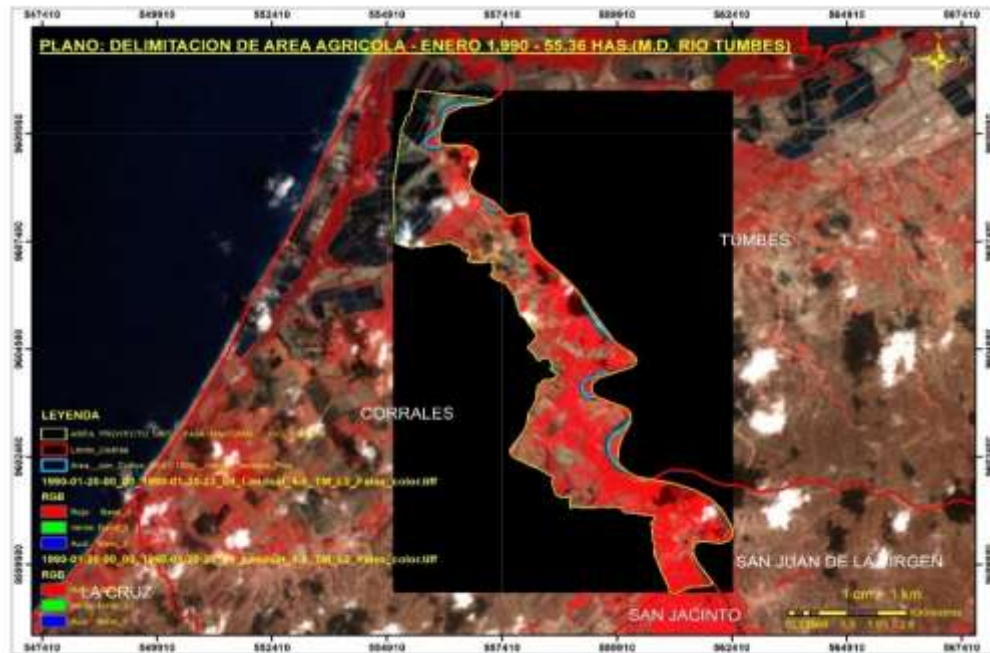


Figura 6. Área Invasada de la faja marginal periodo 1990 margen derecha 55.36 has

Imágenes Landsat 4-5 -fecha de captura 25 de marzo 1996

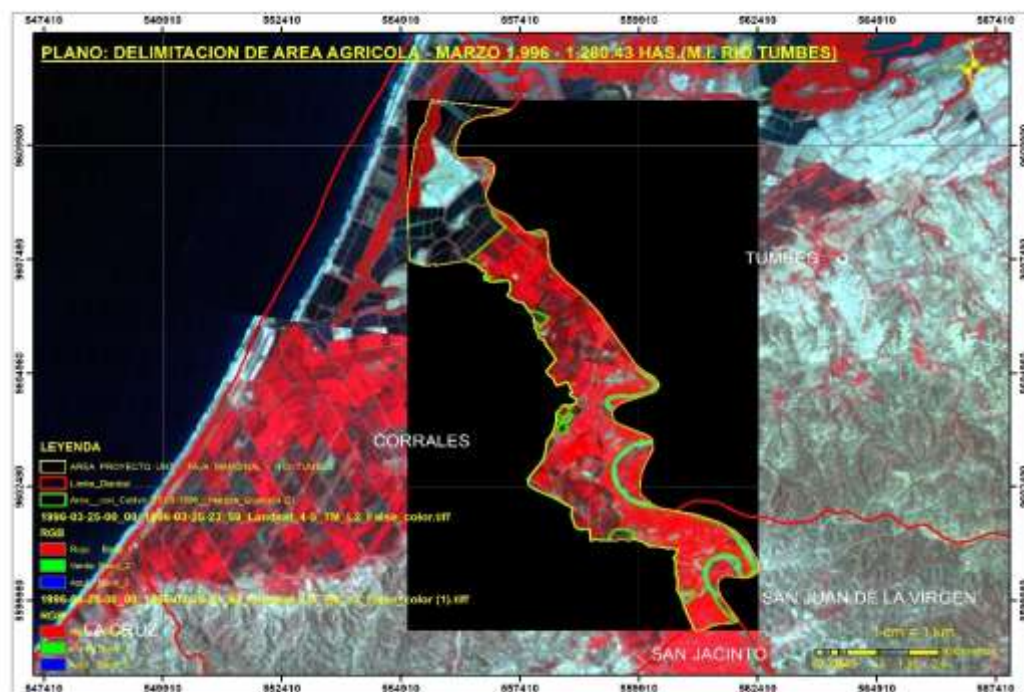


Figura 7. Área Invasada de la faja marginal periodo 1996 margen izquierda 1280.43 has

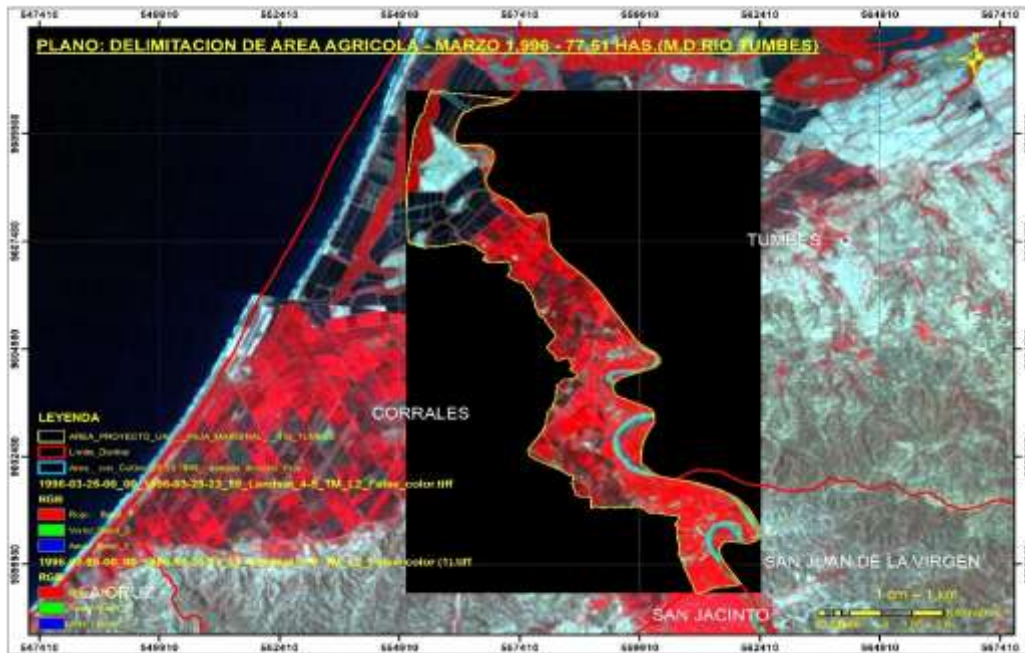


Figura 8. Área Invasada de la faja marginal periodo 1996 margen izquierda 77.51 has

Imágenes Landsat 4-5 -fecha de captura 16 de abril 1998 – Fenómeno del Niño

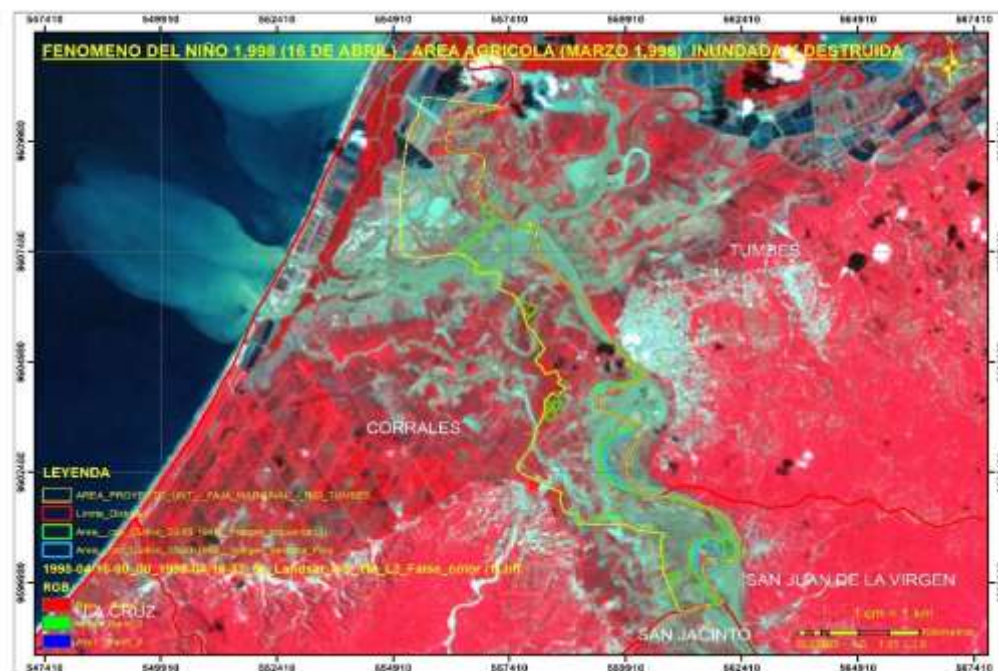


Figura 9. Área de faja marginal en ambas márgenes del río inundadas y totalmente destruidos sus cultivos, Combinación de Bandas: Color Verdadero (NIR)



Figura 10. Área de faja marginal a ambos márgenes del río inundadas y totalmente destruidos sus cultivos, Combinación de Bandas: Color Verdadero (RGB).

La Figura 10 ha sido incorporada como evidencia del impacto generado por El Niño, el cual provocó una crecida extraordinaria del caudal del río Tumbes, resultando en una inundación sobre ambas márgenes del área de estudio, previamente ocupadas por actividades agrícolas dentro de la faja marginal. Adicional a ello El Niño ocasionó una reconfiguración morfológica del cauce fluvial, generando desplazamientos laterales del río y modificando la geometría natural de sus márgenes.

Esta imagen permite interpretar como los efectos del evento climático condicionaron la futura delimitación de la faja marginal ya que, a raíz de la alteración del cauce, se produjo un reajuste espacial de las zonas de amortiguamiento, que, pese a su carácter legal de protección, fueron nuevamente invadidas en años posteriores por la expansión agrícola informal. Esta evidencia es crucial para comprender la relación entre eventos naturales extremos y la ocupación antrópica del territorio fluvial a lo largo del periodo de análisis.

Imagen Landsat 7 - fecha de captura 31 de mayo 2000

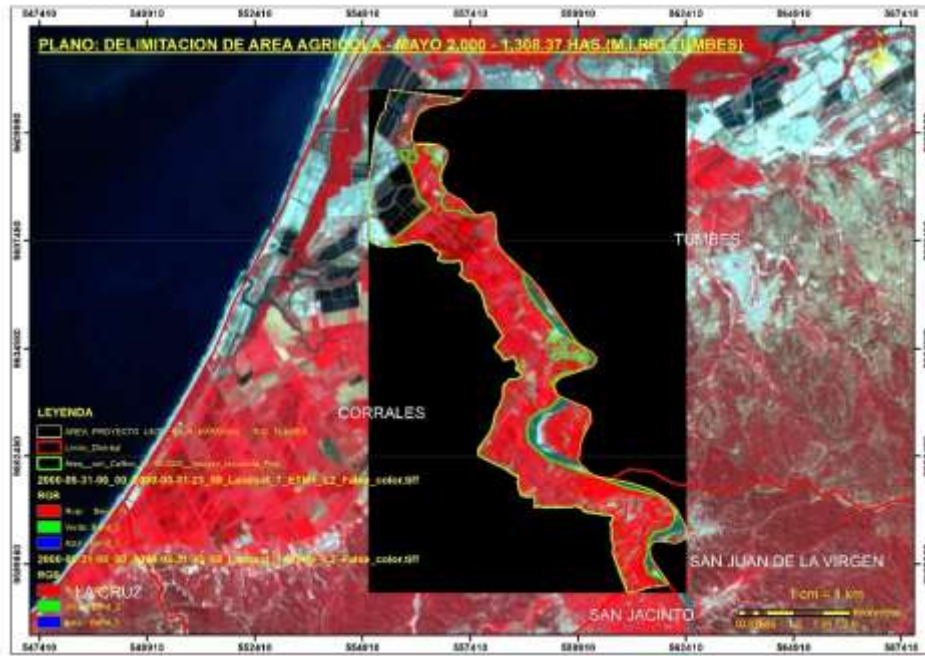


Figura 11. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Combinación de Bandas: Falso color infrarrojo cercano (NIR).

