



INDECI
DEFENSA CIVIL, tarea de todos



Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes

Periodo: febrero y marzo del 2025

Finalidad: Disponer de información confiable que contribuya a la toma de decisiones para la gestión reactiva del riesgo de desastres.

Dirección de Preparación

Subdirección de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres

Centro de Estudios, Procesamiento de Información e Investigación para la Gestión Reactiva

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	MARCO NORMATIVO	2
3.	FINALIDAD	5
4.	OBJETIVOS	5
4.1.	Objetivo General	5
4.2.	Objetivos Específicos	5
5.	ÁREA DE ESTUDIO.....	6
5.1.	Cuenca Puyango - Tumbes.....	9
6.	ANTECEDENTES	11
6.1.	Incidencia nacional de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el periodo 2003 – 2024	11
6.2.	Reporte de daños a nivel nacional por lluvias intensas y peligros asociados en el periodo 2003-2024.....	15
6.3.	Incidencia de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados registrados en el departamento de Tumbes en el periodo 2003-2024	19
6.4.	Reporte de daños por lluvias intensas y peligros asociados registrados en el departamento de Tumbes en los meses de febrero y marzo del año 2025	25
6.5.	Comportamiento hidrológico del río tumbes en el primer trimestre del año 2025	
	28	
6.6.	Precipitación acumulada en los meses de febrero y marzo en el departamento de tumbes.....	32
6.7.	Eventos del fenómeno El Niño en el departamento de Tumbes	37
7.	MARCO TEÓRICO.....	38
7.1.	Herramienta para el análisis geoespacial: Google Earth Engine	38
7.2.	Métodos de detección de áreas inundadas	41
7.3.	Métodos de validación de entrenamiento	44
8.	METODOLOGÍA	45
8.1.	Selección de imágenes satelitales.....	47
8.2.	Imágenes multiespectrales.....	48
8.2.1.	Generación de mosaico distrital	48
8.2.2.	Cálculo de índices y combinación de bandas.....	50
8.2.3.	Recolección de datos de entrenamiento.....	58
8.2.4.	Clasificación supervisada con Random Forest.....	61
8.2.5.	Generación de máscara de inundación	65
8.2.6.	Filtrado de píxeles	66
8.2.7.	Exportación de resultados en formato vectorial	66
8.3.	Imágenes radar	66
8.3.1.	Selección de polarización VV o VH	66
8.3.2.	Aplicación de filtro Speckle.....	68

8.3.3. Aplicación de umbral de retrodispersión.....	70
8.3.4. Generación de máscara de agua permanente y suelo urbano	70
8.3.5. Filtro topográfico	72
8.3.6. Ajuste de parámetros	72
8.3.7. Filtrado de pixeles	72
8.3.8. Exportación de resultados en formato vectorial	73
8.4. Limitaciones en el registro y georeferenciación de emergencias del SINPAD para los meses de febrero y marzo.....	73
9. RESULTADOS	75
9.1. Provincia Zarumilla.....	75
9.1.1. Distrito Aguas Verdes.....	75
9.1.2. Distrito Papayal	80
9.1.3. Distrito Matapalo	83
9.1.4. Distrito Zarumilla	86
9.2. Provincia Tumbes	89
9.2.1. Distrito Corrales	89
9.2.2. Distrito La Cruz	93
9.2.3. Distrito Pampas de Hospital	95
9.2.4. Distrito San Jacinto	99
9.2.5. Distrito San Juan de la Virgen	103
9.2.6. Distrito Tumbes	107
9.3. Provincia Contralmirante Villar	111
9.3.1. Distrito Casitas	111
9.3.2. Distrito Canoas de Punta Sal	114
9.3.3. Distrito Zorritos	116
10. CONCLUSIONES	118
11. RECOMENDACIONES	119
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	121
13. ANEXOS	124
13.1. Información del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación para el departamento de Tumbes en los meses de febrero y marzo del 2025	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Número de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional, en el periodo 2003-2024	12
Tabla 2: Número de emergencias de lluvias intensas y peligros asociados por mes a nivel nacional, periodo 2003-2024	14
Tabla 3: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024	16
Tabla 4: Número acumulado de emergencias, área de cultivo afectado y destruido por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024....	18
Tabla 5: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024	20
Tabla 6: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024	22
Tabla 7: Número acumulado de cobertura vegetal afectada y perdida por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024	24
Tabla 8: Número acumulado de Infraestructura destruida y afectada por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024.....	25
Tabla 9: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por Inundaciones y lluvias del departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025	26
Tabla 10: Emergencias registradas en el SINPAD a nivel de distrito del departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025.....	27
Tabla 11: Estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes	33
Tabla 12: Precipitación acumulada durante el mes de febrero del 2025 de las estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes	35
Tabla 13: Precipitación acumulada durante el mes de marzo del 2025 de las estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes	36
Tabla 14: Eventos El Niño Costero registrados de 2003 a 2025	37
Tabla 15: Características de imágenes Sentinel-2	47
Tabla 16: Resolución espacial y espectral del satélite Sentinel-2/MSI	47
Tabla 17: Características de imágenes Sentinel-1	48
Tabla 18: Características de imágenes Pleiades	48
Tabla 19: Resolución espacial y espectral del satélite Pleiades 1A/1B	48
Tabla 20: Índices espectrales para Sentinel-2	50
Tabla 21: Áreas agrícolas afectadas según el SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Aguas Verdes	76
Tabla 22: Áreas agrícolas afectadas según el SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Papayal.....	80
Tabla 23: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Matapalo	83
Tabla 24: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Zarumilla.....	86
Tabla 25: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Corrales	89
Tabla 26: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Pampas de Hospital.....	95
Tabla 27: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito San Jacinto.....	99
Tabla 28: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito San Juan de la Virgen.....	103
Tabla 29: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Tumbes.....	107

Tabla 30: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Casitas	111
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Área de Estudio.....	7
Figura 2: Mapa de precipitación anual del departamento de Tumbes	8
Figura 3: Delimitación geográfica de la Cuenca Tumbes	10
Figura 4: Número de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional, en el periodo 2003-2024.....	13
Figura 5: Número de emergencias de lluvias intensas y peligros asociados por mes, periodo 2003-2024.....	15
Figura 6: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024	17
Figura 7: Número acumulado de área de cultivo afectada y destruida por lluvias intensas y peligros asociados, en el periodo 2003-2024	19
Figura 8: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024	21
Figura 9: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024	23
Figura 10: Número acumulado de Área de cultivo destruido y Área de cultivo afectado por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024.....	24
Figura 11: Número acumulado de emergencia, damnificados y afectados por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2025	27
Figura 12: Variación del caudal (m^3/s) en la estación Cabo Inga en el periodo febrero - marzo 2025.....	30
Figura 13: Variación del caudal (m^3/s) en la estación el Tigre en el periodo febrero – marzo 2025.....	31
Figura 14: Variación del caudal (m^3/s) en la estación Puente Tumbes en el periodo febrero – marzo 2025.....	32
Figura 15: Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas en el departamento Tumbes.....	34
Figura 16: Conjunto de datos utilizados con frecuencia en el catálogo de datos de Earth Engine.....	39
Figura 17: Mapa de países que han conducido estudios usando la plataforma de GEE, acorde al número de publicaciones.....	41
Figura 18: Firmas espectrales del agua, suelo y vegetación	42
Figura 19: Esquema metodológico.....	46
Figura 20: Mosaico de imágenes satelitales de Sentinel-2, a nivel distrital	49
Figura 21: Índices espectrales NDWI, MNDWI, NDVI, SAVI	52
Figura 22: Combinación de bandas B4, B3, B2.....	53
Figura 23: Combinación de bandas B11, B8, B3.....	54
Figura 24: Combinación de bandas B8, B4, B3.....	55
Figura 25: Índice espectral en Pleiades	56
Figura 26: Combinación de bandas B1, B2, B3.....	57
Figura 27: Combinación de bandas B4, B2, B1.....	58
Figura 28: Creación de categorías en GEE.....	59
Figura 29: División de datos 70/30.....	59
Figura 30: Muestras de entrenamiento y validación	60
Figura 31: Resultado de clasificación con el algoritmo RandomForest	62
Figura 32: Evaluación de precisión a través de matriz de confusión, precisión global e índice kappa	63
Figura 33: Ajuste del hiperparámetro Número de árboles	64
Figura 34: Evaluación de importancia de variables	65
Figura 35: Canal de polarización VV	67
Figura 35: Canal de polarización VH.....	68
Figura 36: Filtro Spekcle	69
Figura 37: Definición de umbral	70

Figura 38: Tabla de clases de mapa de cobertura terrestre a nivel global.....	71
Figura 39: Máscaras de cuerpos de agua permanentes y área urbana.....	71
Figura 40: Filtro topográfico	72
Figura 41: Ubicación de registro SINPAD	74
Figura 42: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Aguas Verdes	77
Figura 43: Ubicación de localidades con afectación en agricultura del 28 de febrero del 2025	77
Figura 44: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Aguas Verdes en el mes de febrero del 2025	78
Figura 45: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Aguas Verdes en el mes de marzo del 2025.....	79
Figura 46: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Papayal.....	81
Figura 47: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Papayal en el mes de marzo del 2025	82
Figura 48: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Matapalo.....	84
Figura 49: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Matapalo en el mes de marzo del 2025	85
Figura 50: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Zarumilla.....	87
Figura 51: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Zarumilla en el mes de marzo del 2025	88
Figura 52: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Corrales	90
Figura 53: Cultivos bajo riego en el distrito de Corrales el 22 de febrero del 2025	91
Figura 54: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Corrales en el mes de marzo del 2025	92
Figura 55: Superficie agrícola bajo riego del distrito La Cruz	93
Figura 56: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de La Cruz en el mes de marzo del 2025	94
Figura 57: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Pampas de Hospital.....	96
Figura 58: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Pampas de Hospital en el mes de febrero del 2025.....	97
Figura 59: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Pampas de Hospital en el mes de marzo del 2025	98
Figura 60: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de San Jacinto	100
Figura 61: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Jacinto en el mes de febrero del 2025	101
Figura 62: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Jacinto en el mes de marzo del 2025	102
Figura 63: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de San Juan de la Virgen.....	104
Figura 64: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Juan de la Virgen en el mes de febrero del 2025	105
Figura 65: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Juan de la Virgen en el mes de marzo del 2025.....	106
Figura 66: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Tumbes.....	108
Figura 67: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Tumbes en el mes de febrero del 2025	109

Figura 68: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Tumbes en el mes de marzo del 2025	110
Figura 69: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Casitas.....	112
Figura 70: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Casitas en el mes de marzo del 2025	113
Figura 71: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Canoas de Punta Sal en el mes de febrero y marzo del 2025	115
Figura 72: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Zorritos en el mes de febrero y marzo del 2025	117

1. INTRODUCCIÓN

En el Perú, las emergencias y desastres de origen hidrometeorológico son recurrentes, especialmente entre los meses de diciembre y abril, periodo que marca el inicio y desarrollo de la temporada de lluvias. Su frecuencia y severidad se ven cada vez más influenciadas por el cambio climático y por la ocurrencia del Fenómeno El Niño (FEN), los cuales alteran significativamente los patrones de precipitación en la costa norte del país, generando impactos severos sobre la población, los medios de vida y la infraestructura.

El departamento de Tumbes, ubicado en el extremo norte del país, presenta una alta vulnerabilidad a las lluvias intensas, cuyos efectos se ven exacerbados por la variabilidad climática (Marshall, et al., 2018). Durante los meses de febrero y marzo del año 2025, este departamento fue escenario de precipitaciones excepcionales que superaron los umbrales normales, provocando desbordes de ríos, inundaciones extensas y la activación de quebradas. Ante este escenario, la respuesta oportuna y eficaz por parte de las autoridades competentes depende, en gran medida, de contar con información precisa y actualizada sobre la extensión espacial de las áreas afectadas (Montesinos Cáceres, 2018).

En este contexto, la teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para el análisis y la evaluación de riesgos naturales (Chuvieco, Cocero, Aguado, Palacios, & Prado, 2004; Epting, Verbyla, & Sorbel, 2005). El uso de imágenes satelitales, procesadas mediante plataformas como Google Earth Engine, permite no solo identificar y cuantificar la extensión de áreas inundadas, sino también monitorear su evolución temporal de manera eficiente. Asimismo, el empleo de índices espectrales como el Normalized Difference Water Index (NDWI) o el Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI) mejora la capacidad de detección en escenarios de nubosidad elevada (Van Gerrevink & Veraverbeke, 2021).

Por otro lado, el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) constituye el principal instrumento oficial para registrar y consolidar la información sobre daños ocasionados por emergencias y desastres en el país (Instituto Nacional de Defensa Civil-INDECI, 2024). Sin embargo, la información registrada suele presentar limitaciones por la disponibilidad de personal capacitado, la demora en los reportes y las dificultades de acceso a zonas afectadas, lo que restringe la atención oportuna a familias damnificadas y a productores agrícolas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, 2020). Esta información es recopilada por los responsables de las Oficinas de Gestión del Riesgo de Desastres, o la unidad correspondiente de cada municipalidad distrital. En el caso del sector agrícola, la responsabilidad recae en los Gobiernos Regionales, en coordinación con el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), conforme a lo establecido en la Resolución Ministerial N° 324-2023-PCM, que aprueba los “Lineamientos para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades”. Sin embargo, estos registros suelen demorar debido a limitaciones logísticas, disponibilidad de personal capacitado y condiciones de acceso al territorio afectado, lo que dificulta una atención oportuna a las familias damnificadas y a los productores afectados en sus medios de vida.

En este sentido, resulta fundamental complementar los registros oficiales con el uso de tecnologías geoespaciales que permitan detectar en plazos más breves la extensión espacial de las áreas inundadas, cuantificarlas con mayor precisión y fortalecer los procesos de respuesta y rehabilitación.

El presente estudio tiene como finalidad analizar las áreas afectadas por inundaciones en el departamento de Tumbes durante los meses de febrero y marzo de 2025, utilizando técnicas de teledetección en Google Earth Engine. La metodología incluyó el análisis de imágenes Sentinel-2 mediante índices espectrales y la aplicación de algoritmo de clasificación supervisada, así como el uso de imágenes SAR, con el fin de delimitar con mayor precisión las zonas inundadas. Finalmente, los resultados obtenidos fueron comparados con la información registrada oficialmente en el SINPAD, evidenciando las ventajas de la integración de tecnologías geoespaciales en la gestión reactiva del riesgo de desastres en el Perú.

2. MARCO NORMATIVO

A continuación, se presenta el marco normativo que sustenta la elaboración del presente estudio, de acuerdo a las competencias de la Subdirección de Sistematización de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres de la Dirección de Preparación:

- 2.1. Decreto Supremo N° 048-2011-PCM, que aprueba el reglamento de la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD).

Artículo 8. – Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI)

8.1 El Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI es un organismo público ejecutor que conforma el SINAGERD, responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.

- 2.2. Decreto Supremo N° 060-2024-PCM, que modifica el Reglamento de la Ley N° 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado por Decreto Supremo N°048-2011-PCM.

Artículo 9. – Funciones del INDECI

9.3. Realizar a nivel nacional, la supervisión, seguimiento y evaluación de la implementación de los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación, proponiendo mejoras y medidas correspondientes.

9.14 Promover el desarrollo de capacidades humanas para la preparación, respuesta y rehabilitación en las entidades públicas, sector privado y la ciudadanía en general.

9.15 Realizar estudios e investigaciones inherentes a los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación y realizar a nivel nacional, la supervisión, monitoreo y evaluación de la implementación de estos procesos, proponiendo mejoras y medidas correspondientes.

- 2.3. Decreto Supremo N° 002-2025-DE, que aprueba la Sección Primera del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI.

Artículo 30. – Dirección de Preparación

La Dirección de Preparación, es un órgano de línea que depende de la Jefatura Institucional, responsable de formular la propuesta de normas, lineamientos técnicos y estrategias inherentes al proceso de preparación, para el planeamiento e implementación, así como realizar acciones de preparación que contribuyan a una óptima respuesta en los tres niveles de gobierno y de la sociedad.

Artículo 31.- Funciones de la Dirección de Preparación

d. Dirigir las asistencias técnicas, de las actividades inherentes al proceso de preparación, en los tres niveles de gobierno.

f. Dirigir estudios e investigaciones relacionadas con la información sobre escenarios de riesgo de desastres, para su uso en los procesos de respuesta y rehabilitación.

- 2.4. Resolución Jefatural N° 000058-2025-INDECI/JEF INDECI, que aprueba la Sección Segunda del Reglamento de Organización y Funciones del Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI.

Artículo 59.- La Sub-Dirección de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres

La Sub-Dirección de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres, en una unidad orgánica de línea que depende de la Dirección de Preparación, responsable del procesamiento de información geoespacial y de escenarios de riesgo de desastres; así como, elaborar estudios e investigación aplicada para los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.

Artículo 60.- Funciones de la Sub-Dirección de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres

c. Formular proyectos de lineamientos técnicos, guías y demás herramientas en lo referente al subproceso de información sobre escenarios de riesgos de desastres y procesamiento de información geoespacial para la gestión reactiva, en los tres niveles de gobierno.

- d. Brindar asistencia técnica a las instituciones del gobierno nacional y proponer los lineamientos para el desarrollo de actividades relacionadas al subprocesso de información sobre escenarios de riesgo de desastres, procesamiento de información geoespacial para la gestión reactiva, estudios e investigación aplicada para los tres niveles de gobierno.*
- e. Realizar la supervisión, seguimiento y evaluación en los tres niveles de gobierno, de la implementación del subprocesso de información sobre escenarios de riesgo de desastres, estudios e investigación aplicada a la gestión reactiva.*
- f. Sistematizar y brindar información geoespacial, así como, escenarios de riesgo de desastres para los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación.*
- g. Realizar y proponer estudios e investigaciones aplicadas relacionadas a la gestión reactiva; así como sus respectivas metodologías y procedimientos.*
- 2.5. La Resolución Jefatural N° 106-2018-INDECI y sus modificatorias, que crea la Unidad Funcional del Centro de Estudios, Procesamiento de Información e Investigación para la Gestión Reactiva – CEPIG.
- Artículo 2.- Funciones de la Unidad Funcional CEPIG*
- c. Proponer las metodologías y mecanismos para la elaboración de las mejoras en los procesos de la Gestión Reactiva, sobre la base de las investigaciones aplicadas realizadas.*
- g. Brindar información geoespacial para el conocimiento y evaluación del riesgo de desastres.*
- 2.6. Decreto Supremo N° 038-2021-PCM, que aprueba la “Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050”.
- 2.7. La Resolución Jefatural N° 277-2021-PCM, que aprueba la “Directiva para el acceso y uso de imágenes satelitales y aéreas para acciones de respuesta y rehabilitación por desastre o peligro inminente” cuyo objetivo principal es definir las acciones y responsabilidades para la evaluación, obtención, descarga, procesamiento, distribución y almacenamiento de imágenes satelitales y aéreas para la toma de decisiones en los niveles de emergencia 4 y 5, ante peligro inminente o desastre.
- 2.8. Resolución Jefatural N° 298-2021-INDECI, que aprueba la “Agenda de Investigación Aplicada de la Gestión Reactiva del Riesgo de Desastres 2022-2026”, cuyo objetivo es promover el desarrollo de investigaciones aplicadas y estudios en el marco de los procesos relacionados a la Gestión Reactiva del Riesgo de Desastres.

- 2.9. Resolución Ministerial N° 324-2023-PCM, que aprueba los “Lineamientos para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades”, a fin de facilitar la organización, aplicación y registro de la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN) por parte de las entidades públicas de los tres niveles de gobiernos integrantes del SINAGERD.
- 2.10. Resolución Jefatural N°000004-2024-INDECI/JEF INDECI, que aprueba la “Guía para la utilización de los formularios para la evaluación de daños y análisis de necesidades”.
- 2.11. Resolución Ministerial N° 327-2019-PCM, que aprueba los “Lineamientos para el registro y uso de información en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD”, con el fin de Orientar a los gobiernos regionales y locales en el registro de daños en base a la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades-EDAN, así como el uso de la información proporcionada por el módulo COE del SINPAD, a fin de optimizar la gestión de información del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD, que permita tomar decisiones oportunas para la atención de peligros inminentes, emergencias o desastres.

3. FINALIDAD

Disponer de información confiable que contribuya a la toma de decisiones para la gestión reactiva del riesgo de desastres.

4. OBJETIVOS

4.1. Objetivo General

Identificar áreas afectadas por inundaciones ocasionadas por lluvias intensas en el departamento de Tumbes durante los meses de febrero y marzo del 2025, aplicando técnicas de teledetección en Google Earth Engine.

4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar y sistematizar información registrada en el SINPAD sobre emergencias por lluvias intensas e inundación ocurridas en el departamento de Tumbes durante el mes de febrero y marzo del 2025.
- Desarrollar una metodología para la delimitación de las áreas inundadas en el departamento de Tumbes mediante el uso de imágenes satelitales (ópticas y radar)
- Cuantificar las zonas afectadas por inundaciones en el departamento de Tumbes.
- Analizar las áreas inundadas detectadas mediante teledetección en GEE con los registros del SINPAD correspondientes a los meses de febrero y marzo del 2025.