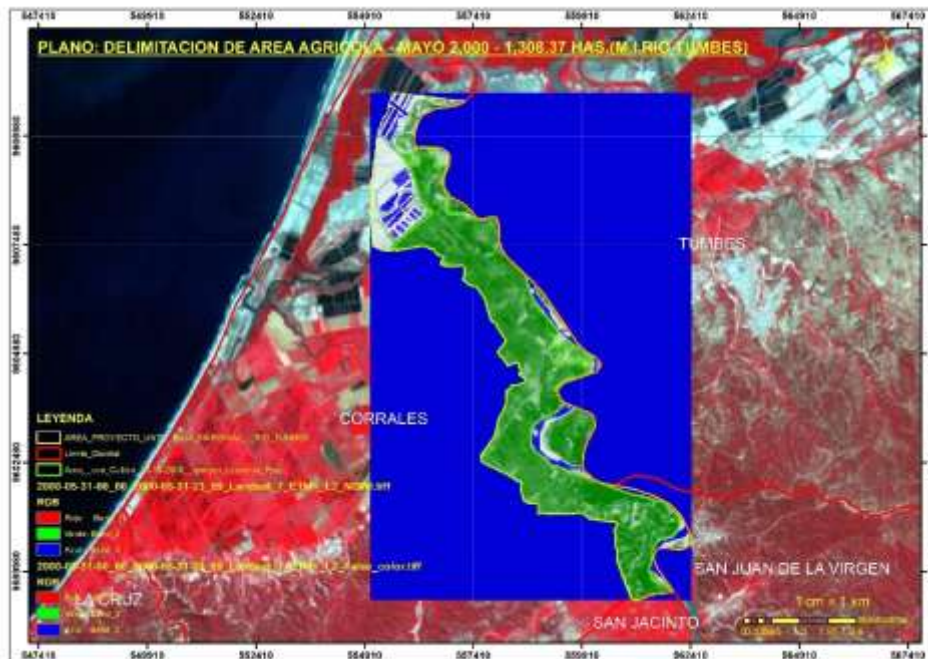


Figura 12. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Índice espectral NDWI

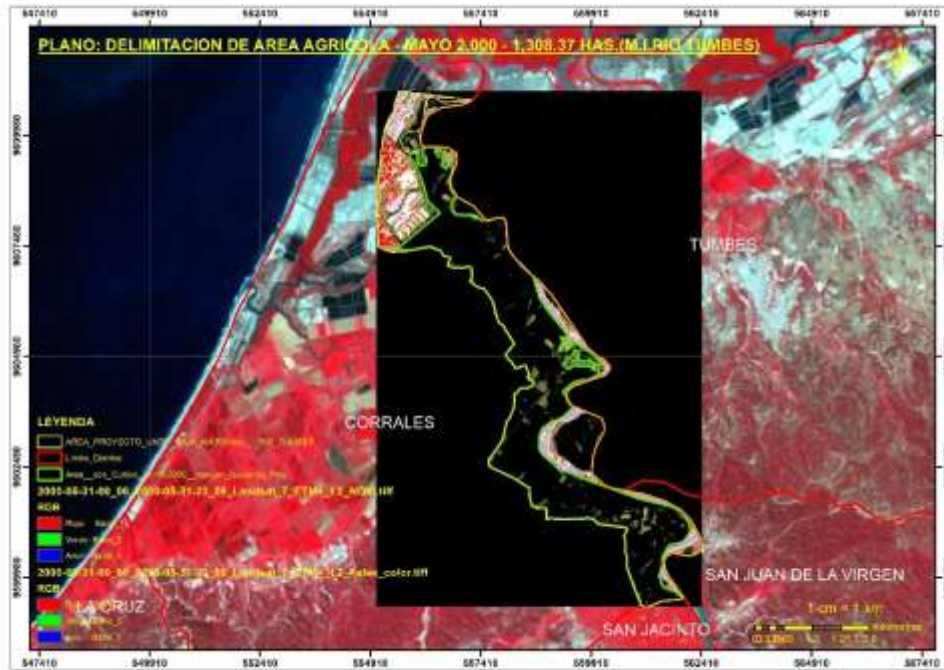


Figura 13. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen izquierda 1308.37 has. Índice espectral NDVI

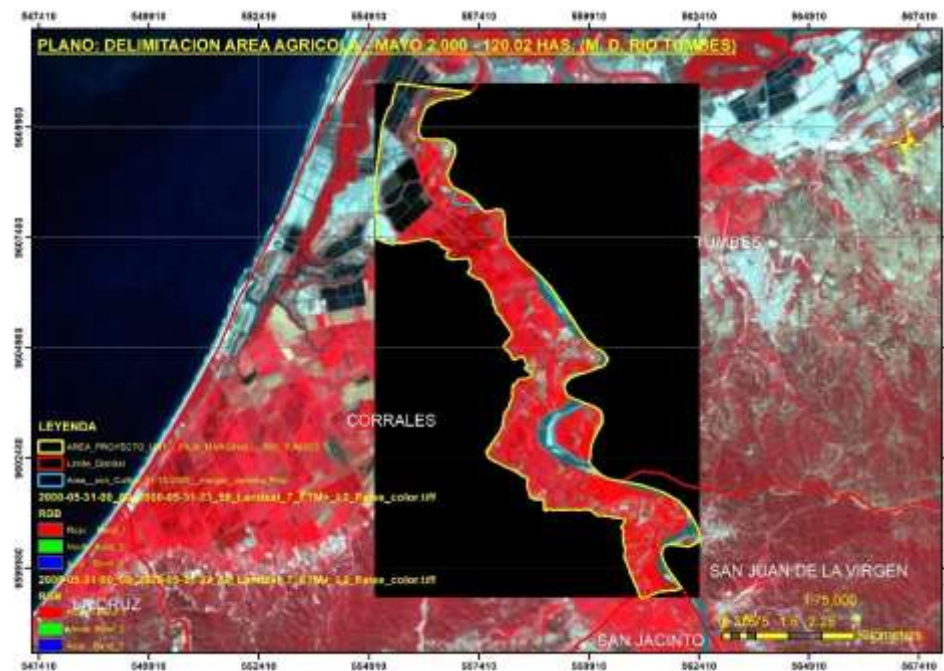


Figura 14. Área Invasada de la faja marginal periodo 2000 margen derecha 120.02. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR).

Imagen Landsat 7– fecha de captura: 08 de mayo del 2009

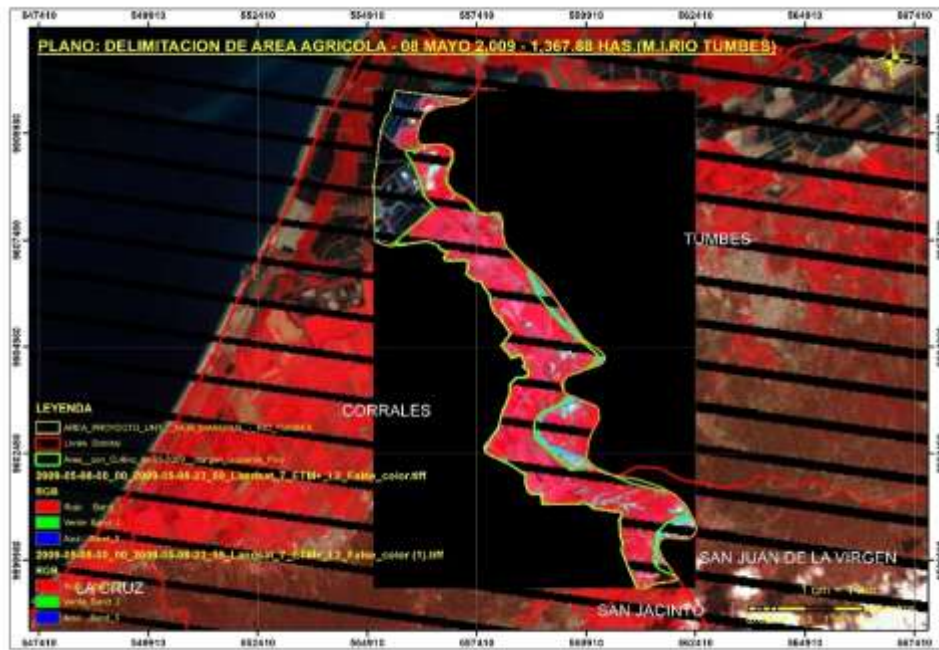


Figura 15. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

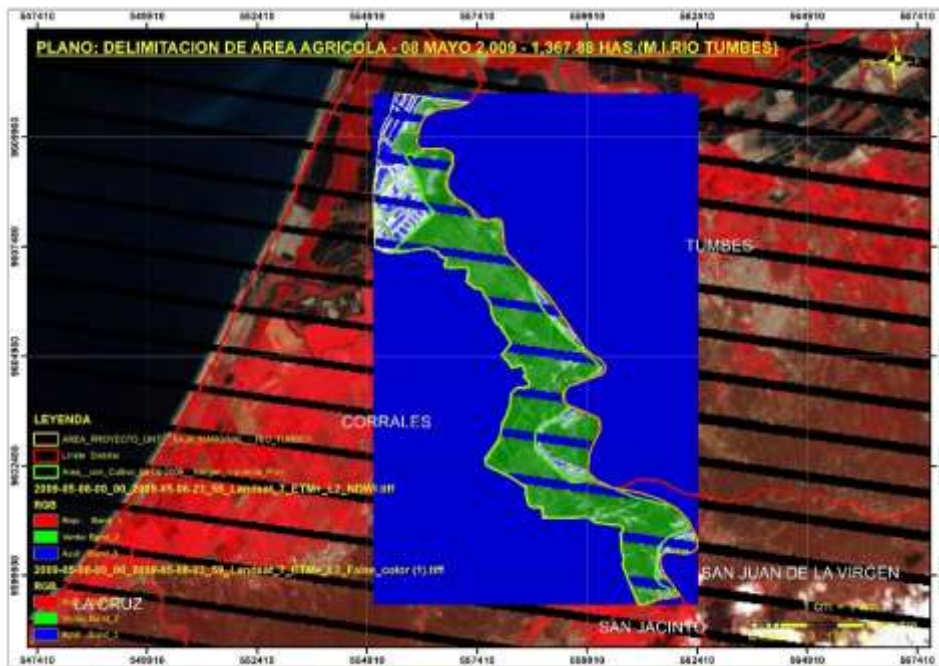


Figura 16. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Índice espectral NDWI