5. ÁREA DE ESTUDIO

El departamento de Tumbes, se ubica en el norte del país, limita al norte y al este con el país de Ecuador, al sur con Piura, y al oeste con el Océano Pacífico. Tiene una superficie aproximada de 4,652 Km² y se encuentra entre las latitudes sur de 3°20' y 4°15' y los meridianos 80°5' y 81°5' longitud oeste. Comprendido por 3 provincias: Zarumilla, Tumbes y Contralmirante Villar (Figura 1). Además, tiene una población total de 224,863 habitantes, donde el 93.7% de la población pertenece al área urbana y el 6.3% corresponde al área rural, según Censo Nacional de Población 2017.

Según el mapa climático elaborado en base al método de clasificación climática de Warren Thornthwaite del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2020), el departamento de Tumbes presenta ocho tipos de clima, siendo las más predominantes el semiárido y árido, que se ubican entre el litoral y los 400 m sobre el nivel del mar. En la zona semiárida, la lluvia es casi nula en invierno y primavera, y tiene un clima cálido (D(i,p)A'). La zona desértica, que es cálida (E(d)A'), presenta deficiencia de humedad durante todo el año, excepto en Zarumilla. Entre los 400 y 800 m s. n. m., se encuentran climas semiáridos y semisecos, también cálidos, con humedad deficiente en invierno y primavera. Entre los 800 y 1.500 m s. n. m., el clima es semiárido y templado, con invierno y primavera secos, y una cobertura vegetal de bosque seco.

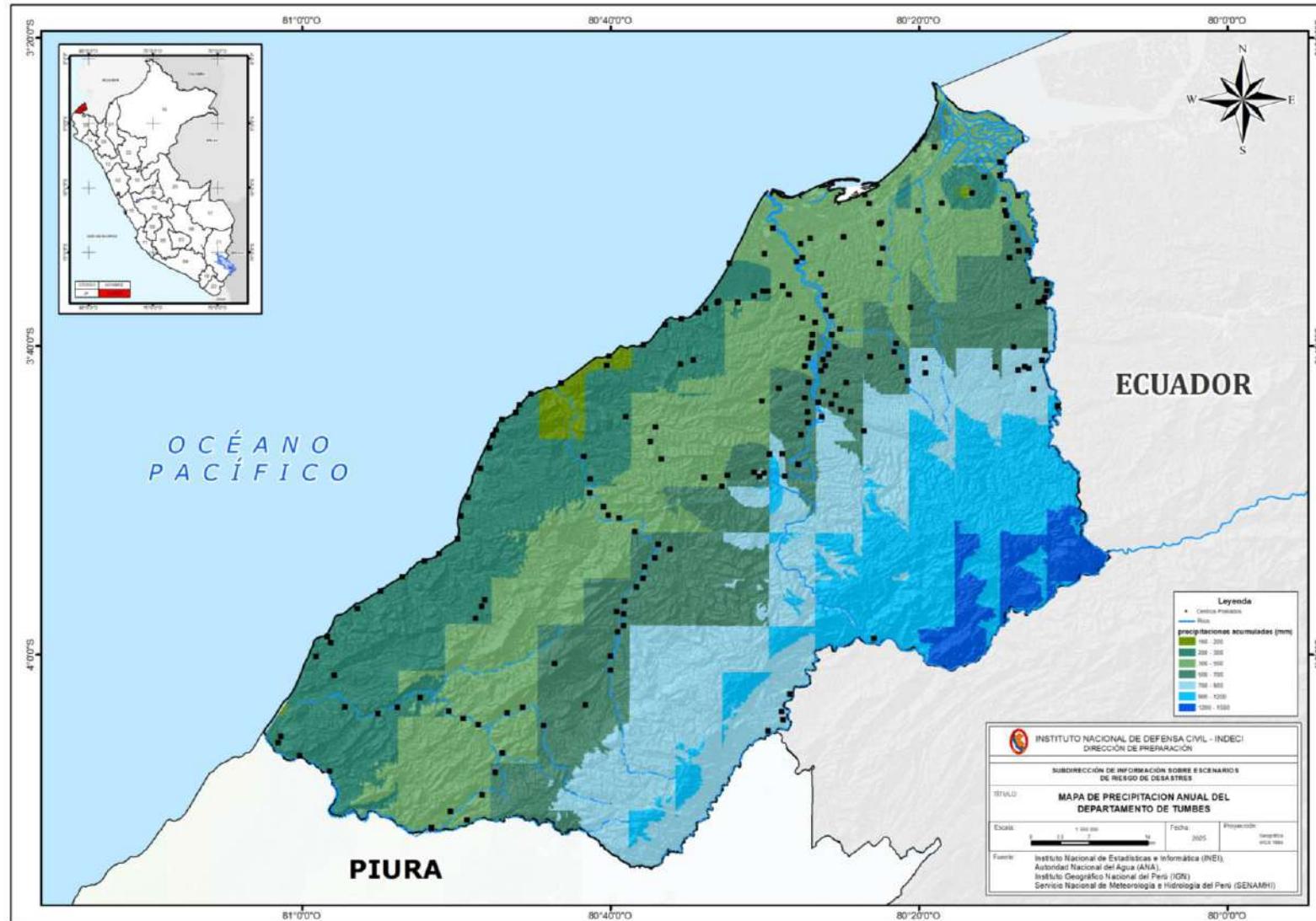
En el distrito de Tumbes (Puerto Pizarro), el clima es semiárido y cálido, con temperaturas máximas entre 28°C en agosto y 32°C en marzo, y mínimas de 20°C en agosto y 24°C en febrero y marzo. La precipitación anual es de 464 mm, con mayor intensidad entre febrero y abril (Figura 2). En el distrito de San Jacinto (Estación meteorológica Cabo Inga), el clima es semiseco y cálido, con temperaturas máximas entre 31°C en junio y 34°C en noviembre, y mínimas entre 18°C en agosto y 22°C en verano. La precipitación anual es de 935 mm, concentrada entre febrero y abril (SENAMHI, 2021).

Figura 1: Mapa de Área de Estudio



Nota. Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Autoridad Nacional del Agua (ANA) y Ministerio del Ambiente (MINAM)

Figura 2: Mapa de precipitación anual del departamento de Tumbes



Nota. Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) y Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

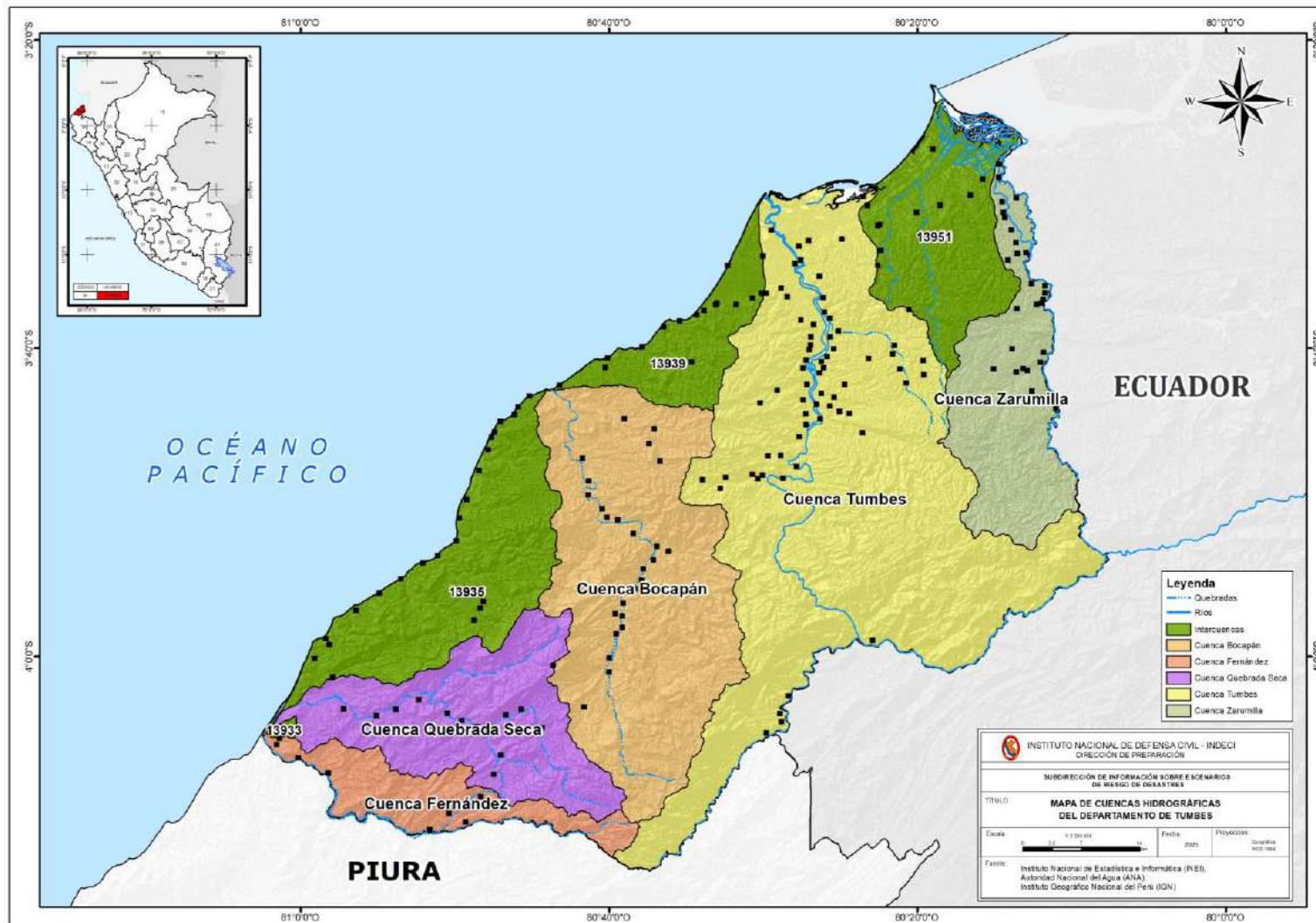
5.1. Cuenca Puyango - Tumbes

La cuenca Puyango-Tumbes tiene una superficie de aproximadamente 4 850 km², de los cuales el 62.76% pertenece a las provincias de El Oro y Loja, ubicadas al sureste de Ecuador, y el 37.24% al departamento de Tumbes, en el norte del Perú. El río Puyango-Tumbes nace a una altitud de 3 500 m s.n.m. en la zona de Portovelo, donde se le conoce inicialmente como río Pindo. Más adelante, toma el nombre de río Puyango y, al confluir con la quebrada Cazaderos en territorio peruano, pasa a denominarse río Tumbes (Autoridad Nacional del Agua, 2019).

En el territorio peruano, la cuenca abarca una extensión aproximada de 90 000 hectáreas, destinadas principalmente a la actividad agrícola, con un predominio del cultivo de arroz, seguido por banano, maíz y otras frutas (Marshall et al., 2018). No obstante, esta actividad productiva enfrenta múltiples amenazas ambientales, como la erosión del suelo y la degradación progresiva del ecosistema, impulsadas principalmente por la deforestación y la sobreexplotación del bosque seco, incluyendo la tala indiscriminada y el sobrepastoreo caprino.

Estos problemas están directamente relacionados con los cambios en el uso del suelo, los cuales afectan negativamente las actividades agrícolas, particularmente a través de monocultivos y prácticas inadecuadas de riego y manejo. Dichas alteraciones impactan los procesos hidrológicos de la cuenca, modificando los regímenes de caudal y la escorrentía superficial. En este contexto, resulta relevante destacar que el río Tumbes, eje fluvial principal del departamento, representa el factor determinante en la generación de eventos de inundación en el departamento de Tumbes, los cuales ocurren cuando su caudal excede la capacidad hidráulica del cauce. Esta condición hidrológica se ve fuertemente influenciada por precipitaciones intensas que se originan tanto en el sector peruano como en el ecuatoriano de la cuenca. La concentración de lluvias en las zonas altas, ubicadas mayoritariamente en territorio ecuatoriano, incrementa significativamente los volúmenes de escorrentía que se desplazan hacia aguas abajo, generando una alta probabilidad de desbordes en territorio peruano. Esta dinámica transfronteriza evidencia la necesidad de implementar una gestión integral de la cuenca con enfoque binacional, orientada al uso sostenible del recurso hídrico, la reducción del riesgo de desastres y la adaptación efectiva frente a los impactos del cambio climático.

Figura 3: Delimitación geográfica de la Cuenca Tumbes



Nota. Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN)

6. ANTECEDENTES

El Perú ha sido escenario de numerosos eventos hidrometeorológicos extremos, principalmente lluvias intensas asociadas al fenómeno El Niño. Estos eventos no solo han causado importantes daños materiales y sociales, sino que han evidenciado las debilidades estructurales en la gestión del riesgo de desastres, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad como el departamento de Tumbes.

A fin de comprender la magnitud y evolución del riesgo, este apartado presenta una caracterización de las emergencias por lluvias intensas y peligros asociados registradas entre 2003 y 2024, tanto a nivel nacional como en el departamento de Tumbes. Se analiza su comportamiento temporal (anual y mensual), los daños ocasionados a la población y los cultivos, así como la afectación a la infraestructura pública. Además, se incorpora el análisis del comportamiento hidrológico del río Tumbes durante el primer trimestre del 2025, y la precipitación acumulada en los meses críticos, con énfasis en febrero y marzo. Finalmente, se considera la historia de eventos El Niño registrados en el departamento, a fin de contextualizar los patrones observados y su relación con los picos de emergencia.

6.1. Incidencia nacional de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el periodo 2003 – 2024

A partir del número de emergencias registradas en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) durante el periodo 2003-2024, se evidencia una fluctuación significativa en la frecuencia de eventos relacionados con lluvias intensas y peligros asociados, marcados por picos de alta incidencia en años vinculados a eventos climáticos, principalmente el fenómeno El Niño.

Los años 2017 y 2023, destacan como los de mayor incidencia de emergencias, con 6 396 y 5 127, respectivamente. Estos picos coinciden con la ocurrencia del fenómeno El Niño costero moderado en el 2017 y el Yaku en el 2023, lo que refleja la fuerte relación entre estos fenómenos y el incremento del número de emergencias. En 2023, las lluvias intensas ocasionaron 4 801 emergencias, mientras que en 2017, además de las lluvias intensas (3 644 emergencias), también se registró un alto número de huaicos (570 emergencias).

Las inundaciones, por su parte, mostraron su pico máximo en 2003, con 492 emergencias, cifra que no ha sido superada desde entonces. No obstante, en los últimos años se ha registrado un incremento, como en 2023, con 417 inundaciones, lo que sugiere una posible tendencia al incremento de la vulnerabilidad por ocupación de zonas bajas, falta de drenaje urbano o degradación de ecosistemas de regulación hídrica.

Los deslizamientos de tierra también siguen una tendencia variable, aunque con incrementos notables en años de lluvias intensas. En 2017, se registraron 321

emergencias de deslizamiento, mientras que en 2021 se alcanzó una cifra mayor, con 428 emergencias.

En conjunto, las cifras reflejan un patrón multianual complejo, en el que se combinan elementos climáticos, sociales y territoriales. La recurrencia y severidad de los eventos muestran que el país enfrenta una creciente exposición y vulnerabilidad, lo que evidencia la urgente necesidad de fortalecer las medidas de prevención y preparación en el marco de la gestión del riesgo de desastres, ello acompañado de una planificación de la ocupación del territorio y de medidas de adaptación al cambio climático.

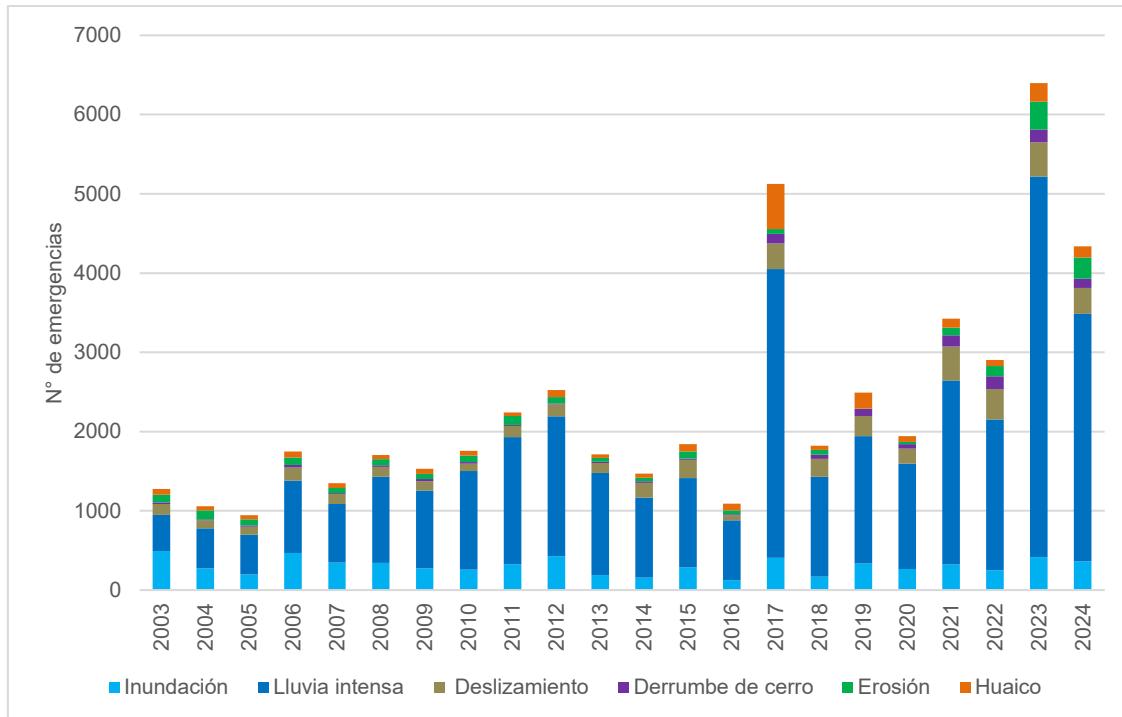
Tabla 1: Número de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional, en el periodo 2003-2024

Año	Inundación	Lluvias intensas	Deslizamiento	Derrumbe de cerro	Erosión	Huaico	Total
2003	492	455	139	20	99	70	1 275
2004	273	505	102	11	113	52	1 056
2005	198	502	98	17	78	50	943
2006	467	914	164	33	92	80	1 750
2007	347	739	126	11	64	63	1 350
2008	345	1 083	128	17	78	53	1 704
2009	273	984	116	27	67	65	1 532
2010	259	1 245	90	21	82	59	1 756
2011	325	1 606	140	13	112	45	2 241
2012	426	1 768	147	14	81	90	2 526
2013	190	1 287	127	15	47	47	1 713
2014	156	1 011	185	20	45	51	1 468
2015	285	1 130	227	19	86	96	1 843
2016	125	757	64	9	51	83	1 089
2017	407	3 644	321	122	63	570	5 127
2018	168	1 263	226	53	58	55	1 823
2019	335	1 607	253	92	4	200	2 491
2020	267	1 328	189	56	29	73	1 942
2021	321	2 324	428	141	99	110	3 423
2022	250	1 902	386	159	130	76	2 903
2023	417	4 801	433	161	353	231	6 396
2024	364	3 120	328	116	270	139	4 337

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

La Figura 4 muestra la evolución del número de emergencias asociadas a lluvias intensas y peligros asociados durante el periodo 2003-2024, evidenciando una variabilidad interanual con picos significativos en los años 2017 y 2023, los cuales coinciden con la ocurrencia del fenómeno El Niño. Asimismo, a lo largo del periodo, las emergencias por lluvias intensas constituyen el peligro más predominante, seguido por las inundaciones. Se observa también incrementos en la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes y huaicos.

Figura 4: Número de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

El análisis del comportamiento mensual de las emergencias ocasionadas por lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional, durante el periodo 2003-2024, evidencia un patrón estacional vinculado a la temporada de precipitaciones en el país, el cual se caracteriza por un incremento significativo en la ocurrencia de emergencias durante los primeros meses del año, siendo febrero y marzo los meses con mayor cantidad de emergencias.

En febrero y marzo se registraron 10 795 y 14 316 emergencias, respectivamente, siendo marzo el mes con la mayor incidencia a nivel nacional. Ambos meses destacan por la alta frecuencia de emergencias asociadas a lluvias intensas e inundaciones, con un mayor impacto en marzo. Además, en este último mes se observa un incremento en la ocurrencia de deslizamientos, derrumbes de cerro, procesos de erosión y huaicos, lo que evidencia condiciones hidrometeorológicas más severas.

En el mes de enero también se observa una elevada cantidad de emergencias, con 7 434 emergencias reportadas, entre los cuales predominan las lluvias intensas (4 804) y las inundaciones (1 272). A partir de abril, se registra una disminución progresiva en la frecuencia de emergencias, lo que refleja el descenso en la intensidad de las precipitaciones. Entre los meses de mayo y septiembre, los valores se reducen considerablemente, marcando un periodo de menor recurrencia de emergencias, en concordancia con el final de la temporada de lluvias intensas.

En síntesis, se demuestra que la mayor concentración de emergencias se presenta durante el primer trimestre del año, lo cual debe ser considerado en la planificación y gestión del riesgo de desastres. Esta información resulta fundamental para orientar la formulación de medidas de prevención, preparación y respuesta, priorizando la implementación de acciones en los períodos de mayor exposición y vulnerabilidad.