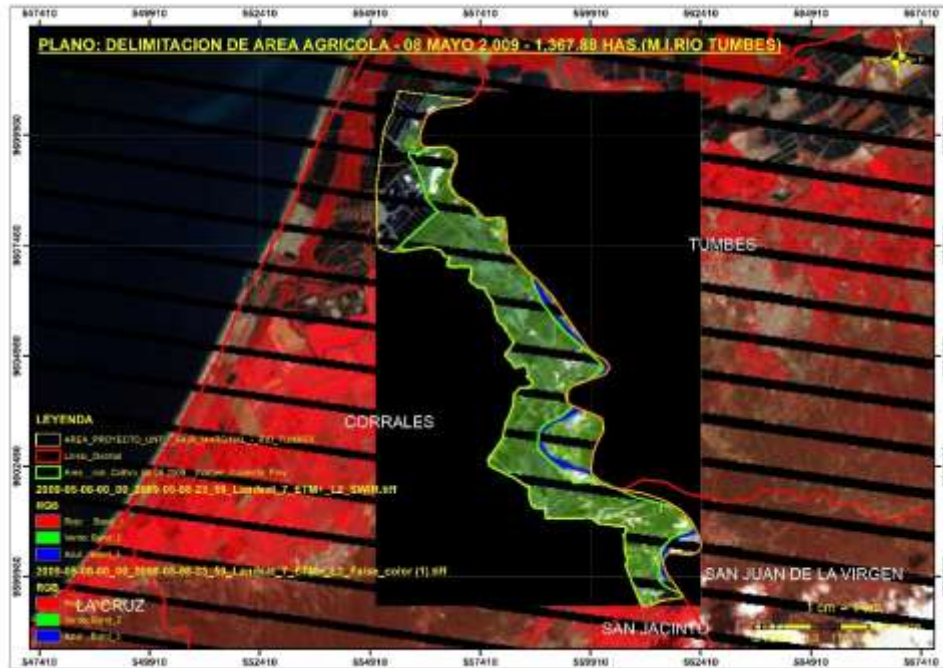


Figura 17. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen izquierda 1367.88 has. Índice espectral NDVI

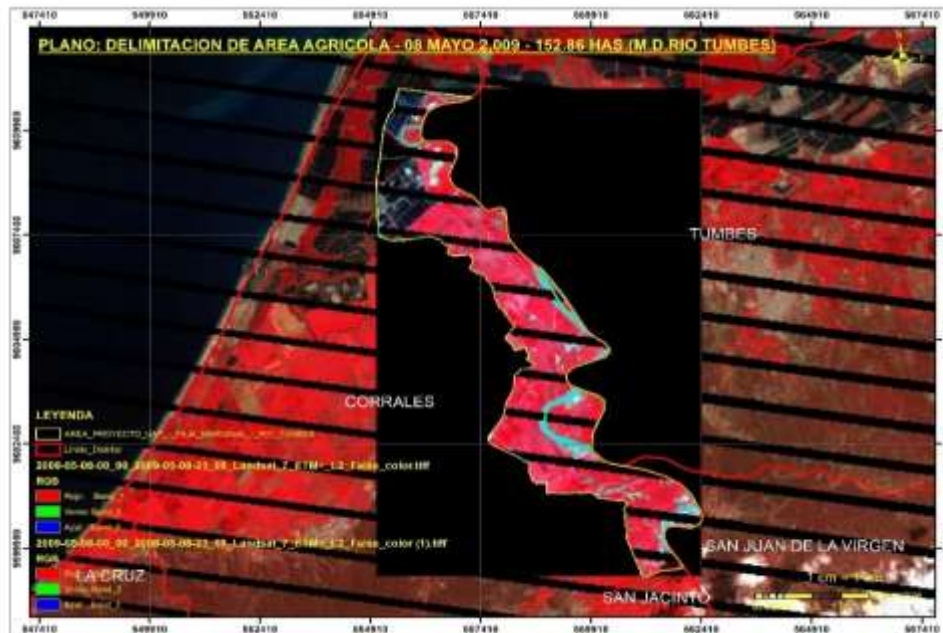


Figura 18. Área Invasada de la faja marginal periodo 2009 margen derecha 152.86 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

Imagen Landsat 7– fecha de captura: 11 de mayo del 2010

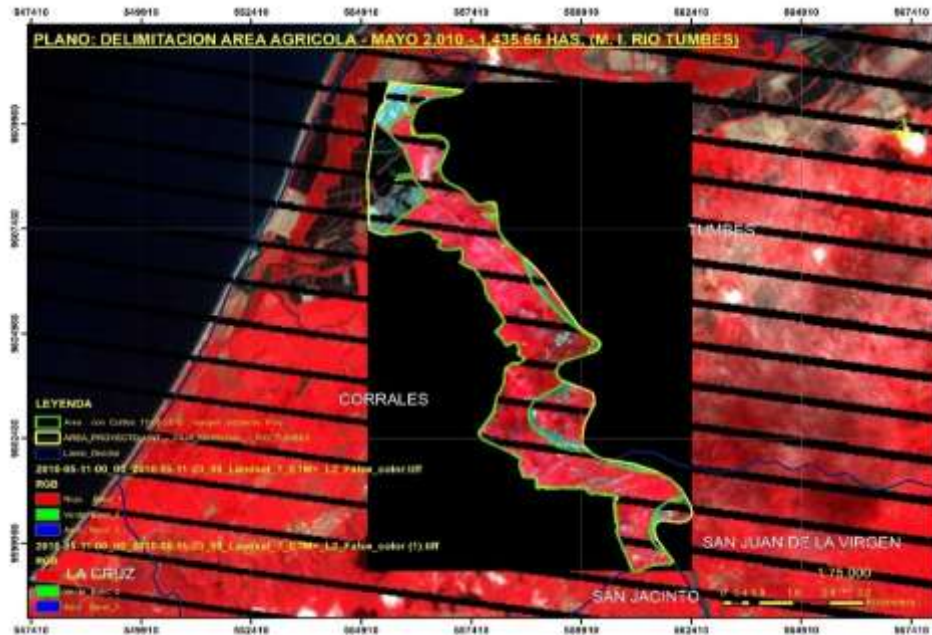


Figura 19. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

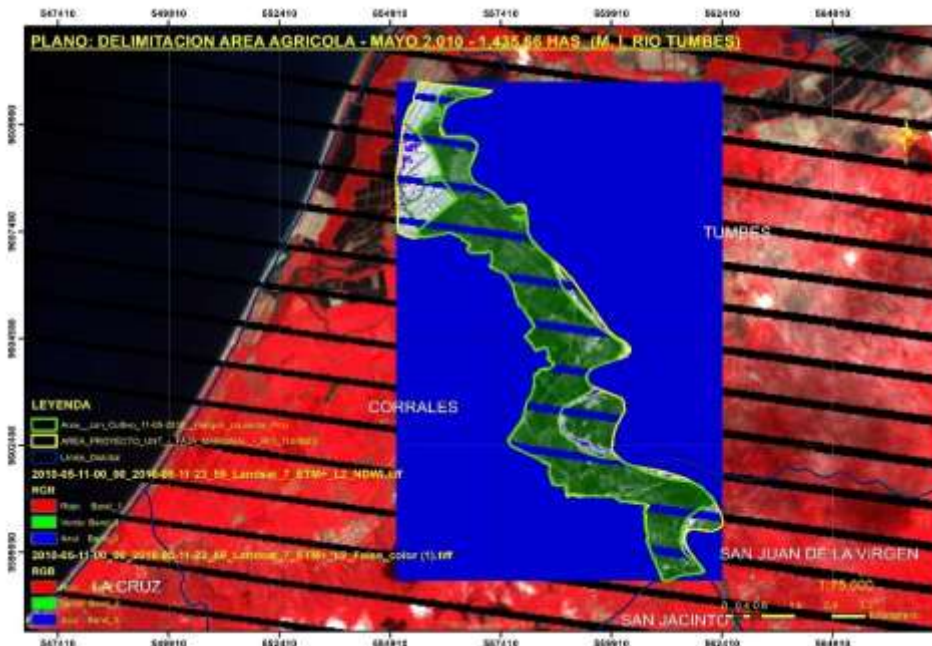


Figura 20. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Índice espectral NDWI

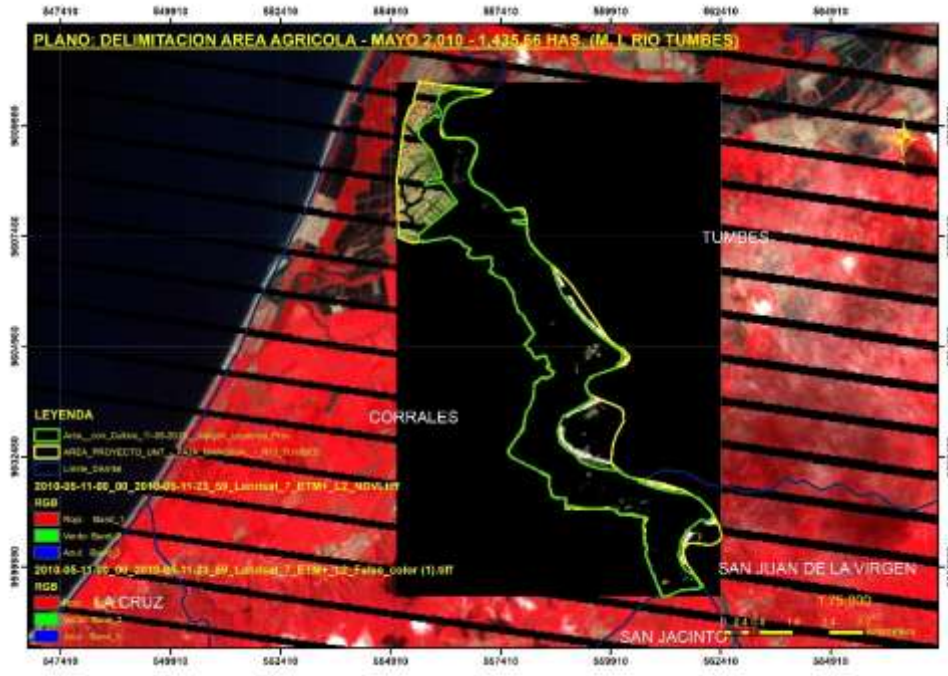


Figura 21. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen izquierda 1435.66 has. Índice espectral NDVI

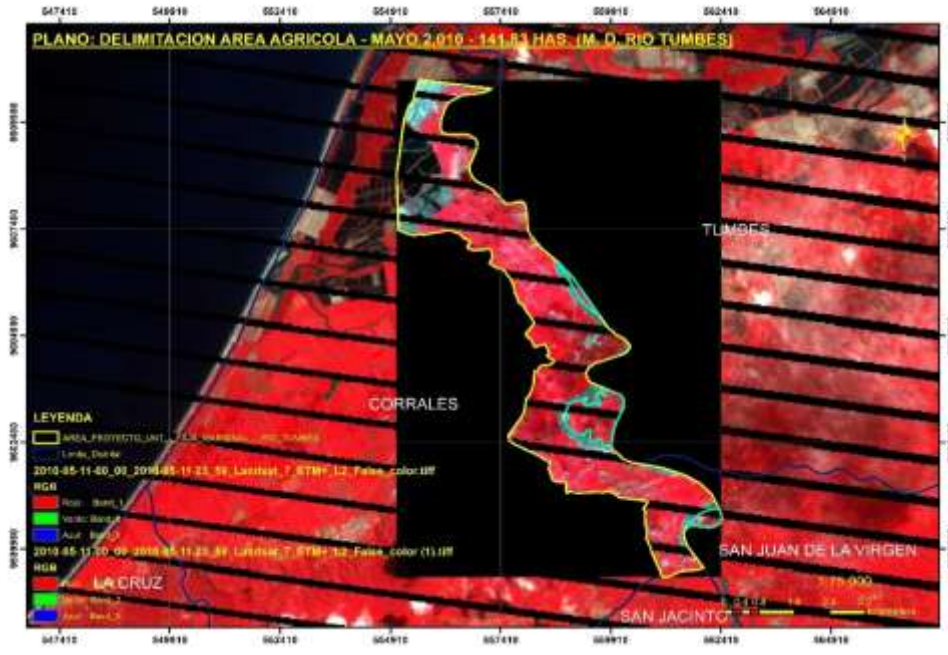


Figura 22. Área Invasada de la faja marginal periodo 2010 margen derecha 141.83 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

Imagen Landsat 7– fecha de captura 14 de noviembre del 2014

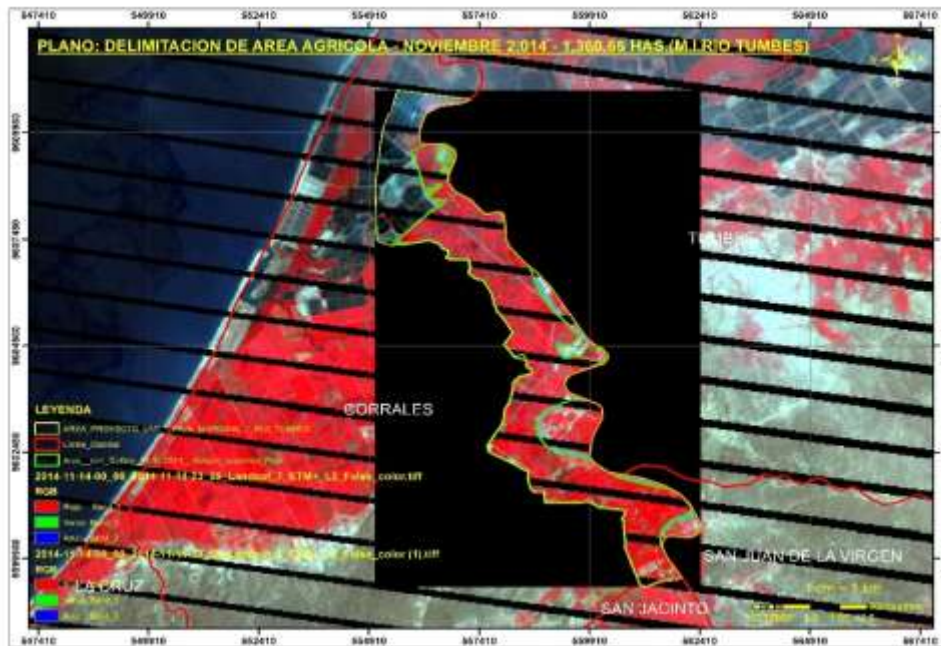


Figura 23. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen izquierda 1360.65 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

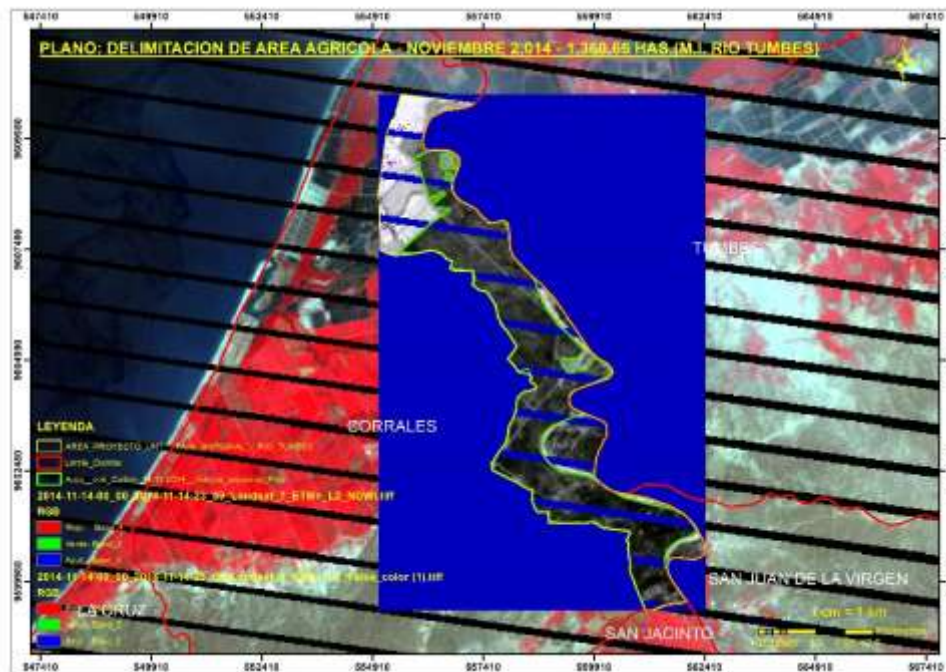


Figura 24. Área Invasada de la faja marginal periodo 2014 margen izquierda 1360.65 has. Índice espectral NDWI

Imagen Landsat 7– fecha de captura 15 de abril del 2018

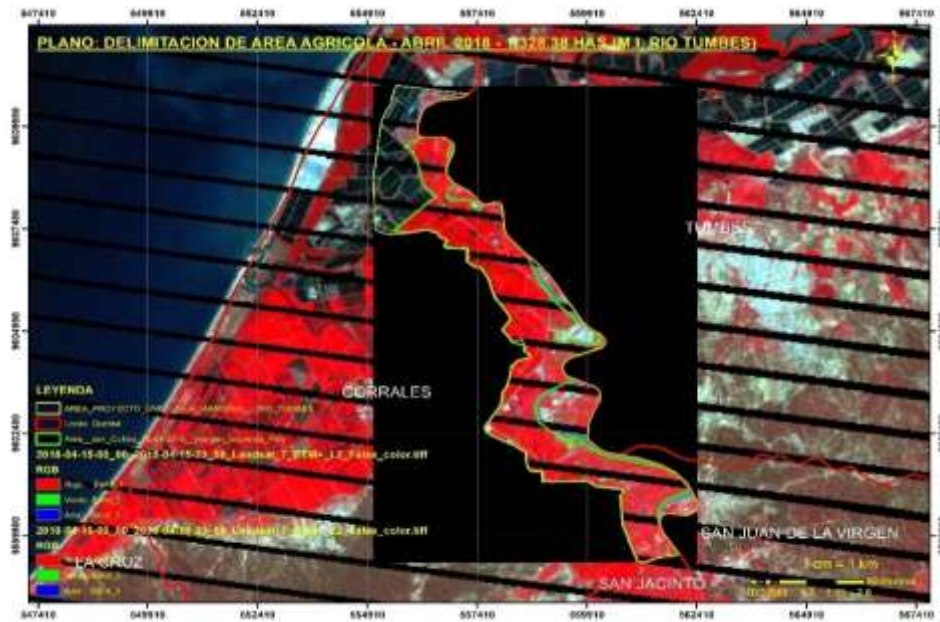


Figura 27. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

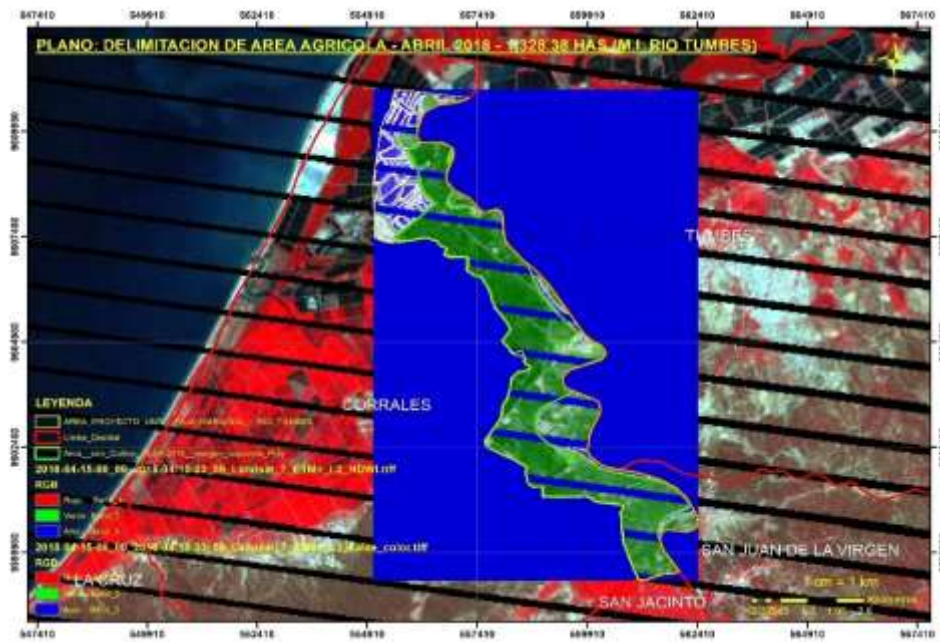


Figura 28. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Índice espectral NDWI

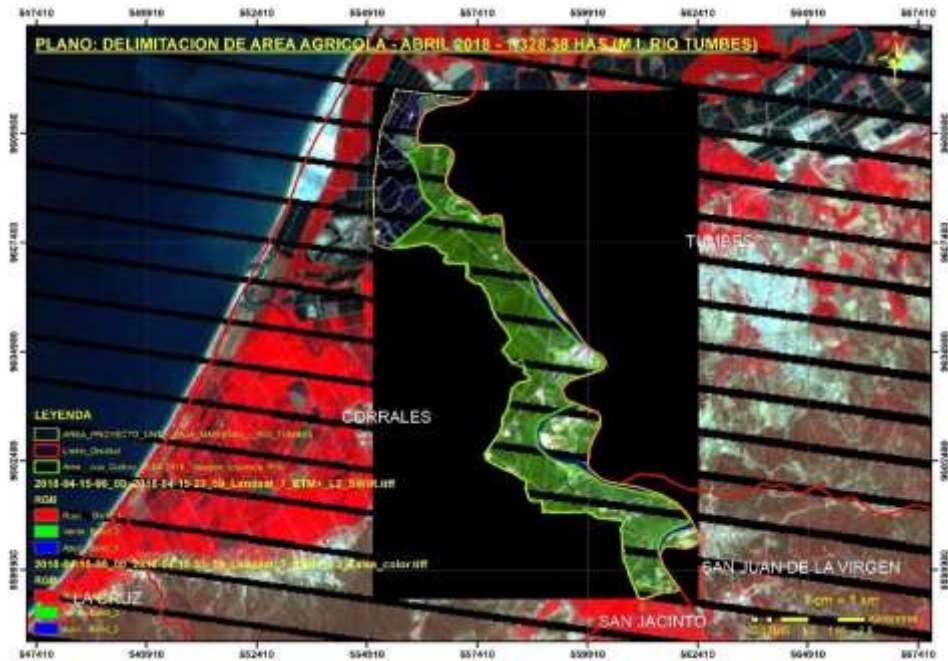


Figura 29. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen izquierda 1328.38 has. Índice espectral NDVI

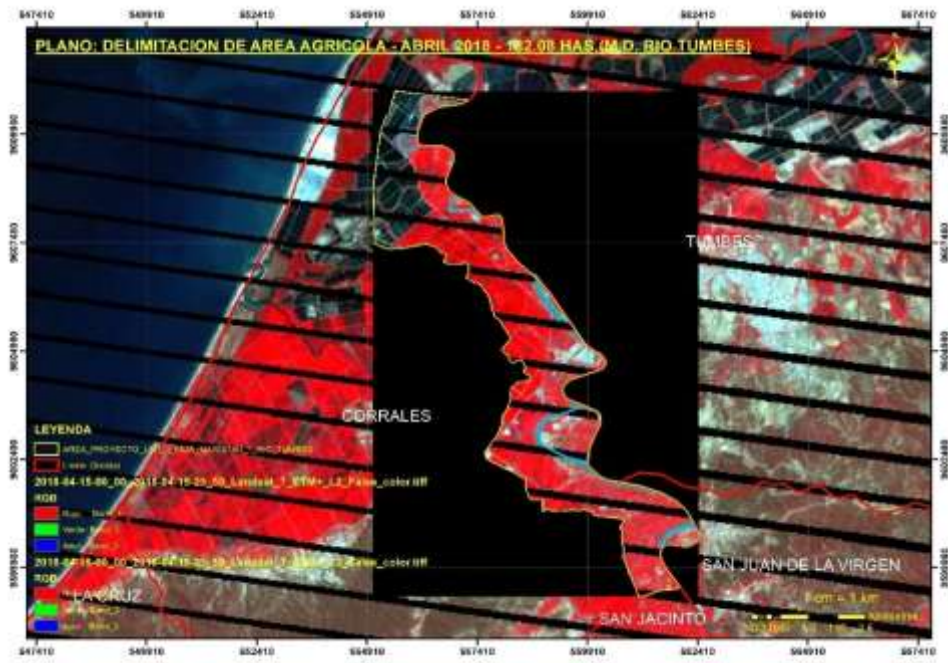


Figura 30. Área Invasada de la faja marginal periodo 2018 margen derecha 182.08 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