Tabla 2: Número de emergencias de lluvias intensas y peligros asociados por mes a nivel nacional, periodo 2003-2024

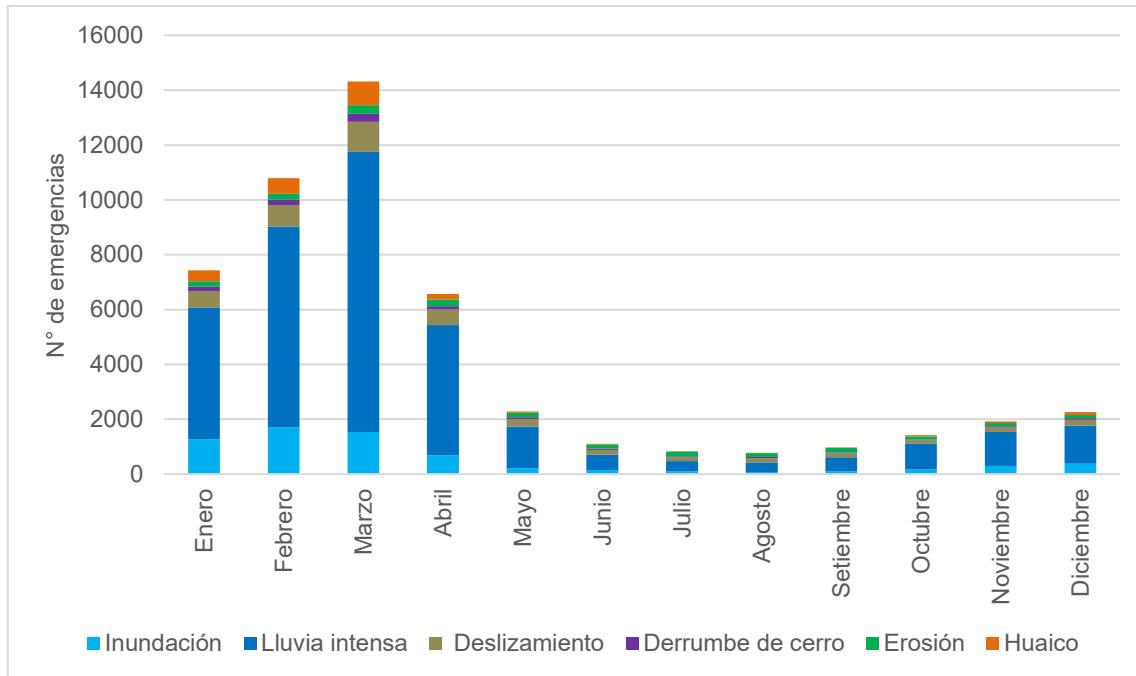
Mes	Inundación	Lluvias intensas	Deslizamiento	Derrumbe de cerro	Erosión	Huaico	Total
Enero	1 272	4 804	599	158	203	398	7 434
Febrero	1 702	7 326	789	193	205	580	10 795
Marzo	1 535	10 219	1 087	295	323	857	14 316
Abril	685	4 748	572	118	241	198	6 562
Mayo	213	1 522	272	64	162	55	2 288
Junio	148	560	175	44	157	19	1 103
Julio	106	374	130	45	167	10	832
Agosto	77	349	155	40	140	10	771
Setiembre	105	508	140	42	165	13	973
Octubre	172	931	129	29	117	43	1 421
Noviembre	297	1 242	164	50	110	65	1 928
Diciembre	378	1 392	205	69	111	110	2 265

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

La Figura 5 muestra la distribución mensual del número de emergencias asociadas a lluvias intensas y peligros asociados a nivel nacional en el periodo 2003-2024, lo que permite visualizar los meses con mayor número de emergencias, coincidentes con la temporada de precipitaciones en el país.

A partir de abril, se observa una disminución progresiva en la frecuencia de emergencias, lo que refleja el término de la temporada de precipitaciones. Entre los meses de junio a agosto se registraron los valores más bajos del periodo, correspondientes a una etapa de relativa estabilidad hidrometeorológica. Hacia el último trimestre del año, se observa un leve incremento en la ocurrencia de emergencias, aunque sin alcanzar los niveles críticos del primer trimestre.

Figura 5: Número de emergencias de lluvias intensas y peligros asociados por mes, periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

6.2. Reporte de daños a nivel nacional por lluvias intensas y peligros asociados en el periodo 2003-2024

Durante el periodo 2003-2024, las lluvias intensas y los peligros asociados han generado impactos humanos significativos en todo el país. Los departamentos con mayor cantidad de personas damnificadas y afectadas son Loreto, Piura y Huánuco. Loreto encabeza la lista con un total acumulado de 303 790 damnificados y se ubica en segundo lugar en número de afectados, con 1 027 593 afectadas. Por su parte, Piura ocupa el segundo lugar en damnificados acumulados con 190 921 y el primero en personas afectadas, con 1 059 221. Este panorama evidencia la alta vulnerabilidad de ambas regiones, asociada a factores como su ubicación geográfica, condiciones hidrometeorológicas y la presencia de infraestructura e instituciones con limitada capacidad de respuesta.

Otros departamentos con cifras importantes de personas afectadas por lluvias intensas y peligros asociados son La Libertad (452 042), Lambayeque (435 456), Cajamarca (287 996), Ucayali (165 517) y Tumbes (306 704). Estos datos reflejan que las regiones de la costa norte y la Amazonía han sido especialmente afectadas. Asimismo, departamentos como Apurímac, Ayacucho y Huancavelica, si bien no lideran en número total de personas afectadas, presentan una altísima frecuencia de emergencias: 4 942, 4 828 y 4 643 eventos registrados respectivamente.

En contraste, los menores impactos humanos se reportan en zonas urbanas costeras como Callao, Tacna y Lima Metropolitana, donde se han registrado menores cifras de damnificados y afectados, así como un número reducido de

emergencias. Esta situación puede atribuirse a una menor intensidad de precipitaciones, mejor cobertura de infraestructura urbana y una mayor capacidad institucional para la respuesta y prevención ante emergencias.

Un caso particular es el del departamento de Tumbes, que según el Censo 2017 cuenta con 224 863 habitantes, siendo el menos poblado del país y también uno de los de menor extensión territorial. A pesar de ello, ha registrado 869 emergencias, con 4 324 damnificados y 302 380 personas afectadas, lo que representa una cifra extremadamente elevada en relación con su población. Este nivel de afectación es comparable al de Lambayeque y La Libertad, departamentos que reportan 332 973 y 341 567 personas afectadas, respectivamente, a pesar de tener una población significativamente mayor que Tumbes. Esta situación evidencia la alta exposición de Tumbes a las lluvias intensas y peligros asociados.

En conjunto, los datos permiten concluir que existe una relación clara entre el entorno geográfico y climático, la frecuencia e intensidad de las emergencias y la magnitud de los impactos humanos. Asimismo, se evidencia una desigual capacidad de respuesta entre los departamentos, así como marcadas diferencias en la planificación territorial y la resiliencia local.

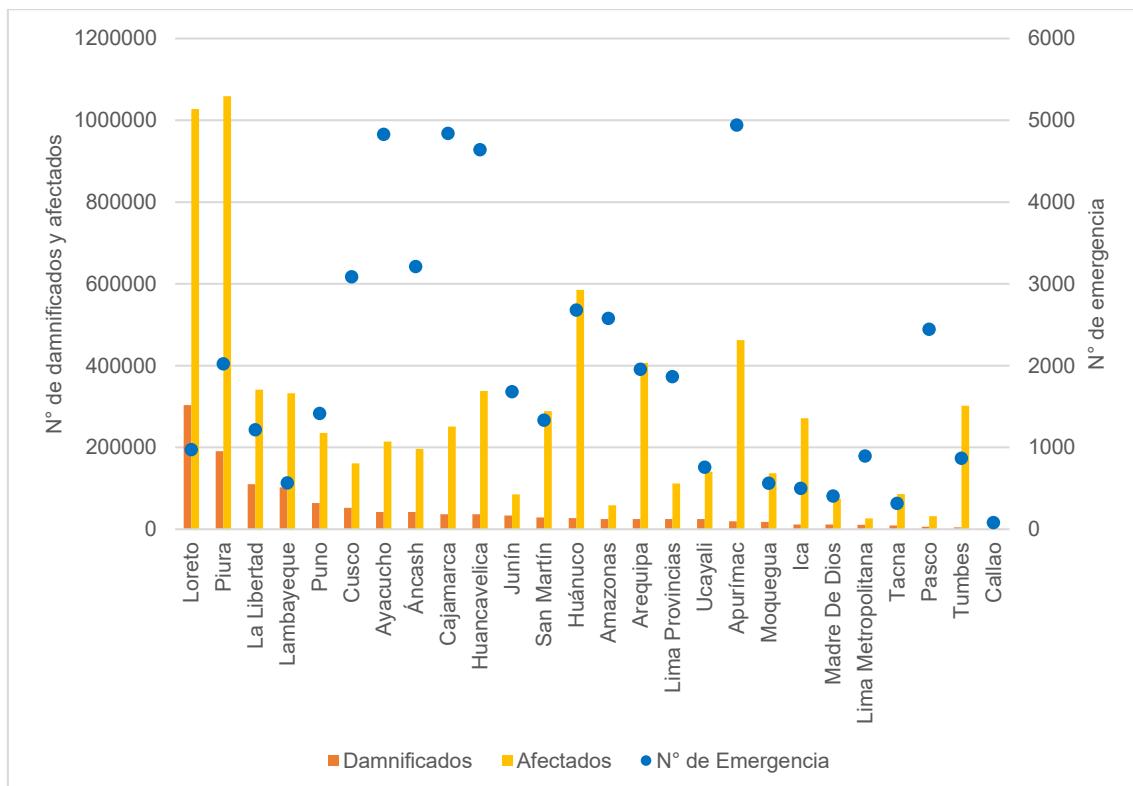
Tabla 3: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024

Nº	Departamento	Nº de Emergencia	Damnificados	Afectados
1	Amazonas	2 578	24 980	58 889
2	Áncash	3 214	41 979	196 054
3	Apurímac	4 942	19 341	462 226
4	Arequipa	1 956	24 869	407 230
5	Ayacucho	4 828	42 226	214 675
6	Cajamarca	4 840	37 040	250 956
7	Callao	82	283	2236
8	Cusco	3 088	52 406	161 449
9	Huancavelica	4 643	36 939	338 336
10	Huánuco	2 681	27 591	585 718
11	Ica	501	11 602	271 313
12	Junín	1 682	33 650	85 585
13	La Libertad	1 215	110 475	341 567
14	Lambayeque	566	102 483	332 973
15	Lima Metropolitana	895	11 269	26 315
16	Lima Provincias	1 866	24 657	111 702
17	Loreto	974	303 790	1 027 593
18	Madre De Dios	407	11 452	75 073
19	Moquegua	563	17 950	136 560
20	Pasco	2 447	6 060	32 110
21	Piura	2 024	190 921	1 059 221
22	Puno	1 416	64 383	235 354
23	San Martín	1 334	29 294	289 041
24	Tacna	317	9 369	85 669
25	Tumbes	869	4 324	302 380
26	Ucayali	760	24 630	140 887

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

En la Figura 6 se puede visualizar de manera integrada la magnitud del impacto humano y la frecuencia de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados a nivel departamental entre 2003 y 2024. Se observa que Piura y Loreto destacan como los departamentos con mayor número de damnificados y afectados acumulados, superando el millón de personas afectadas. Por otro lado, los departamentos de Apurímac, Cajamarca, Ayacucho y Huancavelica presentan la mayor cantidad de emergencias, lo que refuerza su alta exposición a eventos hidrometeorológicos.

Figura 6: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Con respecto a la afectación en el sector agrícola, las lluvias intensas y los peligros asociados han generado importantes pérdidas a nivel nacional, afectando y destruyendo miles de hectáreas de cultivos en diversas regiones del país. Destaca el departamento de Loreto, que registra 85 152.93 hectáreas de cultivos destruidos, una cifra ampliamente superior al resto de departamentos, lo que refleja su alta exposición a inundaciones de origen fluvial en zonas rurales vulnerables. Le siguen los departamentos de Puno (30 884.28 ha), Piura (23 278.73 ha), Lambayeque (22 537.76 ha) y La Libertad (20 106.31 ha), en cuanto a superficie de cultivos destruidos, lo que evidencia la gravedad del impacto tanto en regiones de la sierra como de la costa norte.

Asimismo, departamentos andinos como Cajamarca (14 596 ha destruidas), Huancavelica (15 862 ha), Huánuco (13 144 ha) y Lima Provincias (11 156 ha)

también presentan cifras significativas de pérdida agrícola. Ayacucho y Cusco superan igualmente las 10 000 hectáreas destruidas, mientras que Ucayali, en la Amazonía central, suma más de 20 800 hectáreas, lo que demuestra que el impacto en cultivos no se limita a zonas altoandinas o costeras, sino que también afecta de manera considerable a los ecosistemas amazónicos.

Con respecto, a las hectáreas de cultivo afectadas, encabeza la lista el departamento de Puno con 129 579.133 ha, seguido por el departamento de Tumbes con 41 653.91 ha, pese a tener un número moderado de emergencias (869), lo que resalta su alta vulnerabilidad relativa ante lluvias intensas y la fragilidad de sus sistemas agrícolas. Similar es el caso de Arequipa, con más de 28 000 ha afectadas, lo que indica que incluso en regiones de clima más seco, eventos extremos pueden tener consecuencias severas si coinciden con valles agrícolas intensivos.

Este análisis evidencia que los daños al sector agrícola por lluvias intensas no solo afectan la seguridad alimentaria local, sino que también comprometen los medios de vida de miles de familias, muchas de las cuales dependen exclusivamente de la agricultura para su subsistencia.

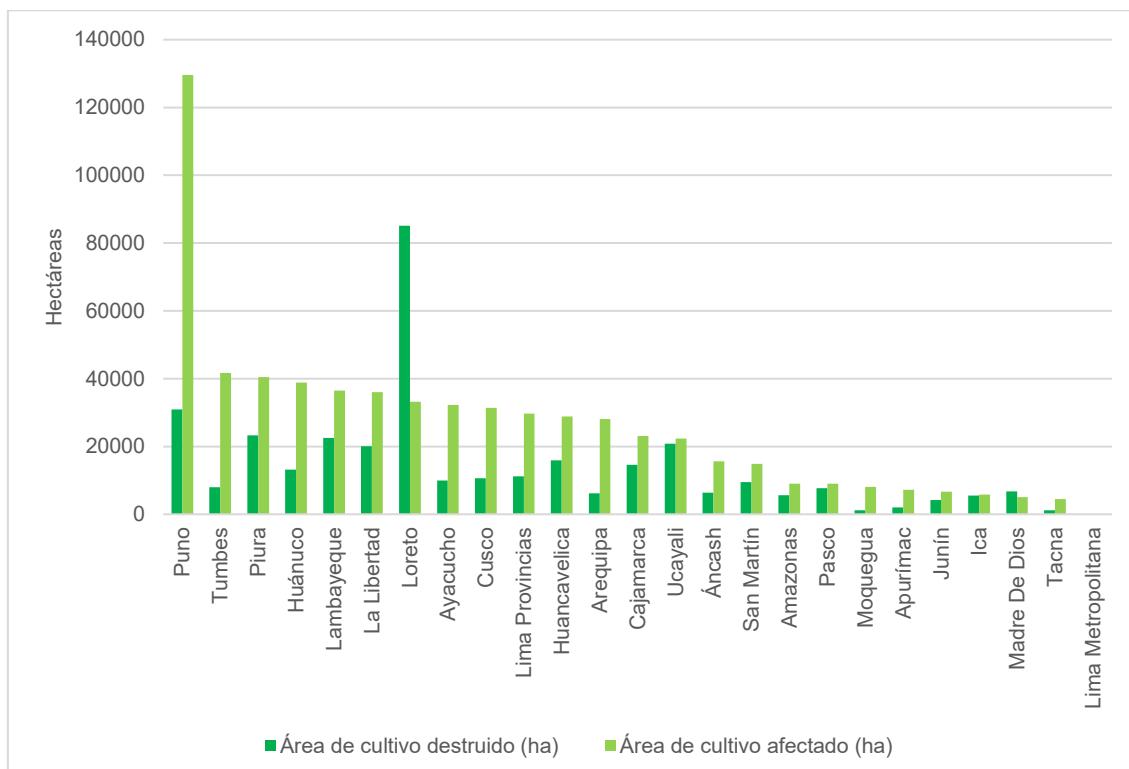
Tabla 4: Número acumulado de emergencias, área de cultivo afectado y destruido por lluvias intensas y peligros asociados por departamentos, en el periodo 2003-2024

Nº	Departamento	Nº de Emergencia	Área de cultivo destruido (ha)	Área de cultivo afectado (ha)
1	Amazonas	2 578	5 599.89	9 038.91
2	Áncash	3 214	6 365.985	15 662.111
3	Apurímac	4 942	2 023.953	7 210.092
4	Arequipa	1 956	6 178.688	28 067.173
5	Ayacucho	4 828	9 991.945	32 237.41
6	Cajamarca	4 840	14 596.874	23 072.021
7	Cusco	3 088	10 578.551	31 380.466
8	Huancavelica	4 643	15 862.327	28 832.914
9	Huánuco	2 681	13 144.395	38 855.1344
10	Ica	501	5 495.961	5 832.658
11	Junín	1 682	4 181.645	6 659.682
12	La Libertad	1 215	20 106.31	36 063.936
13	Lambayeque	566	22 537.756	36 525.421
14	Lima Metropolitana	895	90.251	12.001
15	Lima Provincias	1 866	1 1156.939	29 706.7112
16	Loreto	974	85 152.925	33 146.588
17	Madre De Dios	407	6 782.15	5 019.65
18	Moquegua	563	1 204.802	8 074.437
19	Pasco	2 447	7 690.546	9 011.67
20	Piura	2 024	23 278.735	40 448.911
21	Puno	1 416	30 884.282	129 579.133
22	San Martín	1 334	9 469.76	1 4874.5
23	Tacna	317	1 208.808	4 478.723
24	Tumbes	869	7 944.957	41 653.91
25	Ucayali	760	20 802.73	22 329.65

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

La Figura 7 permite observar la magnitud de la afectación al sector agrícola a nivel departamental, en términos de hectáreas de cultivos destruidos y afectados por lluvias intensas y peligros asociados durante el periodo 2003-2024. Se observa que Puno lidera ampliamente en superficie afectada, mientras que Loreto destaca por la mayor área de cultivos destruidos, a pesar de tener una superficie afectada relativamente menor. Asimismo, se puede apreciar la severidad y recurrencia de los daños agrícolas en la sierra sur, la costa norte y la Amazonía.

Figura 7: Número acumulado de área de cultivo afectada y destruida por lluvias intensas y peligros asociados, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

6.3. Incidencia de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados registrados en el departamento de Tumbes en el periodo 2003-2024

En el departamento de Tumbes se ha registrado un total de 869 emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el periodo 2003-2024, con incrementos significativos en los años 2010, 2012, 2017 y 2023, los dos últimos vinculados a la ocurrencia del fenómeno El Niño. Asimismo, se observa que el tipo de emergencia más recurrente corresponde a lluvias intensas con un total de 746 emergencias.

Las inundaciones son el segundo tipo de peligro más recurrente, alcanzando su valor máximo en el año 2012 con 17 emergencias. Sin embargo, en años críticos como 2017 y 2023, no se registraron cifras elevadas, a pesar de la presencia del fenómeno El Niño. Esta discrepancia podría deberse a que, en muchos casos, los subgerentes de gestión del riesgo de desastres registran en el SINPAD la

emergencia como lluvias intensas, en lugar del peligro desencadenado, como la inundación, lo cual podría replicarse también con otros tipos de peligros asociados.

Por otro lado, los eventos de derrumbes de cerro, deslizamiento y erosión son menos frecuentes en el departamento de Tumbes, presentando un total acumulado de 3, 13 y 23 emergencias, respectivamente.

Es relevante señalar que, pese a ser uno de los departamentos con menor superficie y población, Tumbes presenta una alta densidad de emergencias, lo cual evidencia una elevada vulnerabilidad frente a fenómenos hidrometeorológicos. Esta situación refuerza la necesidad de priorizar medidas de prevención y ordenamiento territorial en zonas críticas del departamento.

Tabla 5: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024

Año	Inundación	Lluvia intensa	Deslizamiento	Derrumbe de cerro	Erosión	Total
2003	0	6	0	0	0	6
2004	0	4	0	0	0	4
2005	0	2	0	0	1	3
2006	0	18	4	0	0	22
2007	0	2	0	0	0	2
2008	7	36	0	0	2	45
2009	6	34	2	1	2	45
2010	5	73	2	0	9	89
2011	1	8	0	0	0	9
2012	17	63	0	0	0	80
2013	0	14	1	0	2	17
2014	6	1	0	0	0	7
2015	10	37	0	0	0	47
2016	3	53	1	0	1	58
2017	5	124	1	0	1	131
2018	0	8	1	0	0	9
2019	7	26	0	0	0	33
2020	0	11	1	0	0	12
2021	8	45	0	2	1	56
2022	5	53	0	0	1	59
2023	3	112	0	0	3	118
2024	1	16	0	0	0	17

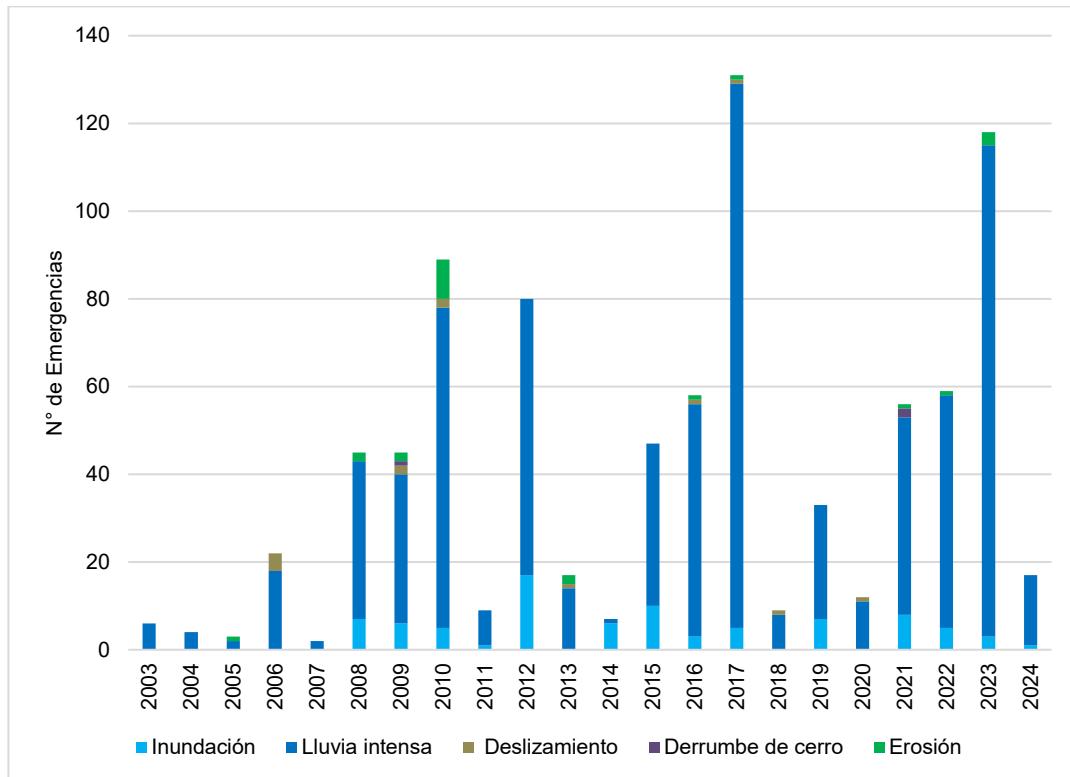
Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

La Figura 8 muestra la distribución anual del número de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes en el periodo 2003 y 2024. A partir del año 2008, se observa un incremento en la cantidad de emergencias, alcanzando los valores más altos en 2017 y 2023, años en los que se presentó el fenómeno El Niño y el ciclón Yaku respectivamente.

También se reportan, aunque en menor cantidad, otros tipos de peligros como inundaciones, deslizamientos, erosión y derrumbes de cerro, que ocurren de forma

más ocasional, pero muestran que las lluvias pueden causar diferentes tipos de daños.

Figura 8: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Con respecto al número de emergencias y personas afectadas por lluvias intensas y peligros asociados al departamento de Tumbes en el periodo 2003 – 2024, destaca el distrito de Tumbes, ya que presenta el mayor número de emergencias acumuladas con 179, además que concentra la mayor cantidad de damnificados (1 476) y afectados (134 223), esta última cifra es casi 15 veces mayor que el distrito de Aguas Verdes, reflejando su condición de vulnerabilidad frente a este tipo de peligros.

Le siguen en número de emergencias los distritos de Zarumilla (84), La Cruz (72), Pampas de Hospital (72), Casitas (71) y San Jacinto (70), distritos ubicados aguas debajo de las cuencas hidrográficas de Tumbes o adyacente a un cuerpo de agua como la quebrada Peña Blanca o el río Tumbes.

Con respecto al número de afectados acumulados, se observa que en diez de trece distritos se supera los diez mil casos, aunque los distritos de Aguas Verdes y Zorritos no distan mucho de esta cifra. En cuanto, al número de damnificados, el distrito de Casitas solo registró a 7 personas damnificadas en 21 años, seguido por el distrito de Canoas de Punta Sal con 54 personas. El distrito de Corrales, es el segundo

distrito con mayor número de damnificados y afectados, con 764 y 19 711, respectivamente.

Este panorama evidencia que la afectación no se distribuye de manera uniforme, y que ciertos distritos enfrentan altos niveles de riesgo. La información recopilada resulta clave para planificar intervenciones focalizadas en función del impacto acumulado y no solo del número de emergencias, permitiendo fortalecer la preparación y respuesta en los distritos más vulnerables.

Tabla 6: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024

Provincia	Distritos	Número de Emergencias	Número de Damnificados	Número de Afectados
Contralmirante Villar	Canoas de Punta Sal	26	54	11 543
	Casitas	71	7	14 559
	Zorritos	47	115	8 412
Tumbes	Corrales	61	358	10 860
	La Cruz	72	764	19 711
	Pampas de Hospital	72	111	18 945
	San Jacinto	70	159	17 154
	San Juan de La Virgen	45	126	12 699
	Tumbes	179	1 476	134 223
Zarumilla	Aguas Verdes	51	357	9 218
	Matapalo	49	266	18 079
	Papayal	42	171	12 527
	Zarumilla	84	360	14 450

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

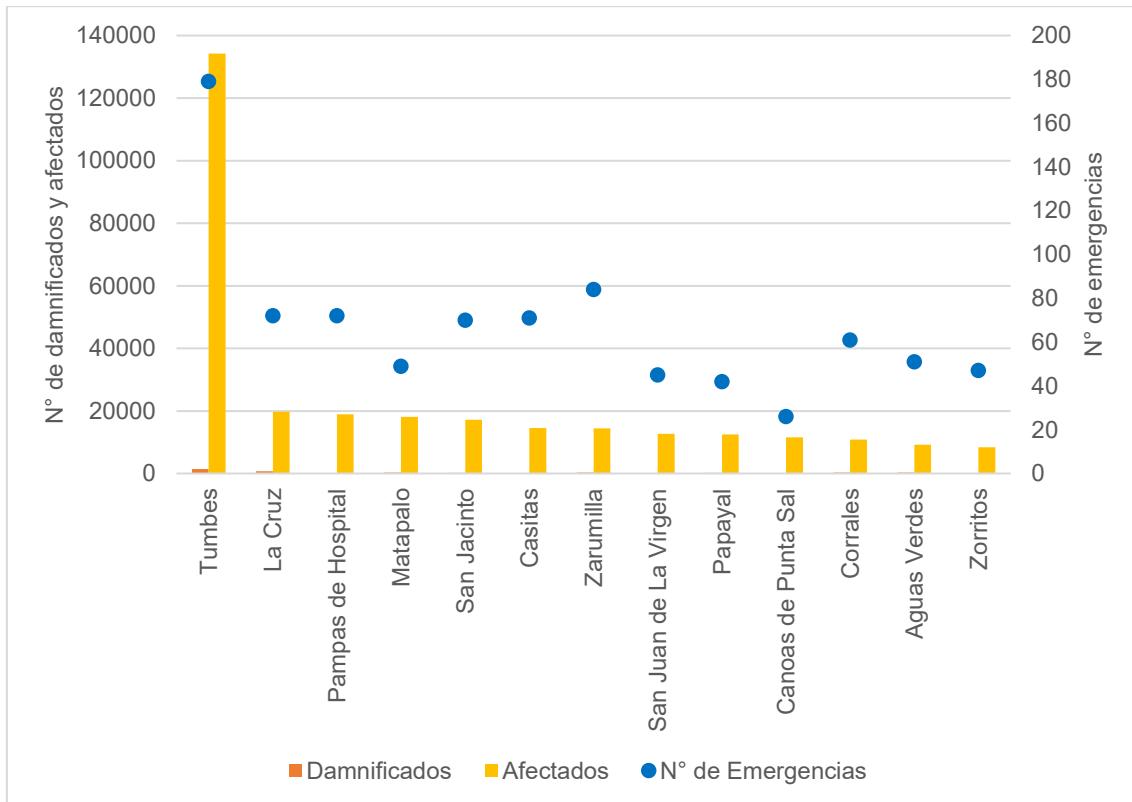
La Figura 9 presenta la distribución acumulada de damnificados y afectados por distrito del departamento de Tumbes durante el periodo 2003 y 2024. Se observa que los distritos de Canoas de Punta Sal, Casitas y Zorritos, pertenecientes a la provincia Contralmirante Villar, concentran los valores más bajos tanto de emergencias como de personas damnificadas y afectadas. Esta situación podría estar relacionada con su menor densidad poblacional, su ubicación geográfica y el menor desarrollo de actividades agrícolas intensivas, en comparación con otras provincias.

Por otro lado, los distritos de la provincia de Tumbes (Corrales, La Cruz, Pampas de Hospital, San Jacinto, San Juan de la Virgen y Tumbes) registran una mayor incidencia de emergencias, especialmente el distrito capital Tumbes, que destaca por su alto número de afectados, superando las 134 mil personas en el periodo analizado. Esto se explica por su localización aguas abajo del río Tumbes, en una zona de alta exposición, así como por su relieve y su alta concentración urbana.

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Asimismo, los distritos de la provincia de Zarumilla (Aguas Verdes, Matapalo, Papayal y Zarumilla) también reflejan una considerable afectación, tanto en número de damnificados como de emergencias reportadas.

Figura 9: Número acumulado de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Luego de revisar los registros de emergencias, número de damnificados y afectados por distrito, es importante también realizar un análisis a los daños del sector agrícola, segunda actividad económica principal en el departamento de Tumbes.

Los datos acumulados durante el periodo 2003 y 2024 muestran una afectación desigual en la cobertura vegetal del departamento de Tumbes, siendo los distritos de Tumbes, San Juan de la Virgen, Corrales y Pampas de Hospital los más impactados. El distrito de Tumbes encabeza la lista con más de 15 288 hectáreas afectadas y 1 323 hectáreas destruidas. Le sigue San Juan de la Virgen, con más de 7 100 hectáreas afectadas y 3 300 hectáreas destruidas, lo que lo posiciona como uno de los más afectados en términos de pérdida directa de cultivos.

Asimismo, distritos como Corrales, Pampas de Hospital, San Jacinto y Matapalo también presentan cifras considerables, con miles de hectáreas afectadas. En contraste, Zorritos, La Cruz, Canoas de Punta Sal, Zarumilla, Aguas Verdes y Casitas presentan un impacto bajo o nulo en cuanto a pérdida y afectación de área de cultivo.

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

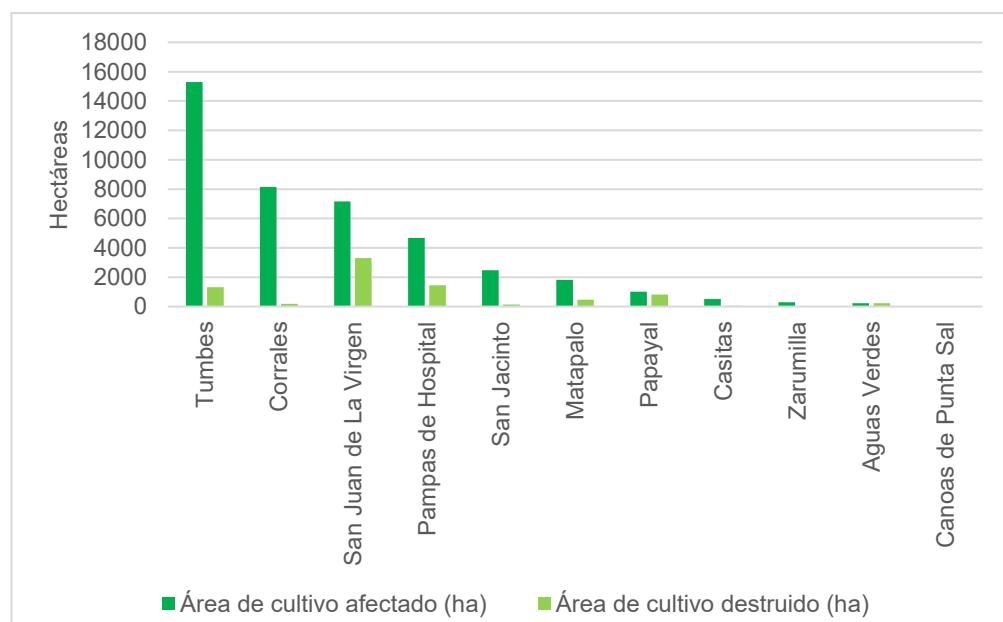
Tabla 7: Número acumulado de cobertura vegetal afectada y perdida por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024

Provincia	Distritos	Área de cultivo destruido (ha)	Área de cultivo afectado (ha)
Contralmirante Villar	Canoas de Punta Sal	4.25	8.75
	Casitas	50.01	515.25
	Zorritos	0.00	0.00
Tumbes	Corrales	177.00	8 143.50
	La Cruz	0.00	0.00
	Pampas de Hospital	1 450.61	4 684.02
	San Jacinto	135.50	2 485.00
	San Juan de La Virgen	3 303.49	7 173.29
Zarumilla	Tumbes	1 323.00	15 288.00
	Aguas Verdes	228.00	218.00
	Matapalo	466.10	1 815.10
	Papayal	807.00	1 023.00
	Zarumilla	0.00	300.00

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

La Figura 10 muestra diferencias importantes en el impacto agrícola entre los distritos del departamento de Tumbes, siendo el distrito de Tumbes el más afectado. También se observa que los distritos ubicados cerca del río Tumbes, en su mayoría pertenecientes a la provincia de Tumbes, concentran los mayores niveles de afectación. Una excepción es el distrito de La Cruz, que no presenta registros de afectación durante el periodo analizado, lo que podría deberse a una ausencia real de daños, a la falta de actividad agrícola o a posibles limitaciones en el registro de información en el SINPAD. Esta situación también podría haber ocurrido en el distrito de Zorritos.

Figura 10: Número acumulado de Área de cultivo destruido y Área de cultivo afectado por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

Las lluvias intensas y peligros asociados durante los años 2003 – 2024, no solo han generado afectación en el sector agrícola, sino también en viviendas, centros de salud, centros educativos y carretera.

El distrito de Tumbes presenta con amplia diferencia la mayor afectación en infraestructura a nivel regional. Se reportan más de 47 625 vivienda afectadas y también 255 viviendas destruidas, así como 79 centros de salud afectados y 201 centros educativos afectados.

Por otro lado, distritos como La Cruz, Matapalo, Pampas de Hospital y Zarumilla también muestran un impacto considerable, con más de 5 mil viviendas afectadas cada uno y daños significativos en vías, escuelas y centros de salud. La Cruz, en particular, reportó 96 centros educativos afectados, siendo el distrito con más daños en este sector luego del distrito Tumbes.

Tabla 8: Número acumulado de Infraestructura destruida y afectada por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2003-2024

Provincia	Distritos	Viviendas afectadas	Viviendas destruidas	Centros de salud afectados	Centros educativos destruidos	Centros educativos afectados
Contralmirante Villar	Canoas de Punta Sal	3 589	13	4	0	24
	Casitas	3 342	2	2	0	9
	Zorritos	2 790	14	8	1	38
Tumbes	Corrales	1 622	54	0	0	10
	La Cruz	5 415	51	3	1	96
	Pampas de Hospital	5 209	44	17	4	50
	San Jacinto	3 638	58	10	0	20
	San Juan de La Virgen	3 407	40	5	3	39
	Tumbes	47 625	255	79	6	201
Zarumilla	Aguas Verdes	1 943	263	6	0	7
	Matapalo	5 341	90	1	10	9
	Papayal	2 803	22	17	0	61
	Zarumilla	5 918	141	4	0	24

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).

6.4. Reporte de daños por lluvias intensas y peligros asociados registrados en el departamento de Tumbes en los meses de febrero y marzo del año 2025

Durante el año 2025, en los meses de febrero y marzo, el departamento de Tumbes enfrentó 57¹ emergencias por lluvias intensas e inundaciones, con una afectación visible tanto en número de damnificados como de personas afectados. La provincia de Zarumilla destaca por registrar el mayor número de emergencias, siendo el distrito de Aguas Verdes el más afectado con 7 emergencias, 317 damnificados y 1 457 personas afectadas. Le siguen Papayal y Zarumilla, que también presentan cifras elevadas.

¹ Información proporcionada por el Centro de Operaciones de Emergencia Nacional

En la provincia de Tumbes, el distrito que presenta un mayor número de afectados es Pampas de Hospital, que con solo 4 emergencias reporta 2 504 personas afectadas, lo que indica que estos eventos tuvieron un impacto muy amplio sobre la población local. También destaca el distrito de San Juan de la Virgen, que con 5 emergencias registra la mayor cantidad de damnificados (439), a pesar de tener un número reducido de personas afectadas. En general, la provincia de Tumbes concentra varios distritos con afectaciones relevantes, tanto en número de damnificados como de afectados.

En cuanto a la provincia de Contralmirante Villar, los distritos presentan cifras más moderadas en comparación con otras provincias, con excepción de Casitas que reporta 1 752 personas afectadas en solo 5 emergencias. Por su parte, Zorritos y Canoas de Punta Sal registraron tres emergencias cada uno y un menor número de personas afectadas; sin embargo, Zorritos reportó la mayor cantidad de damnificados en la provincia. En conjunto, los mayores impactos sobre la población se han registrado en distritos de la provincia de Tumbes como Pampas de Hospital y Tumbes, lo cual pone en evidencia la necesidad de seguir fortaleciendo la gestión del riesgo a escala local.

Tabla 9: Número acumulado de emergencias, damnificados y afectados por Inundaciones y lluvias del departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

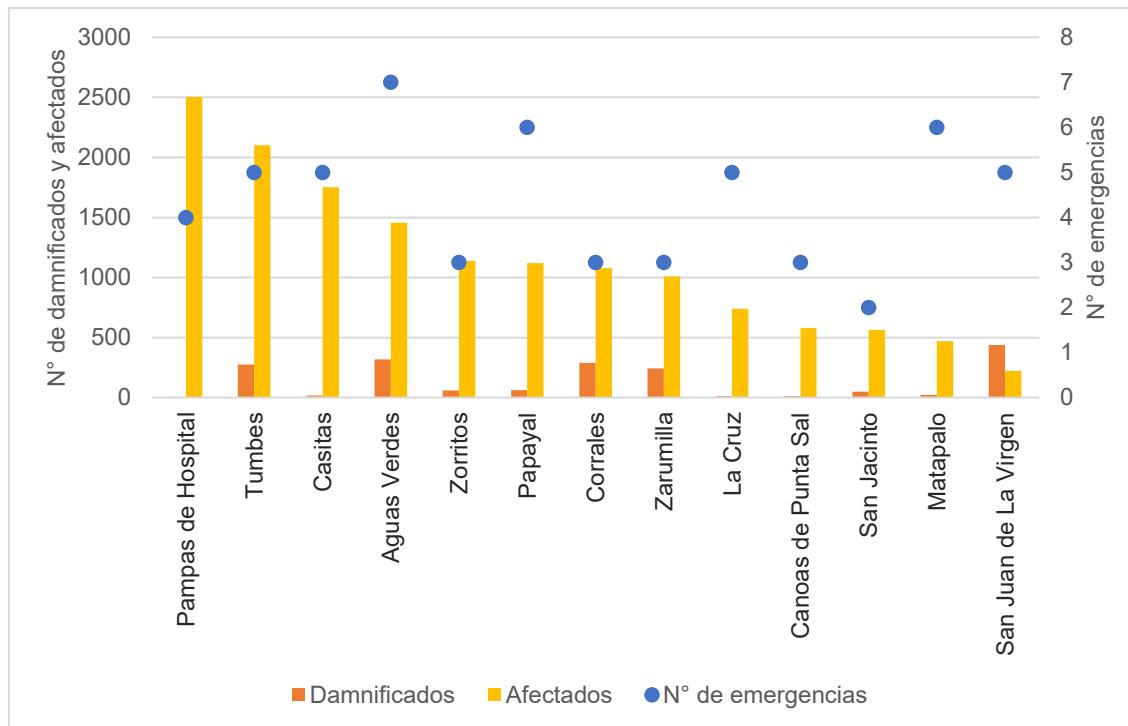
Provincia	Distritos	Número de Emergencia	Número de Damnificados	Número de Afectados
Contralmirante Villar	Canoas de Punta Sal	3	11	578
	Casitas	5	16	1 752
	Zorritos	3	59	1 140
Tumbes	Corrales	3	288	1 078
	La Cruz	5	12	739
	Pampas de Hospital	4	5	2 504
	San Jacinto	2	49	563
	San Juan de La Virgen	5	439	222
	Tumbes	5	276	2 101
Zarumilla	Aguas Verdes	7	317	1 457
	Matapalo	6	22	471
	Papayal	6	61	1 121
	Zarumilla	3	244	1 007

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), reporte del 27 de mayo del 2025.

La Figura 11 muestra que, durante el año 2025, Pampas de Hospital se posicionó como el distrito con mayor número de personas afectadas en el departamento de Tumbes, a pesar de no tener el mayor número de emergencias registradas.

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 11: Número acumulado de emergencia, damnificados y afectados por distrito del departamento de Tumbes, en el periodo 2025



Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), reporte del 27 de mayo del 2025.