Imagen Sentinel 2 – fecha de captura: 11 de octubre del 2020

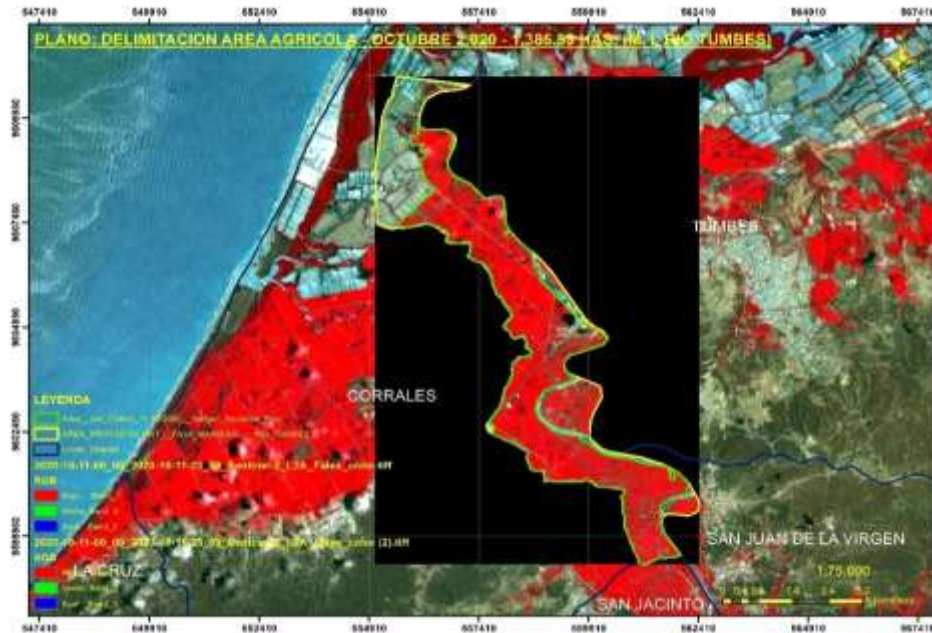


Figura 31. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

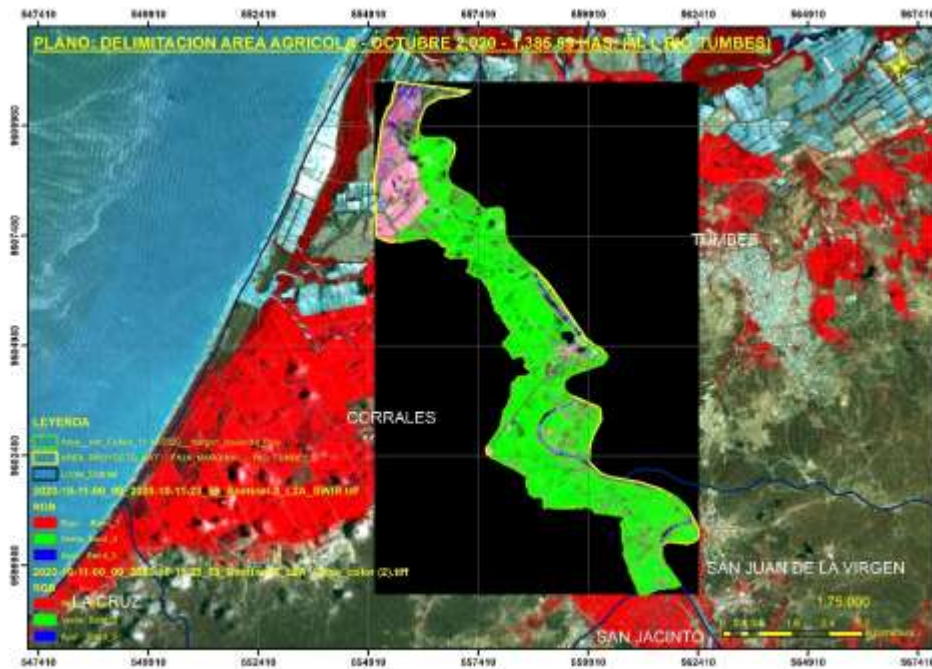


Figura 32. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Combinación de bandas: SWIR Analisis de vegetación

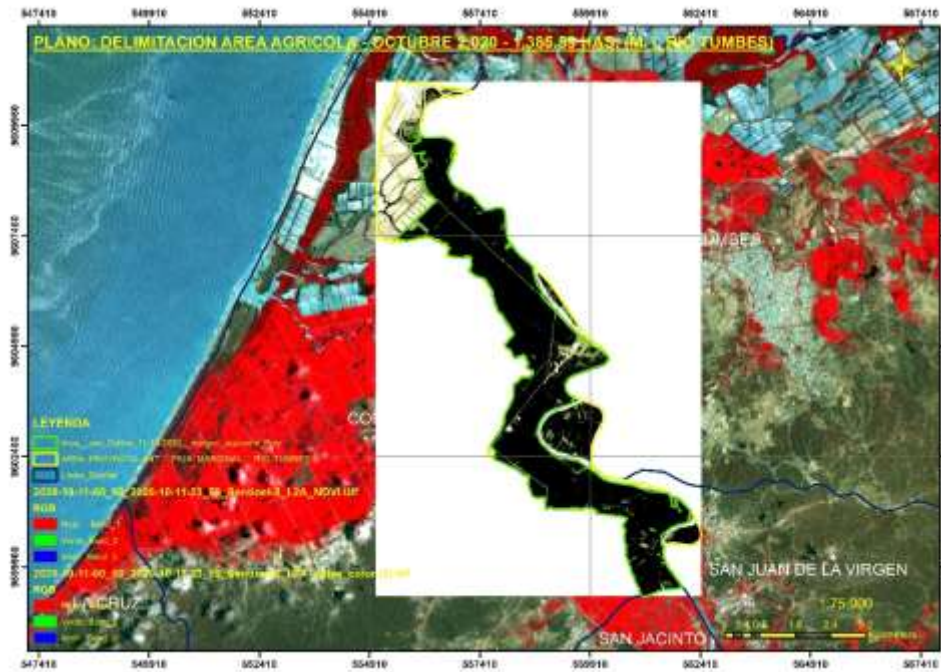


Figura 33. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Índice espectral NDVI

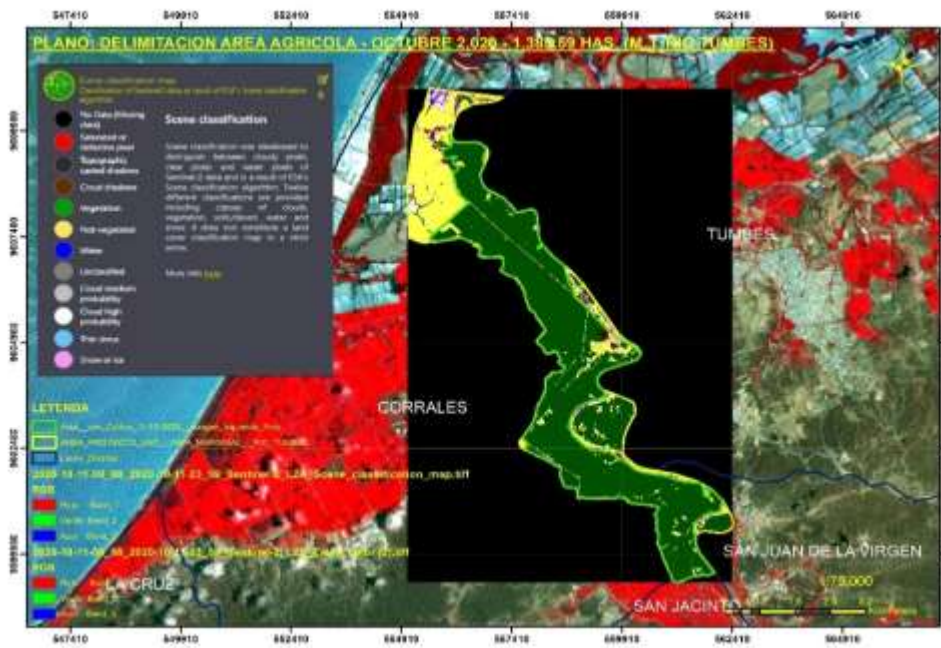


Figura 34. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen izquierda 1385.59 has. Mapa de procesamiento de Clasificación terrestre del suelo terrestre

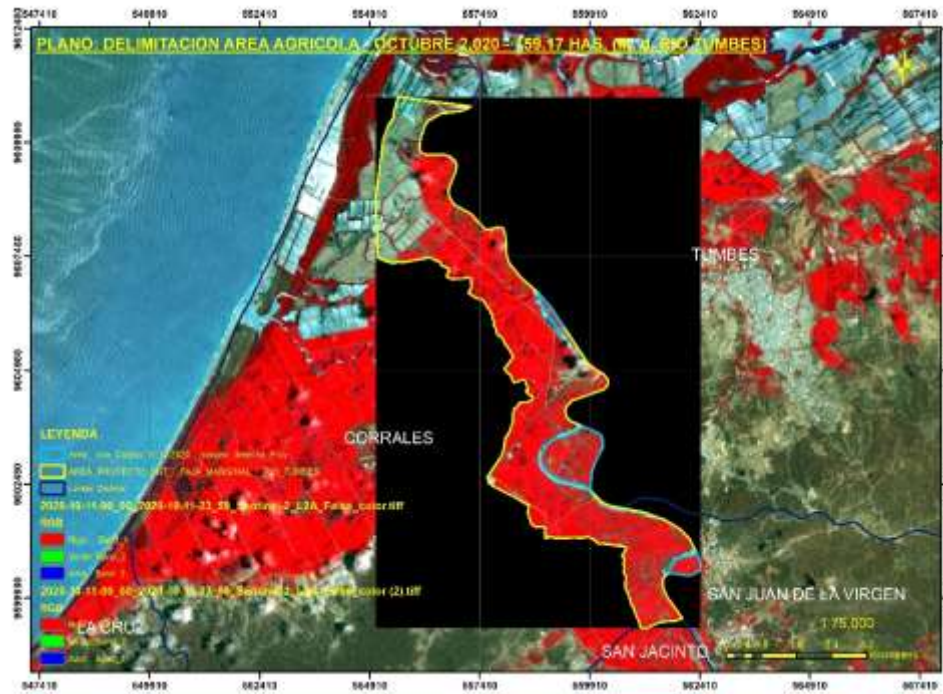


Figura 35. Área Invasada de la faja marginal periodo 2020 margen derecha 159.17 has. Combinación de bandas falso color infrarrojo cercano (NIR)