Para una mejor observación de los daños registrados en el SINPAD por los subgerentes de Gestión de Riesgo de Desastre de cada municipalidad, se elaboró la Tabla 10 por cada emergencia registrada, tipo de peligro, número de damnificados, número de afectados y la cantidad de cultivos afectados y perdidos a nivel distrital.

Tabla 10: Emergencias registradas en el SINPAD a nivel de distrito del departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Provincia	Distrito	Fechas de emergencias	Tipo de peligro	Código SINPAD	Damnificado	Afectados	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)
Contralmirante Villar	Canoas de Punta Sal	24/02/2025	Lluvias intensas	225178		46	0	0
		27/02/2025	Lluvias intensas	225701		51	0	0
		28/02/2025	Lluvias intensas	226196	11	481	0	0
	Casitas	11/02/2025	Lluvias intensas	221115		54	0	0
		22/02/2025	Lluvias intensas	224387		43	0	0
		26/02/2025	Lluvias intensas	225479		41	0	0
		27/02/2025	Lluvias intensas	225920	16	1 569	0	0
		6/03/2025	Lluvias intensas	227677		45	8	11.25
	Zorritos	17/02/2025	Lluvias intensas	222444		88	0	0
		21/02/2025	Lluvias intensas	224376	48	808	0	0
		26/03/2025	Lluvias intensas	231974	11	244	0	0
Tumbes	Corrales	17/02/2025	Inundación por desborde río	222596			37.89	
		1/03/2025	Inundación por desborde río	226249	4			1 884.93
		21/02/2025	Lluvias intensas	224389	284	1078		
	La Cruz	17/02/2025	Lluvias intensas	222519	1	61		
		22/02/2025	Lluvias intensas	224469		361		

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Provincia	Distrito	Fechas de emergencias	Tipo de peligro	Código SINPAD	Damnificado	Afectados	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)
Tumbes	Pampas de Hospital	28/02/2025	Lluvias intensas	226052	6	96		
		3/03/2025	Lluvias intensas	226373	5	185		
		28/03/2025	Lluvias intensas	232447		37		
Tumbes	San Jacinto	17/02/2025	Lluvias intensas	222425		8		
		1/03/2025	Lluvias intensas	226245			247.8	
		1/03/2025	Lluvias intensas	226299		1 057		
		28/03/2025	Lluvias intensas	232364	5	1 439		
Tumbes	San Juan de La Virgen	22/02/2025	Lluvias intensas	224412	34	561		
		1/03/2025	Inundación por desborde río	226287	15	2	1 249.92	
Tumbes	Tumbes	13/02/2025	Lluvias intensas	221839		22		
		17/02/2025	Lluvias intensas	222397		20		
		22/02/2025	Lluvias intensas	224365	1	65		
		27/02/2025	Lluvias intensas	225938	42	115		
		1/03/2025	Lluvias intensas	226252	396		822.17	
Zarumilla	Aguas Verdes	17/02/2025	Lluvias intensas	223180		52		
		22/02/2025	Lluvias intensas	224723	25	496		
		26/02/2025	Lluvias intensas	225628	26	593		
		1/03/2025	Lluvias intensas	226237	68	910	479.99	
		1/03/2025	Inundación por desborde río	226232	157	50		
		16/02/2025	Lluvias intensas	222591	4	17		
		21/02/2025	Lluvias intensas	224377		137		
	Matapalo	26/02/2025	Lluvias intensas	225581	4	160		
		28/02/2025	Lluvias intensas	226008	7	115	605.28	64.5
		1/03/2025	Lluvias intensas	226234	97	375		
Zarumilla	Papayal	7/03/2025	Lluvias intensas	227929	3	649		
		3/03/2025	Inundación por desborde río	226675	202	4		
		6/02/2025	Lluvias intensas	220377		27		
		16/02/2025	Lluvias intensas	222408	5	46		
		22/02/2025	Lluvias intensas	224534		51		
		27/02/2025	Lluvias intensas	226077		83		
		7/03/2025	Lluvias intensas	227809	16	155		
	Zarumilla	27/03/2025	Lluvias intensas	232412	1	109	313.7	2
Zarumilla	Papayal	13/02/2025	Lluvias intensas	221871	5	27		
		16/02/2025	Lluvias intensas	222461		21		
		21/02/2025	Lluvias intensas	224452	28	191		
		1/03/2025	Lluvias intensas	226303	22	663		
		6/03/2025	Lluvias intensas	227995		114	640.35	1
		27/03/2025	Lluvias intensas	232369	6	105		
	Zarumilla	16/02/2025	Lluvias intensas	222431	73			
Zarumilla	Zarumilla	1/03/2025	Lluvias intensas	226198	162	470	36.25	
		7/03/2025	Lluvias intensas	227777	9	537		

Nota. Adaptada de Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), reporte del 27 de mayo del 2025.

6.5. Comportamiento hidrológico del río Tumbes en el primer trimestre del año 2025

Los datos presentados provienen del Reporte Hidrológico de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), que analiza el comportamiento hidrológico de los principales ríos del país. La información sobre el caudal instantáneo (m^3/s) es proporcionada por las estaciones del SENAMHI. En el caso específico de la cuenca del río Tumbes, se dispone de los datos registrados en las estaciones de Cabo Inga, El Tigre y Puente Tumbes. De acuerdo a (Montesinos Cáceres, 2018), cuando se le da la categoría

de rojo significa que es casi inminente el desborde del río y hay altas posibilidades de inundaciones en las zonas pobladas y agrícolas más bajas, además de la erosión de márgenes y afectación en infraestructura dentro del ámbito directo o cercano al río. Asimismo, al superar el umbral naranja se esperan condiciones de riesgo para actividades en el río y zonas aledañas, con probable erosión de márgenes y afectación en infraestructura dentro del ámbito directo o cercano al río.

A continuación, se presentan los gráficos que muestran la variación del caudal (m^3/s) del río Tumbes durante los meses de febrero y marzo de 2025, periodo en el que se registraron valores por encima de los umbrales de riesgo establecidos por SENAMHI.

El umbral naranja, fijado en $800 m^3/s$, indica condiciones de riesgo para actividades en el río y sus alrededores, con posible erosión de márgenes y afectación a infraestructuras ubicadas en zonas cercanas al cauce. Por su parte, el umbral rojo, establecido en $1000 m^3/s$, señala una alta probabilidad de desborde del río, con potencial de inundación en áreas pobladas y agrícolas más bajas, así como daños por erosión y afectación directa a infraestructuras en la zona de influencia del río.

La estación Cabo Inga se encuentra ubicado aguas arriba del río Tumbes, cerca del límite en donde el río Puyango, proveniente del Ecuador, adopta el nombre de río Tumbes al ingresar al territorio peruano.

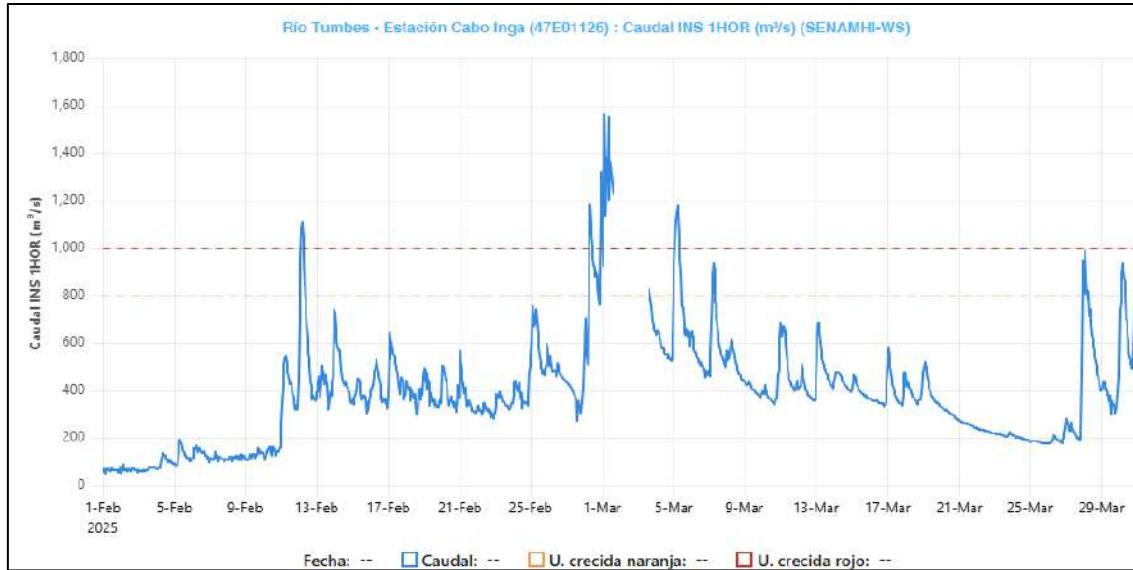
En la Figura 12 se observa un incremento gradual del caudal a partir del 10 de febrero, alcanzando un primer pico el 12 de febrero, cuando se superó el umbral rojo con un valor máximo de $1\ 097 m^3/s$. En los días siguientes, se registraron nuevos aumentos importantes, destacando el periodo entre el 28 de febrero y el 1 de marzo, cuando el caudal volvió a superar el umbral rojo. El valor más alto se alcanzó el 1 de marzo, con $1\ 565 m^3/s$, siendo este el máximo registrado en los meses de febrero y marzo.

Durante la primera semana de marzo continuaron los incrementos de caudal, con un tercer pico registrado el 5 de marzo ($1\ 179 m^3/s$). Posteriormente, aunque los valores disminuyeron, se mantuvieron por encima de los $200 m^3/s$ durante el resto del mes. El 30 de marzo se produjo un nuevo repunte, alcanzando los $937 m^3/s$.

Este comportamiento hidrológico refuerza la necesidad de una vigilancia constante, ya que la persistencia y recurrencia de caudales elevados incrementa el riesgo de afectaciones a la población, infraestructura y actividades agrícolas en las zonas ribereñas del río Tumbes.

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 12: Variación del caudal (m^3/s) en la estación Cabo Inga en el periodo febrero - marzo 2025.



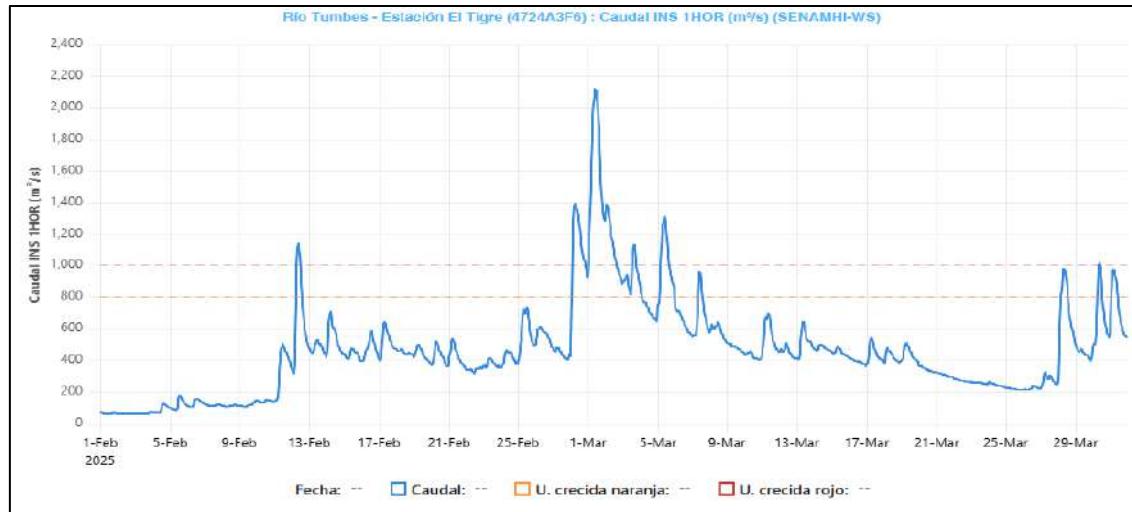
Nota. De "Observatorio Nacional de los Recursos Hídricos" por Autoridad Nacional del Agua (ANA).

La estación el Tigre se encuentra ubicado en la cuenca intermedia del río Tumbes, en el distrito de San Jacinto, provincia de Tumbes. La Figura 13 muestra la variación del caudal durante los meses de febrero y marzo del 2025, evidenciando un comportamiento similar al observado en la estación Cabo Inga, con aumentos progresivos del caudal a partir del 10 de febrero, alcanzando un primer pico el 12 de febrero, cuando se superó el umbral rojo con un valor de $1\ 140\ m^3/s$.

Durante los días siguientes, los caudales se mantuvieron por encima de los $400\ m^3/s$ hasta el 28 de febrero, fecha en la que se registró un segundo pico de $1\ 391\ m^3/s$, también por encima del umbral rojo. El 1 de marzo se alcanzó el valor más alto del periodo, con un caudal de $2\ 107\ m^3/s$, superando el registro máximo de la estación Cabo Inga y generando afectaciones sobre las zonas aledañas al río Tumbes.

Posteriormente, en la primera semana de marzo se identificaron varios picos adicionales, los días 3 y 5, con valores que superaron los umbrales de alerta. Hacia fines de marzo, específicamente el 30 y 31, se registraron nuevos aumentos importantes, con valores por encima de los $1\ 000\ m^3/s$, lo que confirma la persistencia de condiciones hidrológicas críticas durante todo el periodo analizado.

Figura 13: Variación del caudal (m^3/s) en la estación El Tigre en el periodo febrero – marzo 2025

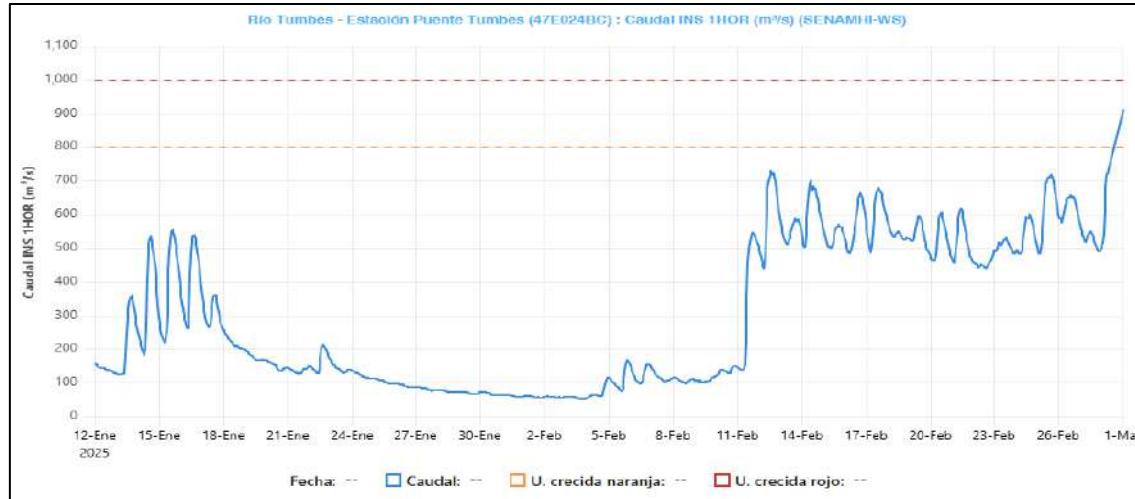


Nota. De “Observatorio Nacional de los Recursos Hídricos” por Autoridad Nacional del Agua (ANA).

La Figura 14, muestra la variación del caudal del río Tumbes en la estación Puente Tumbes, ubicado aguas abajo del río, entre el 12 de enero y el 1 de marzo del 2025. Se intentó abarcar todo el mes de marzo, pero la página de SENAMHI presenta problemas. Por otro lado, durante la segunda quincena de enero se observan varios picos de caudal, alcanzando un valor cercano a los $500\text{ m}^3/\text{s}$ el 17 de enero, lo que indica lluvias intensas en la parte alta de la cuenca. Posteriormente, el caudal desciende gradualmente hasta llegar a niveles bajos en los primeros días de febrero, manteniéndose por debajo de los $200\text{ m}^3/\text{s}$.

A partir del 11 de febrero se produce un incremento sostenido del caudal, con una serie de eventos que superan los $500\text{ m}^3/\text{s}$ y se aproximan al umbral de alerta naranja ($800\text{ m}^3/\text{s}$). Esta situación se vuelve a repetir en quincena de marzo hasta el 1 de marzo, en donde el caudal alcanzó un valor de $1\ 000\text{ m}^3/\text{s}$, lo que sugiere afectaciones en zonas aledañas al río Tumbes.

Figura 14: Variación del caudal (m^3/s) en la estación Puente Tumbes en el periodo febrero – marzo 2025



Nota. De "Observatorio Nacional de los Recursos Hídricos" por Autoridad Nacional del Agua (ANA).

6.6. Precipitación acumulada en los meses de febrero y marzo en el departamento de Tumbes

El departamento de Tumbes cuenta con 11 estaciones meteorológicas operativas, tanto convencionales como automáticas, administradas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Estas estaciones han permitido recopilar información sobre la precipitación acumulada durante los meses de febrero y marzo de 2025, teniendo en cuenta que en estos meses se tiene mayor incidencia de emergencias por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento acorde a las estadísticas del SINPAD.

La provincia de Tumbes concentra la mayor cantidad de estaciones, con un total de siete, seguida por Zarumilla con tres estaciones, y finalmente Contralmirante Villar, que solo cuenta con una estación meteorológica. Esta distribución refleja una priorización hacia la provincia de Tumbes, puesto que la mayoría de sus distritos interactúa con el río Tumbes, así como una elevada incidencia de emergencias, damnificados y afectados reportados históricamente.

Las estaciones meteorológicas del departamento se encuentran ubicadas tanto en zonas elevadas como en áreas de baja altitud, lo que permite obtener información detallada sobre las precipitaciones que se originan en las partes alta, media y baja de la cuenca. Además, cinco de estas estaciones se localizan en zonas por debajo de los 100 m.s.n.m., lo que facilita una vigilancia constante en los valles costeros, donde suelen concentrarse las mayores afectaciones.

Por otro lado, se identifica una limitación importante en la provincia de Contralmirante Villar, donde solo se cuenta con una estación meteorológica ubicada en el distrito de Casitas. Esta baja densidad de estaciones representa una desventaja para el seguimiento y la caracterización del comportamiento de las precipitaciones en esta provincia.

A continuación, se presenta la ubicación de cada estación meteorológica:

Tabla 11: Estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes

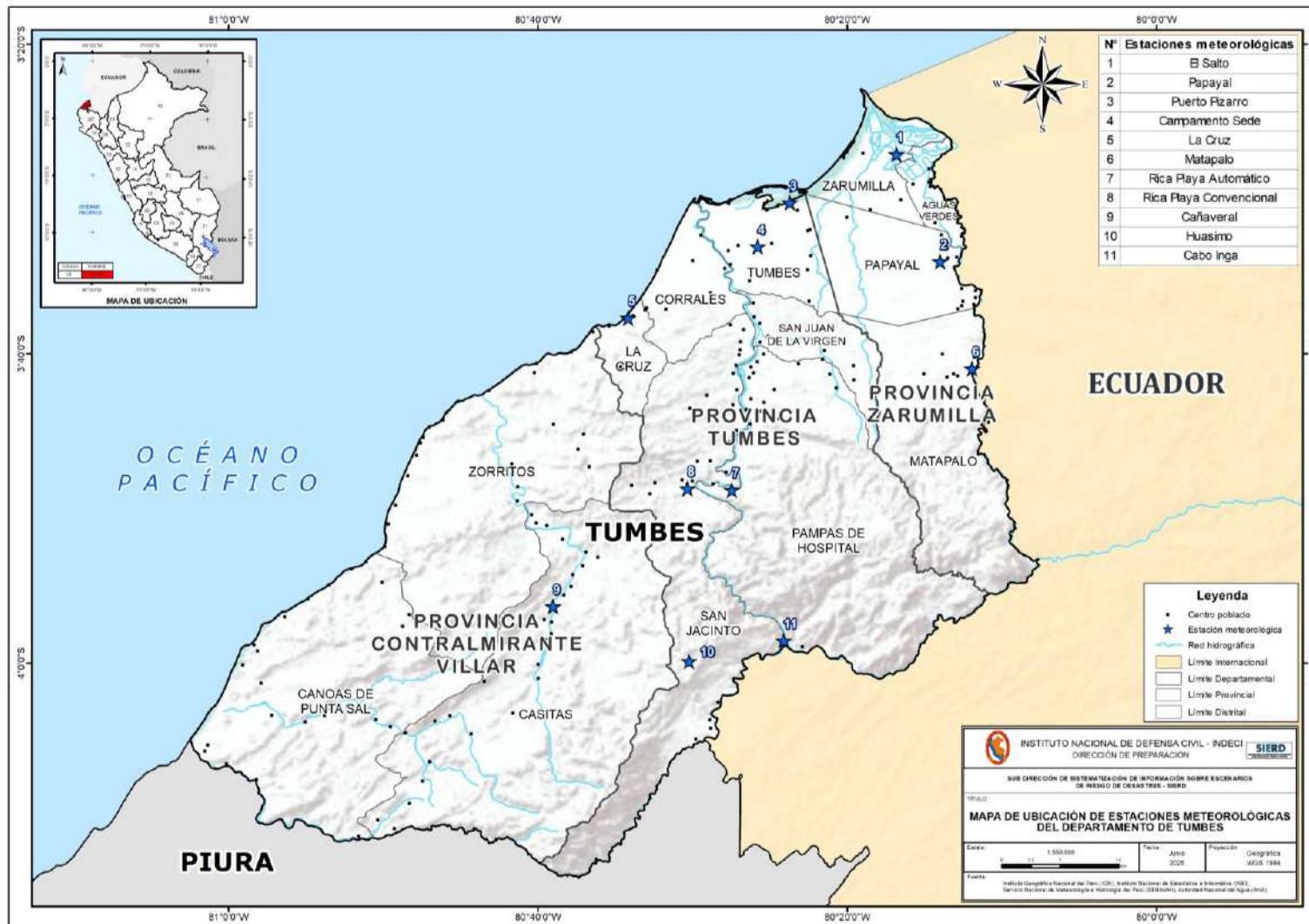
Nº	Estaciones	Provincia	Distrito	Longitud	Latitud	Altitud	Tipo
1	El Salto	Zarumilla	Zarumilla	80°16'48.72" W	3°27'6.15" S	4	Convencional - Meteorológica
2	Papayal	Zarumilla	Papayal	80°13'59.65" W	3°34'2.36" S	50	Convencional - Meteorológica
3	Puerto Pizarro	Tumbes	Tumbes	80°23'42.14" W	3°30'13.67" S	6	Convencional - Meteorológica
4	Campamento Sede	Tumbes	Tumbes	80°25'46.64" W	3°33'4.14" S	17	Automática - Meteorológica
5	La Cruz	Tumbes	La Cruz	80°34'9.36" W	3°37'41.85" S	6	Convencional - Meteorológica
6	Matapalo	Zarumilla	Matapalo	80°11'54.64" W	3°40'57.94" S	62	Automática - Meteorológica
7	Rica Playa	Tumbes	Pampas de Hospital San Jacinto	80°27'27" W	3°48'48" S	113	Automática - Meteorológica
8	Rica Playa	Tumbes	San Jacinto	80°30'19.65" W	3°48'42.84" S	68	Convencional - Meteorológica
9	Cañaveral	Contralmirante Villar	Casitas	80°39'1.98" W	3°56'20.58" S	133	Automática - Meteorológica
10	Huasimo		San Jacinto	80°30'14.09" W	3°59'53.34" S	607	Automática - Meteorológica
11	Cabo Inga		San Jacinto	80°24'6.54" W	3°58'33.39" S	231	Automática - Meteorológica

Nota. De "Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional" por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En la Figura 15 se muestra la distribución de las estaciones meteorológicas en las tres provincias del departamento de Tumbes. Se observa que solo en la provincia de Tumbes se cuenta con estaciones ubicadas en la cuenca alta, media y baja, y en su mayoría adyacentes al río Tumbes, lo que permite una mejor caracterización del comportamiento de las precipitaciones. Esta situación no se repite en las demás provincias, con excepción de Zarumilla, que dispone de tres estaciones localizadas en las zonas media y baja del río Zarumilla.

En la Tabla 11Tabla 12 y Tabla 13, se muestra información de precipitación acumulada por día durante los meses de febrero y marzo del 2025, respectivamente, en el departamento de Tumbes.

Figura 15: Mapa de ubicación de estaciones meteorológicas en el departamento Tumbes.



Nota. Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN), Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI)

Tabla 12: Precipitación acumulada durante el mes de febrero del 2025 de las estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes

AÑO / MES / DÍA	EL SALTO	PAPAYAL	PUERTO PIZARRO	CAMPAMENTO SEDE	LA CRUZ	MATAPALO	RICA PLAYA AUTO.	RICA PLAYA CONV.	CAÑAVERAL	HUASIMO	CABO INGA
1/02/2025	0	0	0	0.1	0	0.3	0.2	0.4	0	0.2	0
2/02/2025	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0
3/02/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
4/02/2025	0	0	0	0	0	1.3	0	2.1	0	0	0.1
5/02/2025	0	0	0	0	0	1.2	2.2	0.1	0.5	4.7	3.5
6/02/2025	0.7	1.1	0	0	0	6.4	0.5	0.6	0.3	0.9	1.5
7/02/2025	4.6	3.1	0	0.3	0.5	20	0	2	0	0.2	0.2
8/02/2025	0	0.7	0.6	1.9	6.5	6.4	9.9	11.5	6.7	3	3.5
9/02/2025	0	5.9	0.6	0.6	0	0.1	1	6.5	3.3	2.4	1.4
10/02/2025	6.6	2.8	1.6	1.5	0	4.3	5.5	0.9	8.9	19.3	7.7
11/02/2025	0	0	0	0.6	0	3.5	1.4	0.8	0	0.8	12.6
12/02/2025	0	0	0	0.2	0	0.1	0	0	0	2.2	0.4
13/02/2025	2.7	24.7	10.6	0	3.5	13.1	17.4	24.9	0	8.8	9.9
14/02/2025	19.2	54.2	28.6	2.9	1	1.4	1.6	0	0.6	0.4	9.5
15/02/2025	0	0	0	0.9	0	20.5	0	0	0	0	0.1
16/02/2025	43.5	51.3	36.2	0.7	0	0.5	0	5.3	0	0	0.2
17/02/2025	0	0	0	8.5	1.4	23.7	9.4	4.5	4.9	3.1	10.6
18/02/2025	0	0.5	0	0.1	0	0.4	4.2	4.4	0.1	29.5	22.8
19/02/2025	0.3	0.3	0	0	0	0.7	0.1	2	0	1.5	6.8
20/02/2025	0	1.7	0	0.2	3.7	1.8	2	2.4	0.6	5.8	5.1
21/02/2025	186.4	35.8	90.6	0.2	42.8	6	6.5	15.7	5.4	12.2	18.4
22/02/2025	11.3	50.7	67	103	53.4	51.3	72.3	74.7	34	16.9	22.7
23/02/2025	48	44.5	43.2	31.3	80	36.6	13.3	33.5	20.2	39.5	10.1
24/02/2025	2.9	7.1	12.4	46.7	0	15	12.1	7	17.2	6.2	11.5
25/02/2025	27	25.6	22.4	1.9	8.8	2.5	0.5	27.2	21.7	15.8	23.7
26/02/2025	0.3	0.4	1.2	12.2	0	13.6	24.4	0	22.9	22.4	19.1
27/02/2025	49.7	51	62.8	25.8	10.9	30	35	53.2	8.2	17.8	32.4
28/02/2025	20	50.8	67.4	31.7	0.6	15.7	10.1	62.6	32.1	12.9	24.9

Nota: De "Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional" por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Tabla 13: Precipitación acumulada durante el mes de marzo del 2025 de las estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes

AÑO / MES / DÍA	EL SALTO	PAPAYAL	PUERTO PIZARRO	CAMPAMENTO SEDE	LA CRUZ	MATAPALO	RICA PLAYA AUTO	RICA PLAYA CONV	CAÑAVERAL	HUASIMO	CABO INGA
1/03/2025	42	33.5	5.6	15.1	3.1	45.3	81.2	44.2	2.3	69.5	56.1
2/03/2025	44	41	58	0.7	64.2	0.2	1.3	14.1	0.5	2.3	1.1
3/03/2025	0.3	1.4	0	49.6	2	35.9	12.7	1.7	7.2	6.2	13.3
4/03/2025	0	0	0	0.3	0	0.3	0	0	0.1	6.9	0.8
5/03/2025	0	0.5	0	0.6	0	18.3	0.1	0	0	22.8	0.2
6/03/2025	23.5	40.1	1.4	0.1	0	2	0	0	0.3	0.2	0.1
7/03/2025	0	0	0	3.3	0	14.9	0	0	2.7	5.4	27.5
8/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
9/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	3.6	0.3	0
10/03/2025	3.7	5.7	0	0.1	0	6.1	0	0	0	5.2	0.8
11/03/2025	0.6	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0
12/03/2025	0	1	0	0.3	0	5.7	0.2	0	0	0.4	3.4
13/03/2025	0	2.1	0	0	0	1	0	0	0	12.4	12.2
14/03/2025	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.2	1.6
15/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
16/03/2025	0	0.3	0	0	0	1.5	1.4	1.8	0	0.6	0.9
17/03/2025	0	7.5	0	0	0	0	0	0	0	8.5	0.9
18/03/2025	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4	9.2	1.3	2.8
19/03/2025	0	0	0	0	0	0	0.3	0	0.2	0.1	0.1
20/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.4
22/03/2025	0	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0.1
23/03/2025	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	1	5
24/03/2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.2
25/03/2025	3.6	1.3	4.2	0	3.8	0	0	21.3	0	0.2	0
26/03/2025	0	0	0	2.1	0	7.1	19.6	0.3	6.1	16.4	20.8
27/03/2025	33.5	98.2	28.8	9.7	20.1	33.4	8.7	12.2	6.8	13.1	9.6
28/03/2025	0.2	0	0	11.2	0	30.5	2.4	0	0.5	0.9	1.7
29/03/2025		0	0	0	0	0.9	0.1	1.3	3	3.8	9.7
30/03/2025		5.7	0	0	13.2	10.4	1.5	10.6	0.9	6.2	7
31/03/2025	0	0	0	0.4	0	8.4	8.2	0	0.7	1.4	2.7

Nota: De “Datos Hidrometeorológicos a Nivel Nacional” por Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En los meses de febrero y marzo de 2025, los datos de precipitación registrados en las estaciones meteorológicas del departamento de Tumbes muestra una marcada concentración de lluvias intensas, entre el 13 y 28 de febrero, del 01 al 07 de marzo y los últimos días de marzo, del 25 al 28 de marzo.

Durante febrero, se destacan eventos extremos de precipitación como el del 21 de febrero, donde estaciones como El Salto y Puerto Pizarro registraron 186.4 mm y 90.6 mm, respectivamente, y el día 22 de febrero, Campamento Sede reportó 103 mm acumulados en un solo día. Esta tendencia continuó hasta cerrar el mes con incrementos de precipitación en los días 23, 24, 27 y 28 con 80 mm, 46.7 mm, 62.8 mm, 67.4 mm, respectivamente.

En marzo, aunque la cantidad de días con lluvias intensas fue menor, también se registraron eventos relevantes, como el 1 y 2 de marzo, con precipitaciones fuertes en estaciones como Rica Playa tipo automático (81.2 mm), Huasimo (69.5 mm), La Cruz (64.2 mm), Cabo Inga (56.1 mm) y Puerto Pizarro (58 mm), coincidiendo con el incremento del caudal del río Tumbes observado en las estaciones hidrológicas. Hacia finales de marzo, el día 27 se registró un pico de 98.2 mm en la estación Papayal, lo que señala la continuación de eventos lluviosos propios de la temporada.

Los registros de precipitación no solo coinciden con los picos de caudal reportados en las estaciones de Cabo Inga y El Tigre, sino también con las emergencias registradas en el SINPAD por parte de los responsables de la subgerencia de gestión del riesgo de desastres de las municipalidades o el que haga sus veces, las cuales reportaron afectaciones a la población, sus medios de vida e infraestructura. Además, la información sistematizada de las estaciones meteorológicas e hidrológicas del SENAMHI para el periodo febrero y marzo del 2025, permitió validar las fechas de ocurrencia de las emergencias, ya que se han identificado casos en los que los responsables no registraron el evento el mismo día, sino al día siguiente o, en algunos casos, no lo hicieron.

6.7. Eventos del fenómeno El Niño en el departamento de Tumbes

Se listan los eventos El Niño costero desde el año 2003, según el criterio establecido por el ENFEN en 2012, utilizando el ICEN con datos de ERSSTv5. Este índice mide las anomalías de la temperatura superficial del mar en la región Niño 1+2 durante tres meses consecutivos, asignando categorías de "condiciones frías" o "cálidas" con magnitudes como Débil, Moderada, Fuerte o Extraordinaria. Un evento El Niño se caracteriza por condiciones cálidas durante al menos tres meses. La magnitud del evento se determina por la mayor anomalía alcanzada durante esos meses consecutivos.

Tabla 14: Eventos El Niño Costero registrados de 2003 a 2025

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración	Magnitud
2006	8	2007	1	6	Débil
2008	3	2008	9	7	Débil
2009	5	2009	9	5	Débil

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración	Magnitud
2012	3	2012	7	5	Débil
2014	5	2014	11	7	Débil
2015	4	2016	7	16	Fuerte
2016	12	2017	5	6	Moderado
2018	11	2019	3	5	Débil
2023	2	2024	3	14	Fuerte

Nota. Adaptado de "Eventos El Niño y La Niña Costeros" del ENFEN (http://met.igp.gob.pe/elnino/lista_eventos.html)

En 2017, El Niño Costero se presentó con fuertes lluvias desde finales de enero, afectando desde el sur hasta el norte, en los departamentos que iban de Ica a Tumbes. Este fenómeno causó daños significativos a miles de personas, afectando viviendas, carreteras, líneas de transmisión eléctrica y telefónica, así como obras de infraestructura vial e hídrica, principalmente debido al desborde de ríos y la activación de quebradas que permanecen secas por largos períodos. Según la estimación de daños publicada por la Autoridad para la Reconstrucción con Cambios, los sectores más afectados en Tumbes fueron el agrícola y comercial. En Tumbes se perdieron 5 300 hectáreas de cultivos, se registraron 978 personas damnificadas y se destruyeron 1 846 viviendas (INGEMMET, 2023).

En 2023, el ciclón Yaku se formó el 4 de marzo frente a las costas de Piura, desplazándose hacia el sur hasta el 15 de marzo. Este fenómeno favoreció la ocurrencia de lluvias persistentes a lo largo de su trayecto, lo que activó quebradas y ríos. En Tumbes, se registraron días de lluvias intensas, como el 6 de marzo en la estación Cañaveral, Casitas, donde se acumuló un total de 95 mm de lluvia.

El evento causó inundaciones fluviales debido al aumento de los caudales de los ríos Tumbes y Zarumilla, y la activación de numerosas quebradas, muchas de las cuales tenían asentamientos humanos en sus cauces. Además, se produjeron derrumbes y deslizamientos en áreas con pendientes erosionadas, especialmente en los distritos de Corrales, San Jacinto, La Cruz, Canoas de Punta Sal y Zorritos. Como resultado, aproximadamente 1 000 viviendas fueron dañadas, 3 500 personas se vieron afectadas y más de 2 000 hectáreas de cultivos fueron inundadas en el departamento de Tumbes.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Herramienta para el análisis geoespacial: Google Earth Engine

Google Earth Engine (GEE) es una plataforma basada en la nube y diseñada para el análisis geoespacial a escala planetaria que aprovecha las capacidades computacionales masivas de Google para abordar estudios relacionados a problemas sociales de alto impacto como la deforestación, sequía, enfermedad, seguridad alimentaria, manejo del agua, monitoreo climático y proyección ambiental, mediante el uso de imágenes satelitales (Gorelick et al., 2017). Lanzada en 2010 por Google, GEE proporciona acceso no solo a científicos sino también a un público mucho más amplio.

La plataforma de Earth Engine posee un catálogo de datos listos para ser empleados, asimismo cuenta con imágenes pre procesadas facilitando su acceso rápido y eficiente. Se accede es a través de una interfaz de programación de aplicaciones (API) desde internet y está asociado a un web basado en el entorno de desarrollo interactivo (IDE) que permite una visualización de resultados tras la aplicación de prototipos. Los conjuntos de datos frecuentemente utilizado en la plataforma se puede observar en la Figura 16.

Figura 16: Conjunto de datos utilizados con frecuencia en el catálogo de datos de Earth Engine

Dataset	Nominal resolution	Temporal granularity	Temporal coverage	Spatial coverage
Landsat				
Landsat 8 OLI/TIRS	30 m	16 day	2013–Now	Global
Landsat 7 ETM+	30 m	16 day	2000–Now	Global
Landsat 5 TM	30 m	16 day	1984–2012	Global
Landsat 4–8 surface reflectance	30 m	16 day	1984–Now	Global
Sentinel				
Sentinel 1 A/B ground range detected	10 m	6 day	2014–Now	Global
Sentinel 2A MSI	10/20 m	10 day	2015–Now	Global
MODIS				
MOD08 atmosphere	1°	Daily	2000–Now	Global
MOD09 surface reflectance	500 m	1 day/8 day	2000–Now	Global
MOD10 snow cover	500 m	1 day	2000–Now	Global
MOD11 temperature and emissivity	1000 m	1 day/8 day	2000–Now	Global
MCD12 Land cover	500 m	Annual	2000–Now	Global
MOD13 Vegetation indices	500/250 m	16 day	2000–Now	Global
MOD14 Thermal anomalies & fire	1000 m	8 day	2000–Now	Global
MCD15 Leaf area index/FPAR	500 m	4 day	2000–Now	Global
MOD17 Gross primary productivity	500 m	8 day	2000–Now	Global
MCD43 BRDF-adjusted reflectance	1000/500 m	8 day/16 day	2000–Now	Global
MOD44 veg. cover conversion	250 m	Annual	2000–Now	Global
MCD45 thermal anomalies and fire	500 m	30 day	2000–Now	Global
ASTER				
L1 T radiance	15/30/90 m	1 day	2000–Now	Global
Global emissivity	100 m	Once	2000–2010	Global
Other imagery				
PROBA-V top of canopy reflectance	100/300 m	2 day	2013–Now	Global
EO-1 hyperion hyperspectral radiance	30 m	Targeted	2001–Now	Global
DMSP-OLS nighttime lights	1 km	Annual	1992–2013	Global
USDA NAIP aerial imagery	1 m	Sub-annual	2003–2015	CONUS
Topography				
Shuttle Radar Topography Mission	30 m	Single	2000	60°N–54°S
USGS National Elevation Dataset	10 m	Single	Multiple	United States
USGS GMTED2010	7.5'	Single	Multiple	83°N–57°S
GTOPO30	30"	Single	Multiple	Global
ETOPO1	1'	Single	Multiple	Global
Landcover				
GlobCover	300 m	Non-periodic	2009	90°N–65°S
USGS National Landcover Database	30 m	Non-periodic	1992–2011	CONUS
UMD global forest change	30 m	Annual	2000–2014	80°N–57°S
JRC global surface water	30 m	Monthly	1984–2015	78°N–60°S
GLCF tree cover	30 m	5 year	2000–2010	Global
USDA NASS cropland data layer	30 m	Annual	1997–2015	CONUS
Weather, precipitation & atmosphere				
Global precipitation measurement	6'	3 h	2014–Now	Global
TRMM 3B42 precipitation	15'	3 h	1998–2015	50°N–50°S
CHIRPS precipitation	3'	5 day	1981–Now	50°N–50°S
NLDAS-2	7.5'	1 h	1979–Now	North America
GLDAS-2	15'	3 h	1948–2010	Global
NCEP reanalysis	2.5°	6 h	1948–Now	Global
ORNL DAYMET weather	1 km	Annual	1980–Now	North America
GRIDMET	4 km	1 day	1979–Now	CONUS
NCEP global forecast system	15'	6 h	2015–Now	Global
NCEP climate forecast system	12'	6 h	1979–Now	Global
WorldClim	30"	12 images	1960–1990	Global
NEX downscaled climate projections	1 km	1 day	1950–2099	North America
Population				
WorldPop	100 m	5 year	Multiple	2010–2015
GPWv4	30"	5 year	2000–2020	85°N–60°S

Fuente: Gorelick et al. (2017).

Esta gran capacidad de manejo de volúmenes de información permite aplicar operaciones complejas como análisis multitemporal, detección de cambios, cálculo de índices espectrales, detección de inundaciones, clasificación supervisada, entre otros. Capacidad relevante para monitorear emergencias o desastres, tales como incendios forestales, inundación o cambios en el uso del suelo.

Esto es particularmente útil en estudios de detección de inundaciones, donde se requiere el análisis de series temporales de imágenes para evaluar cambios en la superficie terrestre antes, durante y después de un evento de inundación. GEE permite realizar este tipo de análisis rápidamente, aprovechando su infraestructura de computación en la nube para procesar datos a gran escala sin la necesidad de equipos informáticos costosos o almacenamiento local de grandes volúmenes de datos.

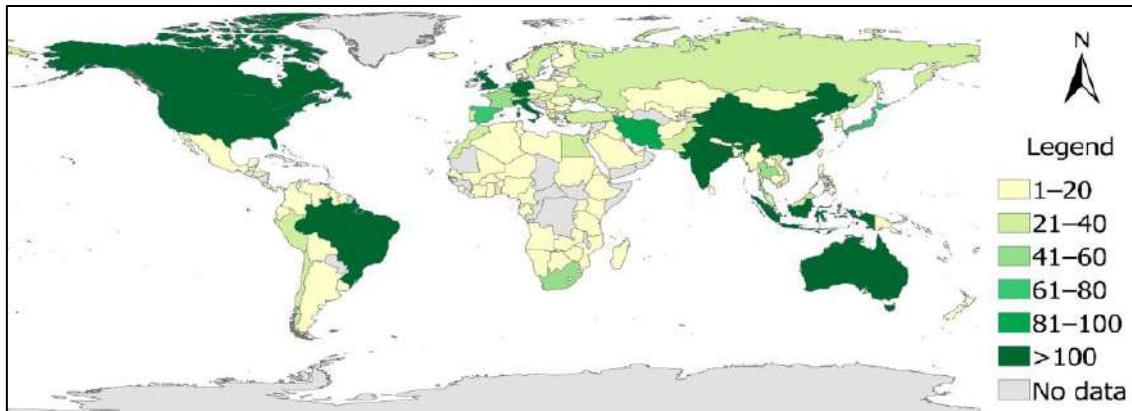
Otra ventaja significativa de Google Earth Engine es su enfoque en la colaboración y la accesibilidad. Al ser una plataforma de libre acceso, facilita la participación de una amplia gama de usuarios, desde científicos y académicos hasta profesionales de la gestión del riesgo de desastres y responsables de políticas públicas. Su capacidad para compartir scripts y resultados permite una mayor transparencia y reproducibilidad de los estudios, fomentando la colaboración interdisciplinaria y la creación de soluciones innovadoras.