Imagen Sentinel 2 – fecha de captura: 20 de noviembre del 2021

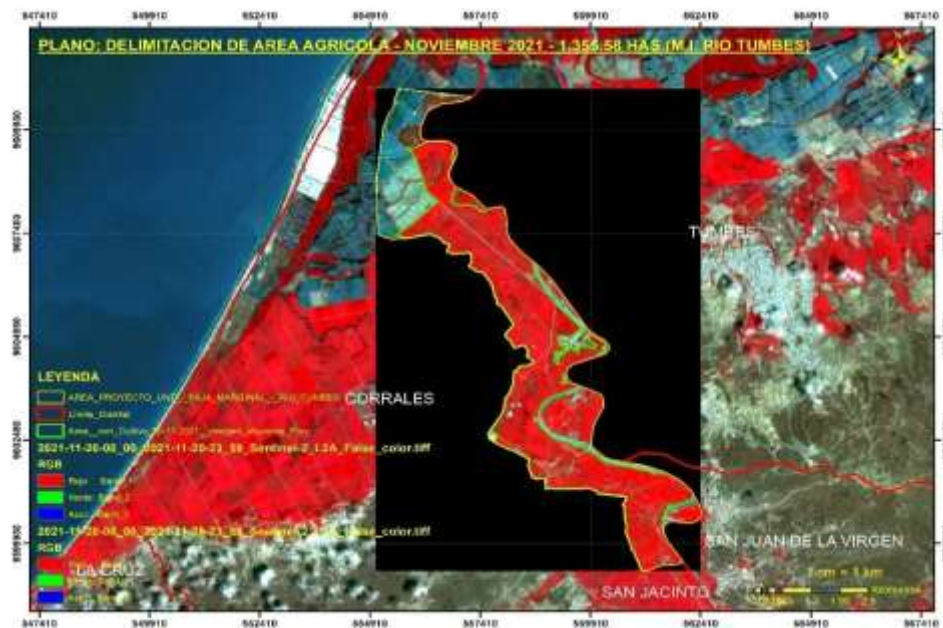


Figura 36. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

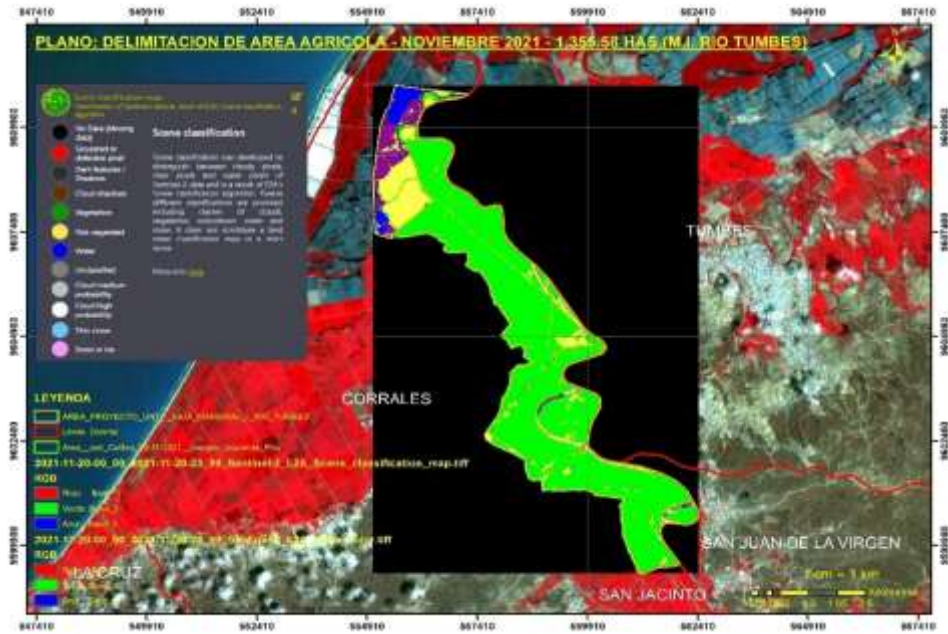


Figura 39. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen izquierda 1355.58 has. Mapa de procesamiento de clasificadores de escenas del suelo terrestre

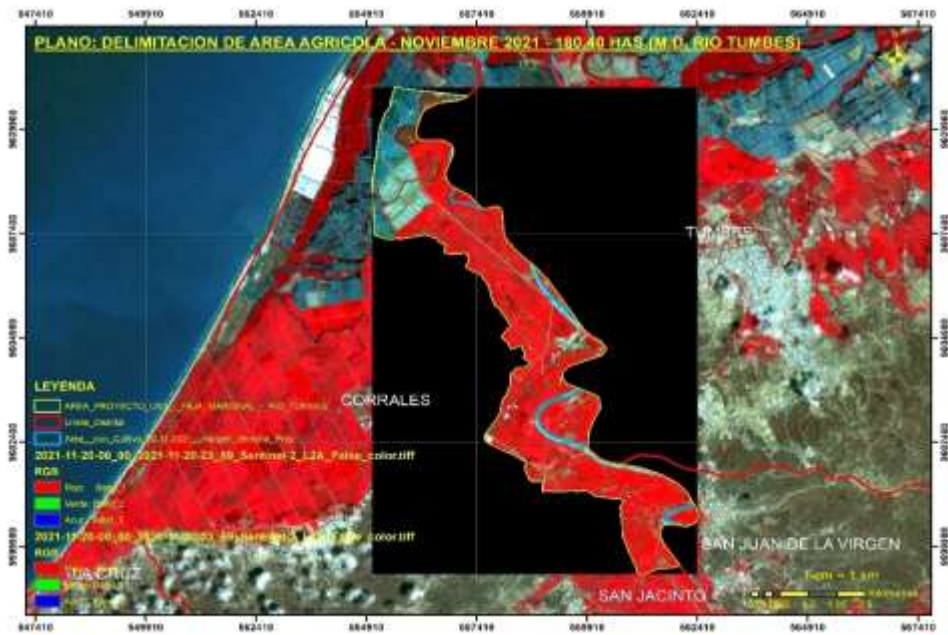


Figura 40. Área Invasada de la faja marginal periodo 2021 margen derecha 180.40 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

Imagen Sentinel 2 – fecha de captura: 05 de octubre del 2024

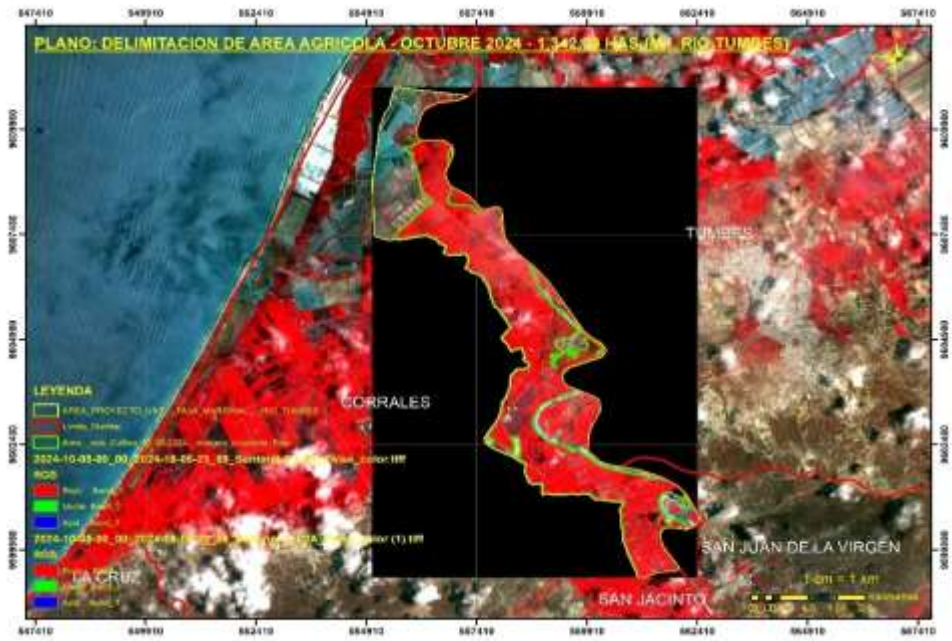


Figura 41. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

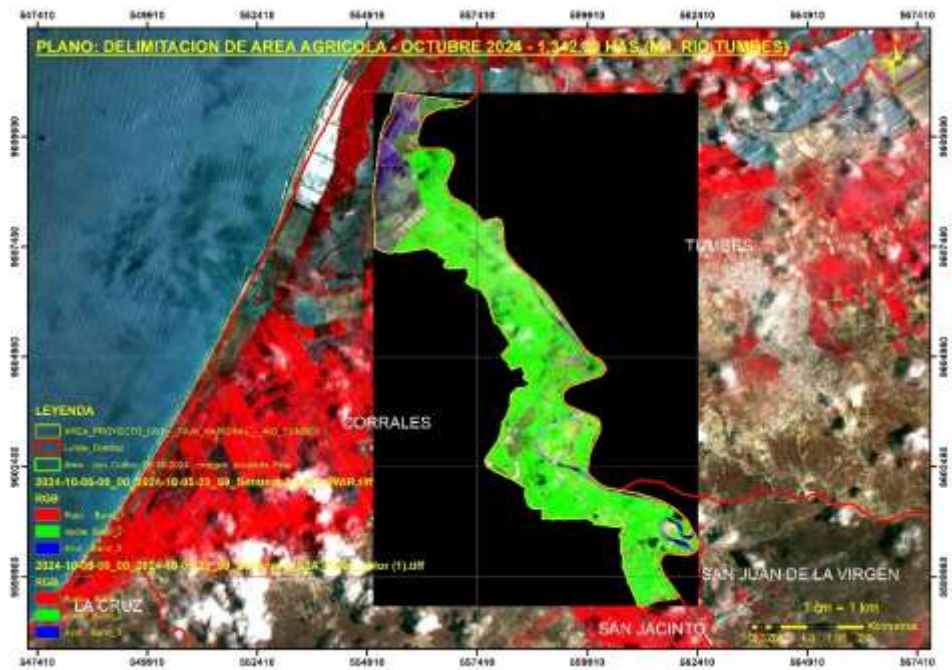


Figura 42. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Combinación de bandas: SWIR: Análisis de vegetación

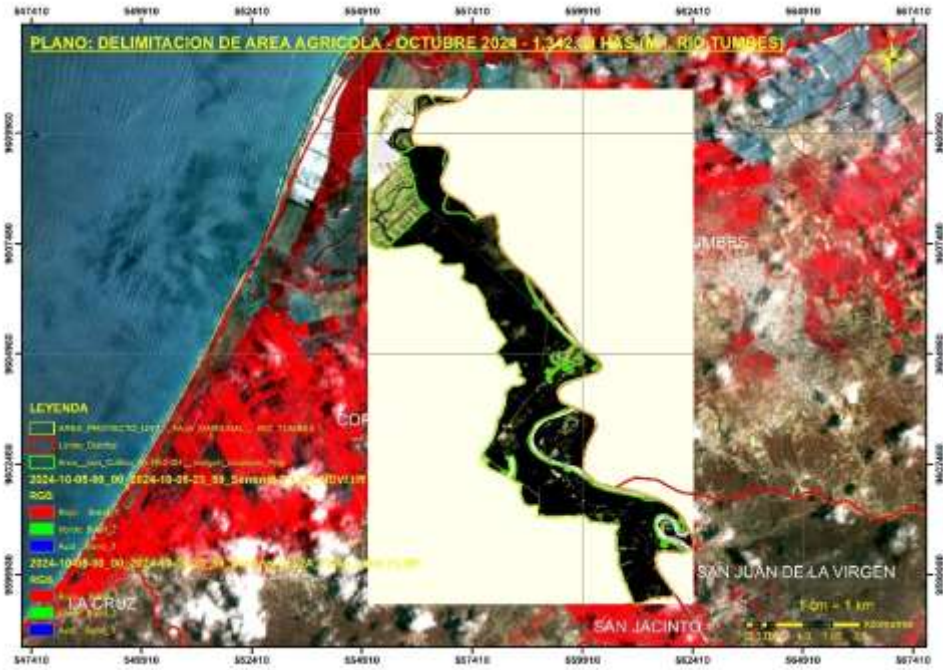


Figura 43. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Índice espectral NDVI

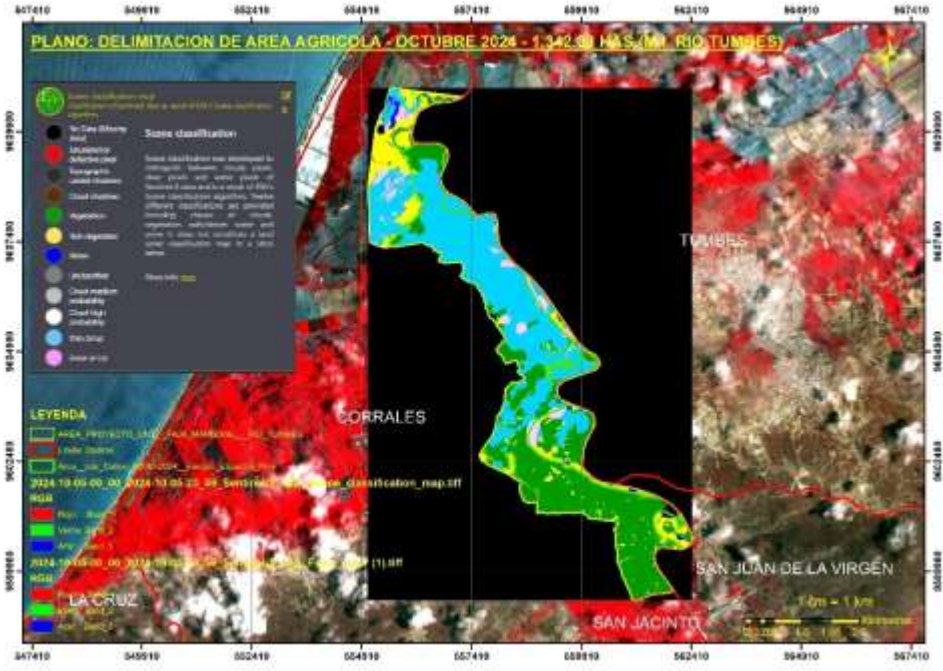


Figura 44. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen izquierda 1342.39 has. Mapa de procesamiento de clasificación de suelo terrestre

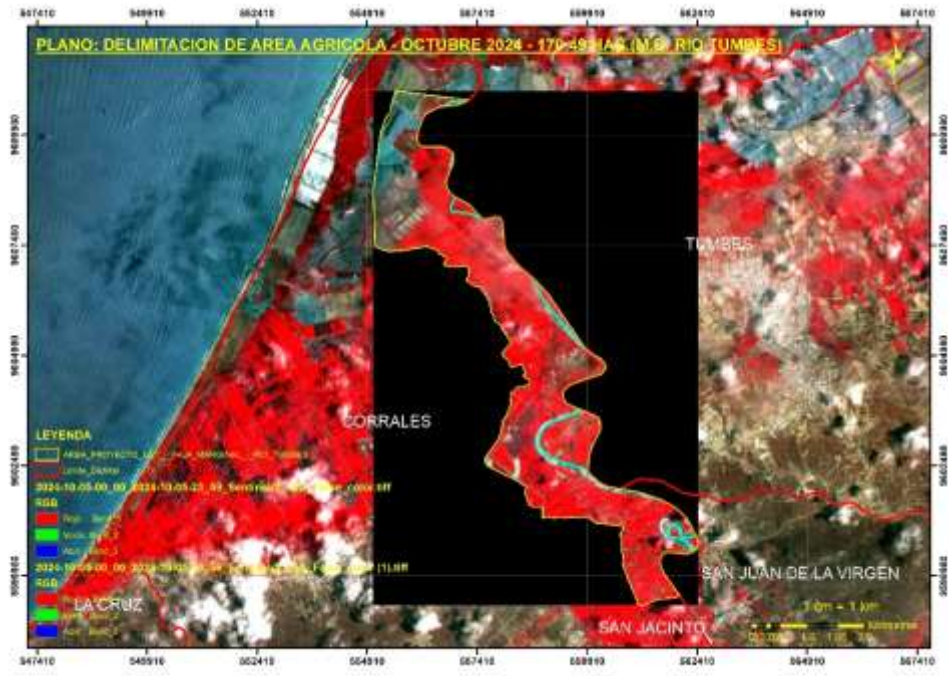


Figura 45. Área Invasada de la faja marginal periodo 2024 margen derecha 170.49 has. Combinación de bandas: falso color infrarrojo cercano (NIR)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Resultados

5.1.1. Delimitación de faja marginal

La delimitación se realizó utilizando el shapefile oficial proporcionado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), el cual fue verificado, georreferenciado y superpuesto sobre las imágenes satelitales. Se identificó que la faja marginal presenta un trazado irregular con anchos variables, influenciados por las dinámicas fluviales, la pendiente y la ocupación antrópica. La delimitación permitió establecer las zonas de protección que legalmente deben mantenerse libres de ocupación agrícola, representando una franja continua a ambos lados del cauce, clasificada como margen izquierda (M.I.) y margen derecha (M.D.). Este insumo geoespacial fue clave para los análisis posteriores.

5.1.2. Determinación de áreas agrícolas dentro de la faja marginal

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del análisis multitemporal de la intrusión agrícola dentro de las fajas marginales del río Tumbes, en el distrito de Corrales, para los años 1990, 2000, 2010, 2020 y 2024. Este análisis se realizó a partir de imágenes satelitales procesadas y clasificadas mediante técnicas SIG y teledetección, lo que permitió cuantificar con precisión la extensión de las áreas agrícolas que han ocupado ilegalmente las zonas de protección ribereña en ambos márgenes del río. La información se organiza en periodos con el fin de facilitar la comparación temporal y visualizar la evolución de esta problemática ambiental a lo largo de más de tres décadas. Los datos obtenidos permiten identificar patrones de ocupación, así como evaluar el impacto de fenómenos climáticos extremos, políticas de uso del suelo y dinámicas socioeconómicas locales en la configuración actual del paisaje agrícola dentro de las fajas marginales.

Año	Margen izquierda (ha)	Margen derecha (ha)
1990	1475.13	55.36
2000	1308.37	120.02
Variación	-166.76	64.66

Tabla 3. Periodo 1990 – 2000

Análisis: En esta década se observa una disminución en la intrusión agrícola en la margen izquierda, como consecuencia del Fenómeno El Niño de 1998, que afectó severamente las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales, ocasionando su destrucción. Sin embargo, en la margen derecha se evidenció un incremento, lo que sugiere un proceso de recuperación o expansión informal posterior al evento climático.

Año	Margen izquierda (ha)	Margen derecha (ha)
2000	1308.37	120.02
2010	1435.66	141.83
Variación	127.29	21.81

Tabla 4. Periodo 2000 – 2010

Análisis: Durante esta década, la ocupación agrícola retoma su expansión, sobre todo en la margen izquierda. Se asocia este incremento a un contexto de estabilidad climática y la falta de control territorial, lo cual facilitó el avance progresivo de cultivos sobre zonas protegidas.

Año	Margen izquierda (ha)	Margen derecha (ha)
2010	1435.66	141.83
2020	1385.59	159.17
Variación	-50.07	17.34

Tabla 5. Periodo 2010 – 2020

Análisis: En este periodo se detecta una ligera reducción en la margen izquierda y un aumento moderado en la derecha. Este comportamiento se debe a variaciones locales en las condiciones productivas, cambio de cultivos, procesos de sedimentación y ajustes post-inundación que hicieron que ciertos predios sean abandonados temporalmente.

Año	Margen izquierda (ha)	Margen derecha (ha)
2020	1385.59	159.17
2024	1342.39	170.49
Variación	-43.2	11.32

Tabla 6. Periodo 2020 – 2024

Análisis: Se mantiene la tendencia decreciente de intrusión en la margen izquierda, por restricciones climáticas o pérdida de productividad de suelos invadidos. En la margen derecha, el aumento continuo refleja la persistente presión de uso del suelo agrícola, lo que evidencia una asimetría en el control del territorio ribereño.

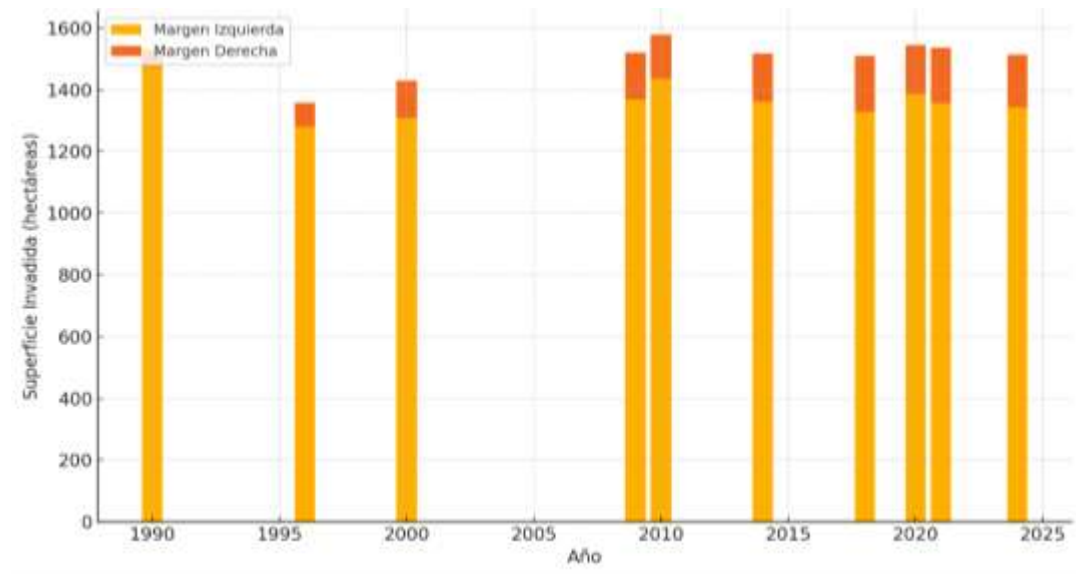


Figura 46. Gráfico de intrusión de áreas agrícolas

5.1.3. Evolución de la intrusión de áreas agrícolas

Año	Margen izquierda (ha)	Margen derecha (ha)
1990	1475.13	55.36
2024	1342.39	170.49
Variación	-132.74	115.13

Tabla 7. Periodo de estudio completo

A lo largo de 34 años se observa una reducción neta de intrusión agrícola en la margen izquierda, atribuida principalmente a eventos climáticos extremos como El Niño, la erosión y posibles procesos de abandono o reconversión del suelo. En contraste, la margen derecha muestra una tendencia sostenida de incremento, lo que alerta sobre la necesidad de una intervención urgente para evitar la pérdida total de la función ecológica de esta franja.

En conjunto, si bien hay señales de estancamiento o leve retroceso en algunas zonas, el fenómeno de intrusión persiste y pone en riesgo la funcionalidad ecológica e hidráulica del sistema fluvial del río Tumbes. Es crucial reforzar la fiscalización, implementar barreras normativas efectivas y considerar planes de restauración ecológica y reubicación agrícola fuera de las zonas intangibles.