La creciente utilización de Google Earth Engine en contextos científicos y técnicos a nivel global ha generado una amplia producción de estudios, cuya distribución geográfica se puede observar en la Figura 7. Este mapa muestra la cantidad de publicaciones por país que han empleado GEE como herramienta principal de análisis. Se evidencia una marcada concentración de estudios en países como Estados Unidos, India, China, Brasil y Australia, que superan las 100 publicaciones, lo cual refleja no solo el acceso a recursos tecnológicos, sino también una fuerte capacidad institucional para la investigación en teledetección.

Por otro lado, América Latina presenta una participación moderada, con Brasil liderando la región. En el caso específico del Perú, el nivel de publicaciones se encuentra en el rango de 21 a 40, lo que sugiere un uso creciente de la plataforma, aunque aún con márgenes de mejora y evidenciando las persistentes brechas en el acceso a herramientas digitales y en la generación de conocimiento basado en datos satelitales.

Esta distribución desigual que se observa en la figura también plantea desafíos para la toma de decisiones informadas en torno a la gestión del riesgo de desastres, ya que las regiones más vulnerables suelen ser las que menos estudios generan. En este sentido, el fortalecimiento del uso de GEE en países en desarrollo, como Perú, donde los recursos y capacidades técnicas pueden ser limitados, constituye un paso estratégico para acceder a tecnologías avanzadas de análisis geoespacial y mejorar la capacidad de monitoreo, respuesta y planificación frente a eventos extremos como inundaciones o sequías.

Figura 17: Mapa de países que han conducido estudios usando la plataforma de GEE, acorde al número de publicaciones



Fuente: Traducción del título de la figura original. Imagen tomada de Velastegui-Montoya et al. (2023).

En el presente estudio, Google Earth Engine será empleado para procesar imágenes satelitales y cartografiar las áreas afectadas por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes. Las herramientas de análisis de GEE permitirán identificar las zonas inundadas y cuantificar la extensión del impacto sobre la cobertura natural y las superficies agrícolas. La integración de estas capacidades tecnológicas busca proporcionar información técnica confiable que sirva de base para orientar acciones de prevención, preparación y respuesta, fortaleciendo así la gestión del riesgo de desastres.

7.2. Métodos de detección de áreas inundadas

Los métodos para la detección de áreas inundadas han evolucionado gracias al desarrollo de las tecnologías de teledetección, que permiten identificar y delimitar de forma remota las zonas afectadas por lluvias intensas y peligros asociados. Entre estos métodos se encuentra el uso de imágenes satelitales, tanto multiespectrales como de radar. El presente estudio propone aplicar técnicas de clasificación supervisada, establecimiento de umbrales y análisis por diferencia de imágenes radar para la identificación y delimitación de áreas inundadas.

7.2.1. Índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificado (MNDWI)

El índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificado (MNDWI) es un índice espectral propuesto por Xu (2006) como una mejora al índice de diferencia normalizada del agua (NDWI) de McFeeters (1996) con el fin de mejorar la detección de cuerpos de agua, para lo cual emplea las bandas verde e infrarrojo de onda corta (SWIR), aumentando la sensibilidad del índice frente a superficies con alta humedad o agua superficial.

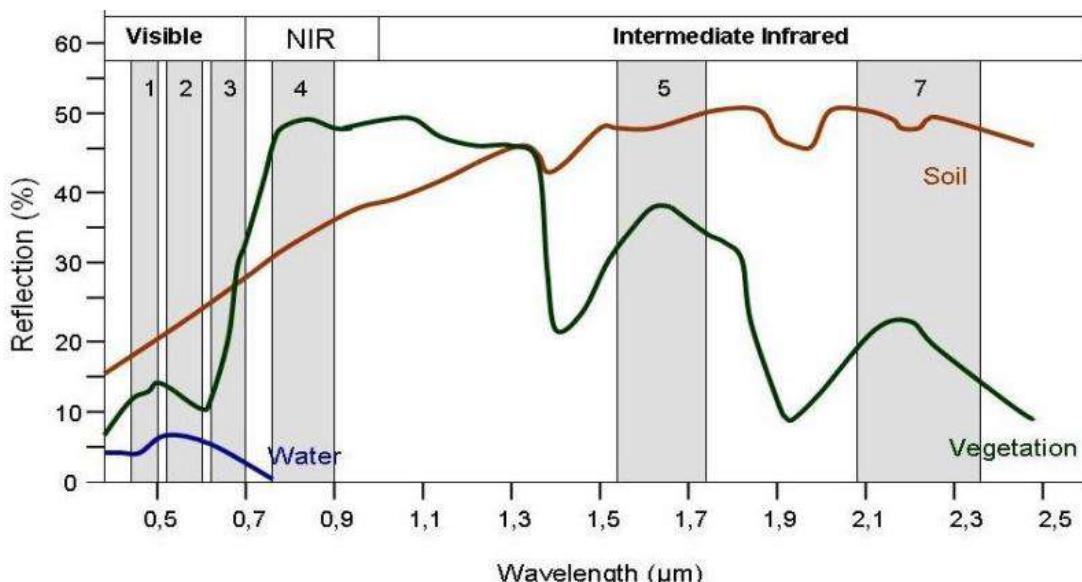
Una superficie con agua se distingue por una moderada reflectancia en la banda verde y una baja reflectancia en el SWIR del espectro electromagnético. Los valores del índice MNDWI oscilan entre -1 y +1, y su interpretación varía según el tipo de cobertura superficial. Los valores positivos, cercanos a +1, suelen estar

asociados a superficies de agua libre, como ríos, lagunas, embalses o zonas afectadas por inundaciones; cuanto más próximo a +1, mayor es la probabilidad de que el píxel represente agua. En cambio, los valores cercanos a 0 o negativos corresponden a otras coberturas, como vegetación, suelo desnudo, infraestructura urbana o superficies no saturadas de humedad.

La fórmula del Índice de Diferencia Normalizada de Agua Modificada es la siguiente:

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR}{GREEN + SWIR}$$

Figura 18: Firmas espectrales del agua, suelo y vegetación



Nota. De NASA. https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/2021-02/Hyperspectral_Part1_Span_Final.pdf

7.2.2. Clasificación supervisada con Random Forest

La clasificación supervisada es una técnica de análisis de imágenes satelitales ópticas que consiste en asignar a cada píxel una clase temática previamente definida, en función de su comportamientopectral y de los criterios establecidos por el usuario. Esta técnica requiere la selección de áreas representativas para cada clase, como vegetación, suelo desnudo, casco urbano, cuerpos de agua, entre otros, conocidas como muestras de entrenamiento. A partir de estas muestras, el algoritmo de clasificación aprende a reconocer las firmas espectrales características de cada categoría, permitiendo extrapolalar esa información al resto de la imagen.

Una de las principales ventajas de esta técnica es la capacidad de incorporar el conocimiento del terreno por parte del usuario, lo que mejora la precisión en la discriminación de clases y por ende un mejor resultado de la clasificación.

Asimismo, permite complementar las bandas espectrales con índices derivados como NDVI, SAVI, NBR o NDWI.

Entre los algoritmos comúnmente utilizados para el entrenamiento en clasificación supervisada se encuentran K-Nearest Neighbors (KNN), Minimum Distance to Mean, Maximum Likelihood Classifier (MLC), Support Vector Machines (SVM) y Random Forest, siendo este último el de mayor robustez, precisión y resistente al sobreajuste. Random Forest es un algoritmo de aprendizaje automático que se basa en la generación de múltiples árboles de decisión, los cuales se construyen a partir de subconjuntos aleatorios del conjunto de datos original. Fue desarrollado por Leo Breiman en el año 2001 y desde entonces se ha consolidado como una de las técnicas más eficientes para la clasificación de imágenes satelitales.

Random Forest funciona mediante un conjunto de árboles de decisión que analizan múltiples características de cada píxel. Cada árbol genera una clasificación individual y, finalmente, el algoritmo decide la clase más adecuada mediante una votación mayoritaria. Este enfoque colectivo permite reducir errores que podrían ocurrir si se usara un solo árbol, y mejora significativamente la precisión, especialmente en paisajes complejos o heterogéneos.

Según Rodríguez-Galiano et al. (2012), Random Forest presenta ventajas importantes que justifican su aplicación en el análisis de imágenes satelitales, tales como su carácter no paramétrico, su elevada precisión en la clasificación y su capacidad para evaluar la importancia relativa de las variables predictoras. No obstante, una de sus limitaciones radica en que el proceso interno de toma de decisiones no es fácilmente interpretable, por lo que suele considerarse un modelo de tipo caja negra, lo cual puede dificultar la explicación detallada de los criterios con los que se asigna cada clase.

Para garantizar la validez de la clasificación generada es esencial aplicar un método de validación, permitiendo así evaluar el desempeño del clasificador de manera objetiva. Asimismo, la calidad de los resultados dependerá de la correcta selección de clases, del número y distribución de muestras y del algoritmo seleccionado. Por lo tanto, la clasificación supervisada exige tanto criterio técnico como conocimiento del área de estudio para ser implementada de forma efectiva.

7.2.3. Imágenes satelitales SAR (Radar de Apertura Sintética)

Las imágenes SAR (Synthetic Aperture Radar), constituyen una fuente de información fundamental, debido a su capacidad de observación independiente de las condiciones atmosféricas y de iluminación. A través de la emisión y recepción de microondas, los sensores SAR capturan características físicas de la superficie terrestre, como la rugosidad y el contenido de humedad. Las áreas cubiertas por agua tienden a reflejar la señal en dirección opuesta al sensor, lo que se traduce en una baja retrodispersión que aparece en la imagen como píxeles oscuros.

El uso de imágenes SAR en la detección de inundaciones se incrementa en regiones tropicales como Tumbes, donde la alta presencia de nubosidad durante la temporada de lluvias suele impedir la captura de imágenes ópticas. Esta capacidad de observación en condiciones adversas convierte al radar en una herramienta fundamental para obtener información clave durante los momentos críticos del evento hidrometeorológico. Así, su incorporación permite complementar el análisis espectral y mejorar la precisión en la identificación y delimitación de las áreas afectadas por inundaciones.

7.3. Métodos de validación de entrenamiento

Existen diferentes métodos de validación de entrenamiento que se aplican luego de realizar una clasificación supervisada, con el fin de evaluar la precisión y la confiabilidad de los resultados obtenidos por el modelo. Entre los más utilizados se encuentran la matriz de confusión e índice Kappa, los cuales permiten medir el grado de coincidencia entre las clases predichas por el modelo y los datos reales de referencia.

7.3.1. Matriz de confusión

La matriz de confusión es una herramienta estadística que permite evaluar el desempeño de un modelo de clasificación, comparando los valores reales (observados en campo o en datos de referencia) con los valores predichos. Esta matriz se organiza en una tabla bidimensional, las filas representan las clases reales y las columnas las clases predichas, lo que permite la identificación de aciertos en la línea diagonal y errores de clasificación en las demás celdas.

A partir de esta matriz se derivan varias métricas de desempeño, como la precisión global, el error de comisión y el error de omisión. La precisión global (Overall Accuracy) indica el porcentaje de píxeles correctamente clasificados con respecto al número total de observaciones. El error de comisión muestra la proporción de píxeles que han sido asignados erróneamente a una clase determinada; mientras que, el error de omisión, corresponde a la proporción de píxeles reales que no fueron correctamente identificados por el modelo. Estas métricas son fundamentales para validar los resultados generados mediante clasificación supervisada. No obstante, la matriz por sí sola no considera los aciertos que pueden ocurrir por azar, por lo que suele complementarse con el índice Kappa para una evaluación más rigurosa.

7.3.2. Índice kappa

El **índice Kappa** (o coeficiente Kappa de Cohen) es una medida estadística que evalúa el grado de acuerdo entre las clases predichas por un modelo y las clases reales, ajustando el análisis para eliminar el efecto del azar. Esta métrica es empleada para complementar la precisión global obtenida con la matriz de confusión, puesto que proporciona una interpretación más rigurosa del rendimiento del modelo. El valor del índice varía de -1 a 1, donde los valores

cercanos a 1 indican una alta concordancia, 0 sugiere que la clasificación no es mejor que el azar y valores negativos corresponden a un rendimiento inferior al esperado.

Una de las ventajas del índice Kappa es que permite identificar si un modelo está produciendo resultados confiables más allá de la simple coincidencia. Se considera que un valor de Kappa superior a 0.80 indica una concordancia casi perfecta, entre 0.61 y 0.80 una concordancia sustancial; entre 0.41 y 0.60, una concordancia moderada; entre 0.21 y 0.40, leve; y entre 0.00 y 0.20, una concordancia débil. Valores negativos reflejan una concordancia pobre (Landis & Koch, 1977).

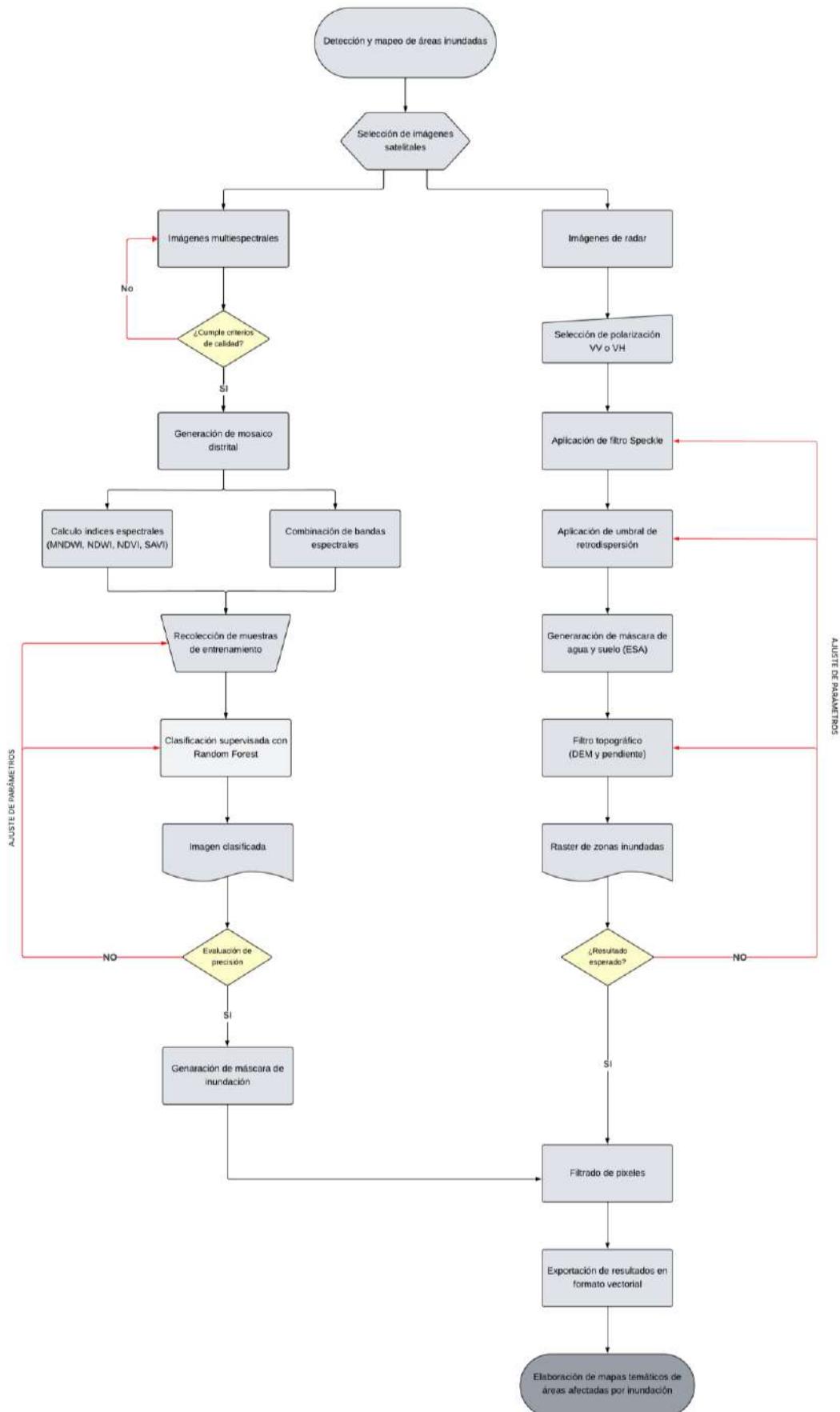
No obstante, el índice Kappa tiene algunas limitaciones como su sensibilidad a la distribución desigual de clases. Por ello, se recomienda utilizarlo en conjunto con otras métricas de validación para tener una comprensión más completa del desempeño del modelo.

8. METODOLOGÍA

En base al análisis realizado de los registros de emergencias del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación, correspondientes al periodo 2003-2024, se ha identificado que el departamento de Tumbes presenta un alto número de emergencias, personas damnificadas y afectadas a causa de las lluvias intensas y peligros asociados. Esta situación resulta significativa al considerar su población actual y su reducida extensión territorial. Además, se ha observado que la mayor incidencia de estos eventos ocurre durante los meses de febrero y marzo, coincidiendo con la temporada de lluvias del departamento.

La metodología empleada para la detección y delimitación de las áreas inundadas por lluvias intensas y peligros asociados en el departamento de Tumbes durante los meses de febrero y marzo del 2025, se llevó a cabo mediante el uso de la plataforma Google Earth Engine, en el que se aplicaron técnicas de análisis en teledetección. A continuación, se describe el procedimiento seguido para la obtención de las áreas afectadas:

Figura 19: Esquema metodológico



Para llevar a cabo la detección y delimitación de áreas inundadas, se estructuró una metodología basada en el procesamiento de imágenes multiespectrales ópticas (Sentinel-2 y Pleiades 1A/1B) y radar (Sentinel-1), con el fin de mejorar la detección en escenarios con presencia de nubosidad. Esta metodología se desarrolló en Google Earth Engine (GEE), aprovechando sus capacidades para el manejo de grandes volúmenes de datos geoespaciales. El proceso se dividió en dos bloques: procesamiento de imágenes multiespectrales ópticas con clasificación supervisada y procesamiento de imágenes radar. Cada etapa incluyó operaciones específicas que permitieron la detección de las zonas afectadas por inundaciones. A continuación, se detalla cada uno de los pasos seguidos.

8.1. Selección de imágenes satelitales

Para el presente estudio se utilizaron imágenes satelitales disponibles en la plataforma Google Earth Engine (GEE), principalmente del sensor Sentinel 2 – MSI de la colección Surface Reflectance (COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED). Este sistema proporciona una resolución temporal de 5 días, lo que permite un monitoreo frecuente de las áreas afectadas por inundación, y una resolución espacial de hasta 10 metros, lo que facilita una mejor distinción de los elementos en el terreno.

Tabla 15: Características de imágenes Sentinel-2

Colección de imágenes	Bandas espectrales	Resolución temporal	Resolución espacial (m)
COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED	13 bandas	5 días	10, 20, y 60

Tabla 16: Resolución espacial ypectral del satélite Sentinel-2/MSI

Sentinel-2/MSI	Bandas	Resolución espacial (m)
Banda 2	Blue	10
Banda 3	Green	10
Banda 4	Red	10
Banda 5	Red-edge-1	20
Banda 6	Red-edge-2	20
Banda 7	Red-edge-3	20
Banda 8	NIR	10
Banda 8A	NIR plateau	20
Banda 11	SWIR-1	20
Banda 12	SWIR-2	20

Cuando la nubosidad impedía visualizar adecuadamente los efectos de las lluvias, se recurrió al uso de imágenes de radar del satélite Sentinel -1, que permite la observación de la superficie terrestre independientemente de las condiciones atmosféricas. Para ello se emplearon imágenes del tipo Ground Range Detected (GRD), disponibles también en Google Earth Engine ("COPERNICUS/S1_GRD"). Este sistema proporciona una resolución temporal de 6 a 12 días, dependiendo de la ubicación y del número de satélites S1A y S1B, asimismo cuenta con una resolución espacial de hasta 10 metros.

Tabla 17: Características de imágenes Sentinel-1

Colección de imágenes	Bandas espectrales	Resolución temporal	Resolución espacial	Polarización
COPERNICUS/S1_GRD	Radar banda C -SAR	6 a 12 días	10 (IW)	VV y VH

Adicionalmente, a través de la Carta Internacional del Espacio y Grandes Catástrofes, del cual es parte Perú, se obtuvieron imágenes de alta resolución del satélite Pleiades 1A/1B, previa solicitud de CONIDA en coordinación con el INDECI. Estas imágenes permitieron una mejor delimitación de las zonas afectadas en los distritos de Corrales, Pampas de Hospital, San Juan de la Virgen, San Jacinto y Tumbes.