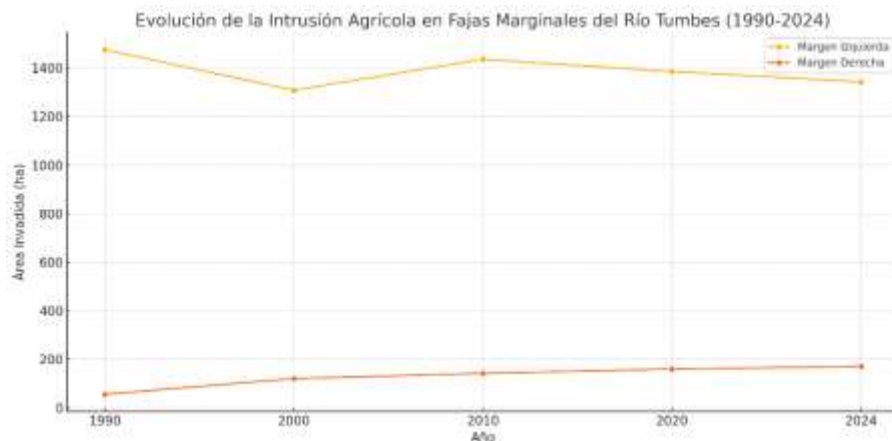


Figura 47. Gráfico comparativo de la evolución

5.2. Discusión

Los resultados obtenidos del análisis multitemporal 1990–2024 muestran una realidad compleja y preocupante respecto a la intrusión agrícola en las fajas marginales del río Tumbes, particularmente en el distrito de Corrales. A pesar de que el marco legal vigente, encabezado por la Ley N.º 29338 y la Resolución Jefatural N.º 285-2013-ANA, establece la intangibilidad de estas zonas, la evidencia satelital demuestra que las áreas legalmente protegidas han sido progresivamente ocupadas, especialmente en la margen derecha del río, lo que confirma la hipótesis general de que la intrusión ha aumentado significativamente entre 1990 y 2024.

Respecto a la primera hipótesis específica —“la determinación de fajas marginales del río Tumbes muestra áreas significativas de invasión”— los datos del estudio la validan plenamente. La superposición de las capas oficiales de faja marginal con las imágenes satelitales clasificadas permitió identificar con claridad sectores

ocupados por agricultura que se encuentran dentro del área de protección. Este hallazgo es especialmente evidente en tramos de la margen derecha, donde el crecimiento ha sido sostenido a lo largo del periodo analizado.

En cuanto a la segunda hipótesis específica —“la intrusión de áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes ha sido mayor en las últimas décadas”—, se observa un comportamiento desigual entre márgenes, pero coherente con la afirmación. Si bien la margen izquierda mostró una reducción neta de 132.74 ha (producto de impactos climáticos y procesos de abandono), la margen derecha incrementó su ocupación en 115.13 ha, mostrando una clara expansión en las décadas recientes, especialmente después del año 2000.

Por último, la tercera hipótesis específica —“la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales ha mostrado un incremento constante”— se matiza a partir de los resultados. Si bien hay una tendencia general de expansión, los datos muestran fluctuaciones y retrocesos temporales, como en el año 1998 (producto del Fenómeno El Niño) o en el periodo 2010–2024 en la margen izquierda. Por tanto, el incremento no ha sido constante ni homogéneo, aunque el saldo acumulado demuestra un avance neto en áreas invadidas, validando la hipótesis en términos generales, pero señalando que la variación ha sido discontinua debido a factores climáticos, socioeconómicos y de presión sobre el territorio.

En síntesis, el estudio respalda las hipótesis planteadas en el marco lógico de la investigación, y además, aporta elementos para reflexionar sobre la necesidad de diferenciar estrategias de intervención para cada margen del río, considerando la dinámica específica de ocupación, los factores de riesgo y la efectividad limitada del marco normativo actual.

V. CONCLUSIONES

1. El análisis multitemporal mediante imágenes satelitales Landsat y Sentinel, procesadas en entornos SIG, ha permitido identificar una expansión sostenida y progresiva de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, en el distrito de Corrales. Entre 1990 y 2024, se ha observado una ocupación significativa que supera las 1,300 hectáreas por margen, reflejando una tendencia persistente de uso indebido del territorio ribereño.
2. Se realizó la delimitación de la faja marginal conforme a criterios técnicos y normativos, empleando como base la cartografía vectorial oficial emitida por la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y verificándola mediante imágenes satelitales de alta resolución. Esta acción resultó fundamental para localizar con exactitud las zonas afectadas por intrusión y analizar el grado de cumplimiento de la normativa vigente.
3. Se cuantificó la superficie ocupada por actividades agrícolas en cada año de análisis, revelando una ocupación significativa y creciente en varios sectores, especialmente en la margen derecha. En total, se identificó un incremento neto de 115.13 ha en la margen derecha, mientras que la margen izquierda registró una reducción neta de 132.74 ha. Esta información refleja que la ocupación agrícola persiste, aunque con comportamientos diferenciados entre márgenes.
4. La evolución ha sido discontinua y marcada por influencias externas como el Fenómeno El Niño (1998), procesos de degradación de suelos, abandono temporal de tierras y reocupación informal. La variación no constante demuestra que el fenómeno de intrusión responde a una combinación de factores climáticos, económicos y de gobernanza. Sin embargo, la tendencia general de largo plazo confirma que las áreas agrícolas continúan avanzando sobre espacios de protección, lo cual representa un riesgo ambiental y social en aumento.

VI. RECOMENDACIONES

1. Es fundamental que la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en articulación con los gobiernos locales, fortalezca los mecanismos de fiscalización y monitoreo permanente de las fajas marginales a través del uso de imágenes satelitales e indicadores geoespaciales como parte de un sistema de control actualizado, que permita detectar y responder oportunamente ante nuevas ocupaciones.
2. A nivel normativo, es indispensable desarrollar talleres con agricultores locales sobre las implicancias correspondientes a las ocupaciones ilegales, según lo establecido en la Ley N.º 29338 – Ley de Recursos Hídricos.
3. En cuanto al uso de tecnologías, se sugiere que los gobiernos locales institucionalicen el uso de herramientas SIG y teledetección para la vigilancia del uso del suelo y planificación territorial. Esto requiere crear repositorios digitales de información geoespacial, y fomentar la cultura del dato para la toma de decisiones.
4. Se recomienda ejecutar campañas de educación ambiental y sensibilización comunitaria, dirigidas a agricultores, autoridades comunales y escolares, que expliquen la importancia ecológica de las fajas marginales, sus beneficios en la prevención de desastres y su rol en la conservación del ecosistema ribereño.
5. Los agricultores que operan cerca del cauce deben ser capacitados en tecnologías de cultivo resiliente al clima, riego tecnificado y rotación de cultivos, promoviendo su reubicación voluntaria fuera de las fajas marginales, con asistencia técnica y acceso a créditos verdes.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Alvarado Huapaya, J., Huapaya León, R., & Nina Calla, J. (2020). *Variación del área agrícola en el distrito La Yarada Los Palos, Tacna, Perú*. Revista de Investigaciones Altoandinas, 22(3), 257–265.
- Barrios Amaya, J. E., & Ochoa Cáceres, M. L. (2021). *Análisis multitemporal de cambios del uso del suelo y cobertura en la cuenca media del río Bogotá desde 2013 a 2020*. Revista Ciencia Geográfica, 25(2), 105–118.
- Cabrera, C. (2011). *El uso del NDVI para la estimación de la biomasa*. Revista Forestal Latinoamericana, 2(1), 44–51.
- Cabrera Dioses, M. (2022). *Análisis del comportamiento forestal del ecosistema manglar en Tumbes entre 1986 y 2021*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional de Tumbes.
- Gonzales Pinedo, J., Salazar, A., & Díaz, M. (2019). *Análisis multitemporal en la cuenca del río Jequetepeque*. Revista de Teledetección, 23(1), 64–78.
- Gobierno del Perú. (2009). *Ley de Recursos Hídricos N.º 29338*. Diario Oficial El Peruano.
- Mendoza Lévano, R., Ríos Paredes, M., & Villanueva Rojas, F. (2018). *Evaluación de la evolución de zonas agrícolas en el valle del Mantaro mediante sensores remotos*. Revista Agroindustrial Science, 8(2), 33–41.
- MONGABAY. (2018). *El avance de la palma aceitera en la Amazonía peruana: impactos y desafíos*. [Artículo en línea].
- Requena, J. L. (2015). *Análisis multitemporal del cambio de uso del suelo en el cantón Zapotillo, provincia de Loja*. Tesis de maestría. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Romero, A. (s.f.). *Causas de la deforestación en Colombia: Agricultura y conflictos sociales*. Recuperado de <https://www.banrepcultural.org/>
- SENAMHI. (2004). *Estudio hidrológico de la cuenca del río Tumbes*. Lima, Perú.
- SUNARP. (2013). *Catastro y propiedad predial en el Perú*. Superintendencia Nacional de los Registros Públicos.

SUNAT. (2010). *Normas tributarias para la formalización de actividades agrícolas*. Lima, Perú.

Valqui, G., & Núñez, J. (2016). *Estudio del uso del suelo en la cuenca del río Mayo, San Martín*. *Revista Forestal Peruana*, 42(3), 149–158.

WWF. (2024). *El impacto de la agricultura en los ecosistemas frágiles*. Fondo Mundial para la Naturaleza. <https://www.wwf.org/>

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2024). *Informe técnico sobre el estado actual de las fajas marginales del Perú*. Lima: ANA

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Evidencia de intrusión en la faja marginal



Anexo 2. Impacto de la intrusión agrícola dentro de la faja marginal



Anexo 3. Vista aérea de expansión agrícola a la faja marginal



Anexo 4. Reconocimiento de la zona de estudio



Anexo 5. Matriz de consistencia

Titulo	Planteamiento del problema	Objetivo General y Especificos	Hipótesis General y Especificas	Variables e indicadores	Diseño de Investigación	Métodos y técnicas de investigación	Población y muestra del estudio
<p>“Análisis multitemporal de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes, distrito de Corrales 1990-2024”</p>	<p>¿Cuál es la evolución de la intrusión de áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbesen el distrito de corrales durante el período 1990-2024?</p>	<p>1. Objetivo General</p>	<p>1. Hipotesis General</p>	<p>1. Variables</p>	<p>Tipo de diseño: No experimenta Descriptivo Transaccional</p>	<p>1. Metodos</p>	<p>Población: Áreas agrícolas del río Tumbes</p> <p>Muestra del Estudio: Áreas agrícolas del distrito de corrales</p>
		<p>Determinar la intrusión de las áreas agrícolas en las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales durante el período 1990-2024, utilizando análisis multitemporal con herramientas geoespaciales.</p>	<p>La intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales ha aumentado significativamente entre 1990 y 2024.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>- El tiempo (1990 - 2024)</p>		<p>-Método Computacional: -Método Observacional -Método Histórico:</p>	
		<p>2.Objetivos Especificos</p>	<p>2.Hipotesis Epecificas</p>	<p>Indicadores:</p> <p>- Años de análisis</p>		<p>2. Técnicas</p>	
		<p>Delimitar las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales</p>	<p>La determinación de fajas marginales del río Tumbes muestra áreas significativas de invasión</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>- Intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales de río Tumbes..</p>		<p>- Recoleccion de datos iniciales - Preprocesamiento de Imágenes - Análisis de Imágenes - Validación de Datos - Cuantificación y Análisis de Resultados - Elaboración de Informes - Propuesta de Medidas Preventivas y de Mitigación</p>	
		<p>Determinar la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes a lo largo del período en estudio.</p>	<p>La intrusión de áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río tumbes ha sido mayor en las últimas décadas.</p>	<p>Indicadores:</p> <p>- Área agrícola intrusa - Porcentaje de intrusión - Distancia de la intrusión - Cambio de uso de suelo</p>			
<p>Determinar cual es la evolución de la intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes distrito de corrales durante el periodo en estudio</p>	<p>La intrusión de las áreas agrícolas dentro de las fajas marginales del río Tumbes en el distrito de Corrales ha mostrado un incremento constante.</p>						