Tabla 18: Características de imágenes Pleiades

Colección de imágenes	Bandas espectrales	Resolución temporal	Resolución espacial (m)
PLEIADES 1A/1B	5 bandas	1 día	0.5 y 2

Tabla 19: Resolución espacial ypectral del satélite Pleiades 1A/1B

Pleiades/HR	Bandas	Resolución espacial (m)
Banda PAN	Pancromática	0.5
Banda 1	Blue	2
Banda 2	Green	2
Banda 3	Red	2
Banda 4	NIR	2

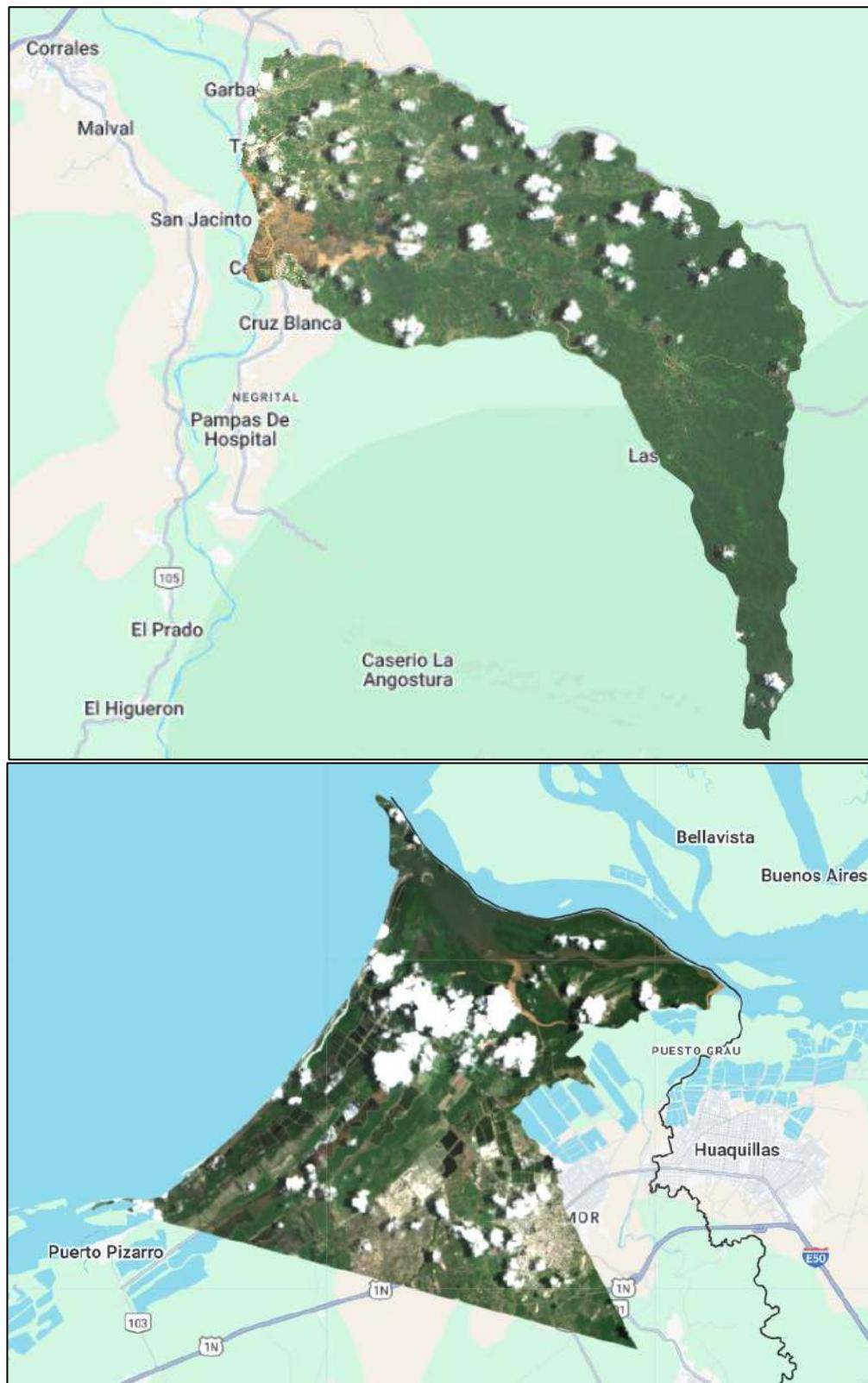
8.2. Imágenes multiespectrales

Las imágenes multiespectrales de Sentinel-2 fueron seleccionadas considerando tres criterios principales: (i) el nivel de nubosidad, que no debe interferir en la adecuada observación de la superficie; (ii) la correspondencia temporal, asegurando que la fecha de adquisición correspondan solo a los meses de febrero y marzo del 2025, periodo de ocurrencia de las inundaciones reportadas en el SINPAD; y (iii) la cobertura espacial, garantizando que las escenas seleccionadas abarquen en su totalidad el área de cada distrito de las tres provincias de Tumbes. En el caso de las imágenes de Pleiades 1A-1B, se dispuso únicamente de adquisiciones correspondientes a los días 6 y 7 de marzo del 2025.

8.2.1. Generación de mosaico distrital

Se elaboraron mosaicos de imágenes satelitales correspondientes a los meses de febrero y marzo de 2025 para los trece distritos del departamento de Tumbes, considerando las emergencias por lluvias intensas e inundaciones registradas por las autoridades locales en el SINPAD, las cuales ocasionaron afectaciones en la superficie agrícola. Asimismo, se generaron mosaicos adicionales en aquellos casos en que se identificaron daños agrícolas visibles en las imágenes disponibles.

Figura 20: Mosaico de imágenes satelitales de Sentinel-2, a nivel distrital



8.2.2. Cálculo de índices y combinación de bandas

a) Imágenes de Sentinel-2

Para la delimitación de las áreas afectadas por inundación se emplearon los índices espectrales MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index), y NDWI (Normalized Difference Water Index), los cuales permiten resaltar cuerpos de agua y zonas anegadas, incluso en presencia de vegetación dispersa. Asimismo, se calcularon los índices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) con el fin de diferenciar la cobertura vegetal y reducir posibles confusiones entre áreas de agua y vegetación densa.

Tabla 20: Índices espectrales para Sentinel-2

Índice	Fórmula	Bandas Sentinel - 2
NDWI	$(B3 - B8) / (B3 + B8)$	Verde (B3), NIR (B8)
MNDWI	$(B3 - B11) / (B3 + B11)$	Verde (B3), SWIR1 (B11)
NDVI	$(B8 - B4) / (B8 + B4)$	NIR (B8), Rojo (B4)
SAVI	$((B8 - B4) / (B8 + B4 + L)) \times (1 + L)$	NIR (B8), Rojo (B4), L=0.5

Se empleó el Índice Diferenciado de Agua Normalizado (NDWI), el cual permite resaltar los cuerpos de agua y zonas con alta humedad en la superficie, mediante la combinación de las longitudes de onda del verde (Green) y del infrarrojo cercano (NIR). Los valores del NDWI oscilan entre -1 y 1: los valores positivos, cercanos a 1, indican la presencia de agua o superficies muy húmedas, mientras que los valores negativos representan suelo seco o vegetación. En áreas con vegetación flotante o agua muy turbia, el NDWI puede subestimar la superficie inundada, ya que la reflectancia en el verde baja y se reduce el contraste con el NIR.

Con respecto al Índice Diferenciado de Agua Normalizada Modificada (MNDWI), se aplicó para mejorar la detección de cuerpos de agua con sedimentos, a través de la combinación de las longitudes de onda del verde (Green) y del infrarrojo de onda corta (SWIR), donde la banda verde presenta una reflectancia alta y baja para el SWIR. Por eso, el contraste entre ambas bandas resalta los cuerpos de agua, aún si tienen sedimentos. Los valores altos, cercanos a 1, representan agua con mayor claridad que el NDWI, mientras que valores negativos corresponden a suelo seco, vegetación o áreas construidas.

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) se empleó como indicador del estado de la cobertura vegetal, combinando las longitudes de onda del infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (Red). Los valores cercanos a 1 reflejan vegetación saludable y densa, mientras que valores cercanos a 0 o negativos indican ausencia de vegetación o presencia de

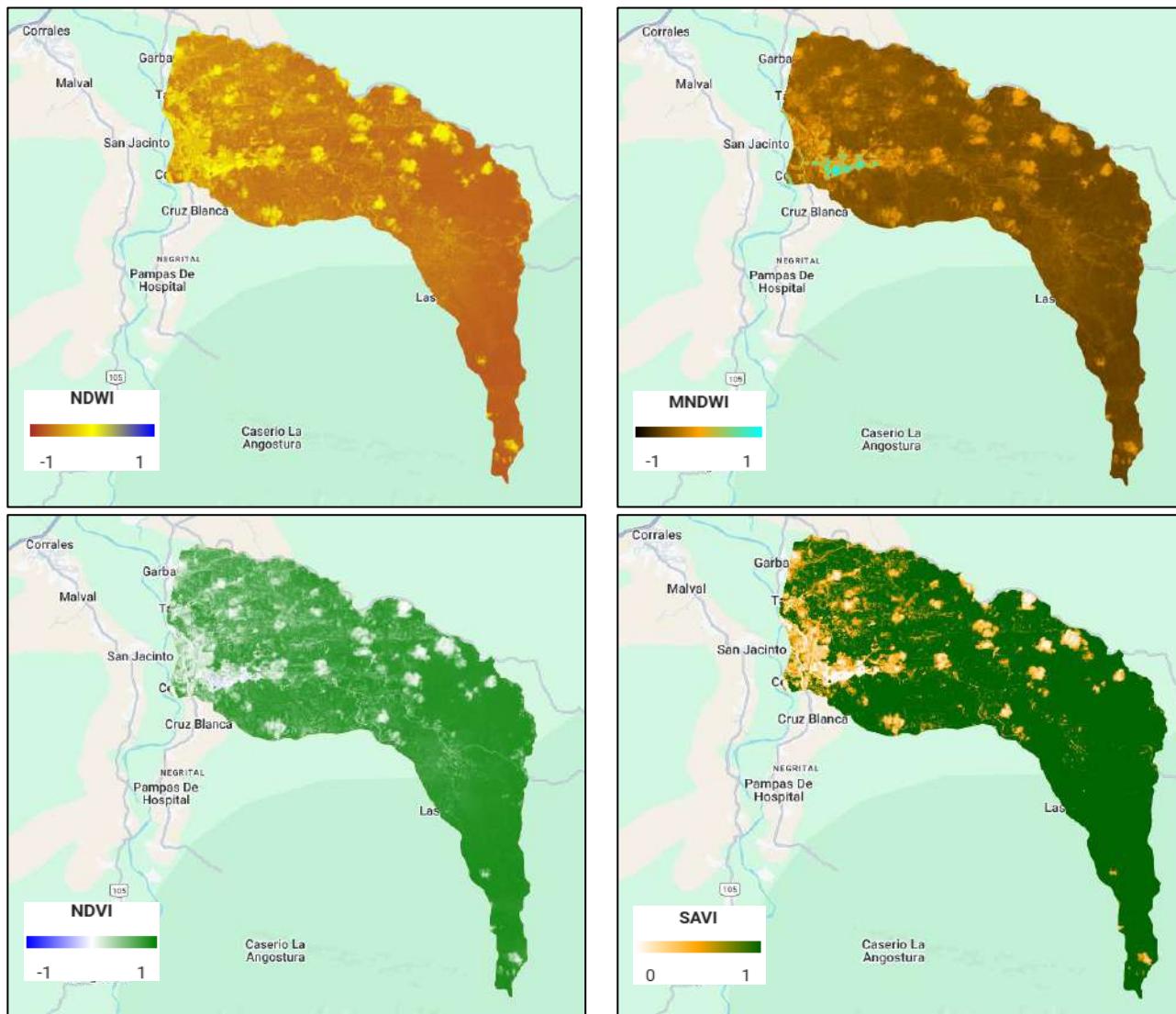
agua. Este índice permitió discriminar entre zonas inundadas y áreas cubiertas por vegetación, así como identificar posibles daños en cultivos provocados por el exceso de agua.

El Índice de Vegetación Ajustado al Suelo (SAVI) se utilizó para evaluar la cobertura vegetal en zonas con baja densidad de vegetación, minimizando la influencia del suelo en el cálculo. Este índice combina el infrarrojo cercano (NIR) y el rojo (Red), incorporando un factor de corrección (L) para reducir el efecto del fondo del suelo. Los valores más altos representan vegetación saludable, mientras que los valores bajos o negativos indican suelos desnudos o áreas inundadas. En el presente estudio, el SAVI ayudó a diferenciar zonas con vegetación, resaltar las zonas inundadas y diferenciar el suelo de otras coberturas de suelo.

En la Figura 21 se presentan los resultados de la generación de los índices espectrales NDWI, MNDWI, NDVI, SAVI, calculados a partir del mosaico de imágenes satelitales por distrito. Cada índice resalta diferentes características de la superficie terrestre, lo que facilita la identificación y delimitación de las zonas inundadas y su distinción frente a otras coberturas de suelo. El NDWI y el MNDWI están orientados a la detección de cuerpos de agua; sin embargo, el MNDWI, al integrar la banda del SWIR, ofrece una mejor discriminación en presencia de agua turbia o con sedimentos, condición frecuente en escenarios de inundación.

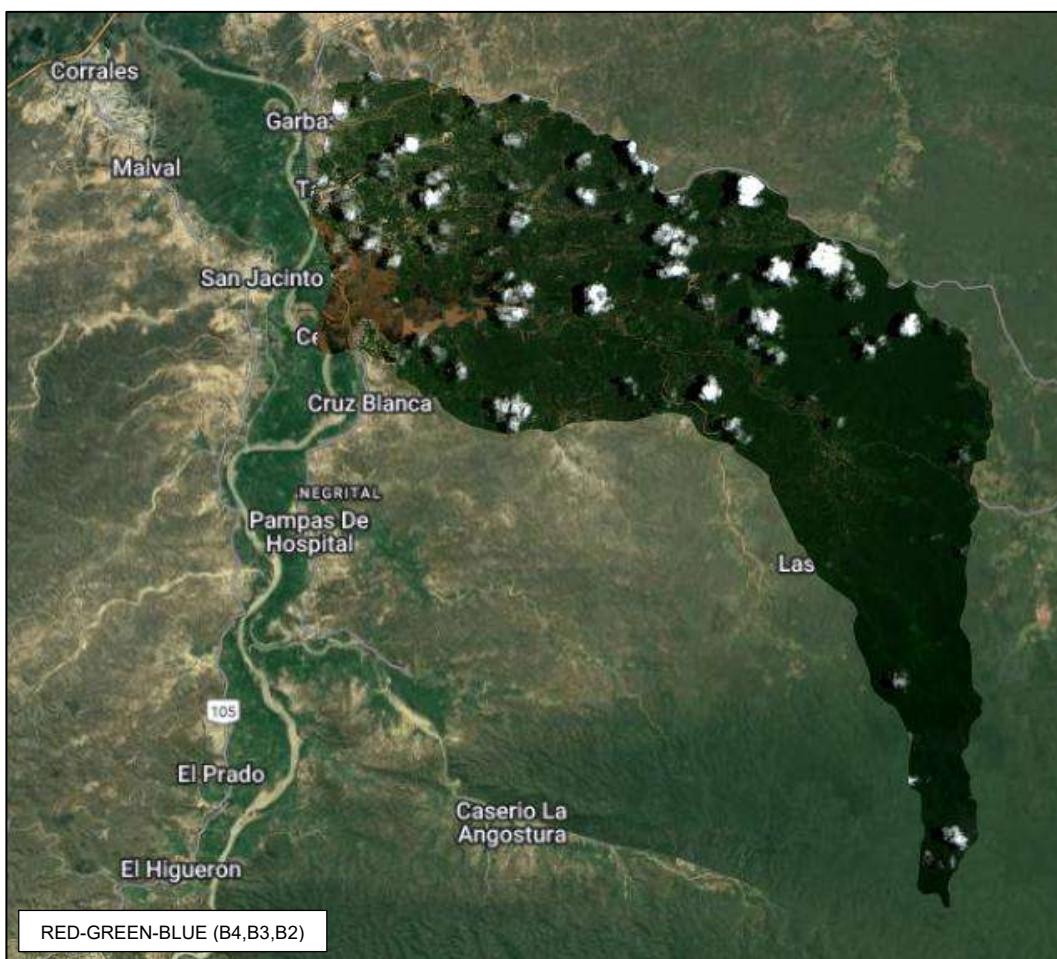
Por otro lado, el NDVI y el SAVI permiten caracterizar la cobertura vegetal. El NDVI resalta la vegetación en buen estado, mientras que el SAVI, al corregir el efecto del suelo descubierto, resulta más adecuado en áreas con vegetación dispersa. La comparación visual de estos índices en la figura evidencia cómo cada uno aporta información complementaria, optimizando el proceso de clasificación supervisada y mejorando la precisión en la delimitación de las áreas afectadas por inundaciones.

Figura 21: Índices espectrales NDWI, MNDWI, NDVI, SAVI



Con respecto a la combinación de bandas, se emplearon tres combinaciones de bandas Sentinel-2 para facilitar la discriminación de coberturas de suelo y la identificación de zonas inundadas. La combinación B4-B3-B2 (432, color verdadero) permitió obtener una visualización similar a una fotografía aérea, útil para el reconocimiento general del territorio y para contextualizar las áreas afectadas. En esta composición, la vegetación aparece en tonos verdes, las zonas urbanas en grises, y los cuerpos de agua en tonalidades marrones u oscuras, debido a la presencia de sedimentación en su composición. Si bien esta visualización es intuitiva y de fácil interpretación, presenta limitaciones para distinguir aguas cargadas de sedimentos con suelos.

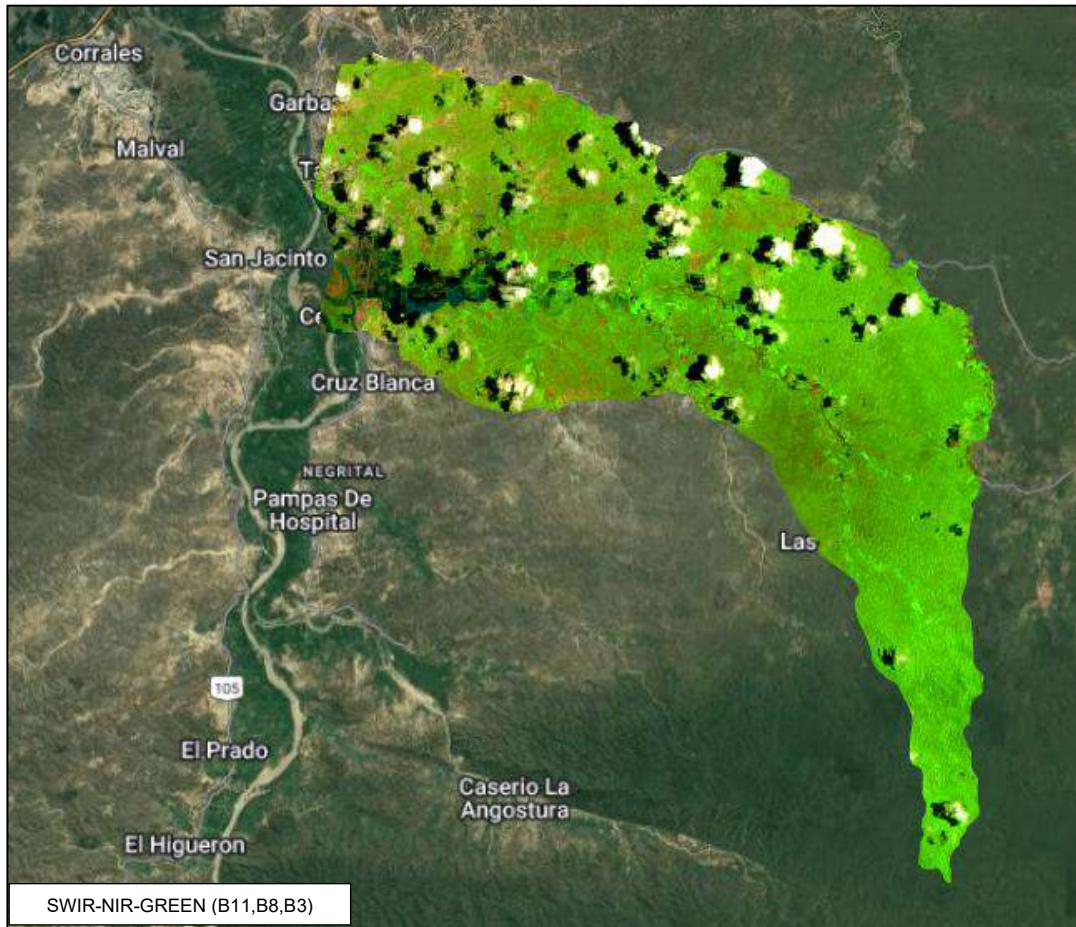
Figura 22: Combinación de bandas B4, B3, B2



Asimismo, para resaltar con mayor claridad las zonas inundadas y diferenciar el agua de otras coberturas, se aplicaron las composiciones SWIR-NIR-Green (B11-B8-B3) y NIR-Red-Green (B8-B4-B3). La primera muestra el río y las zonas inundadas con tonalidades azules a oscura, presentando una limitación con las nubes, al presentar la misma tonalidad oscura. Las áreas de suelos desnudos y vegetación adquieren colores distintivos. Las longitudes de onda en el SWIR permiten

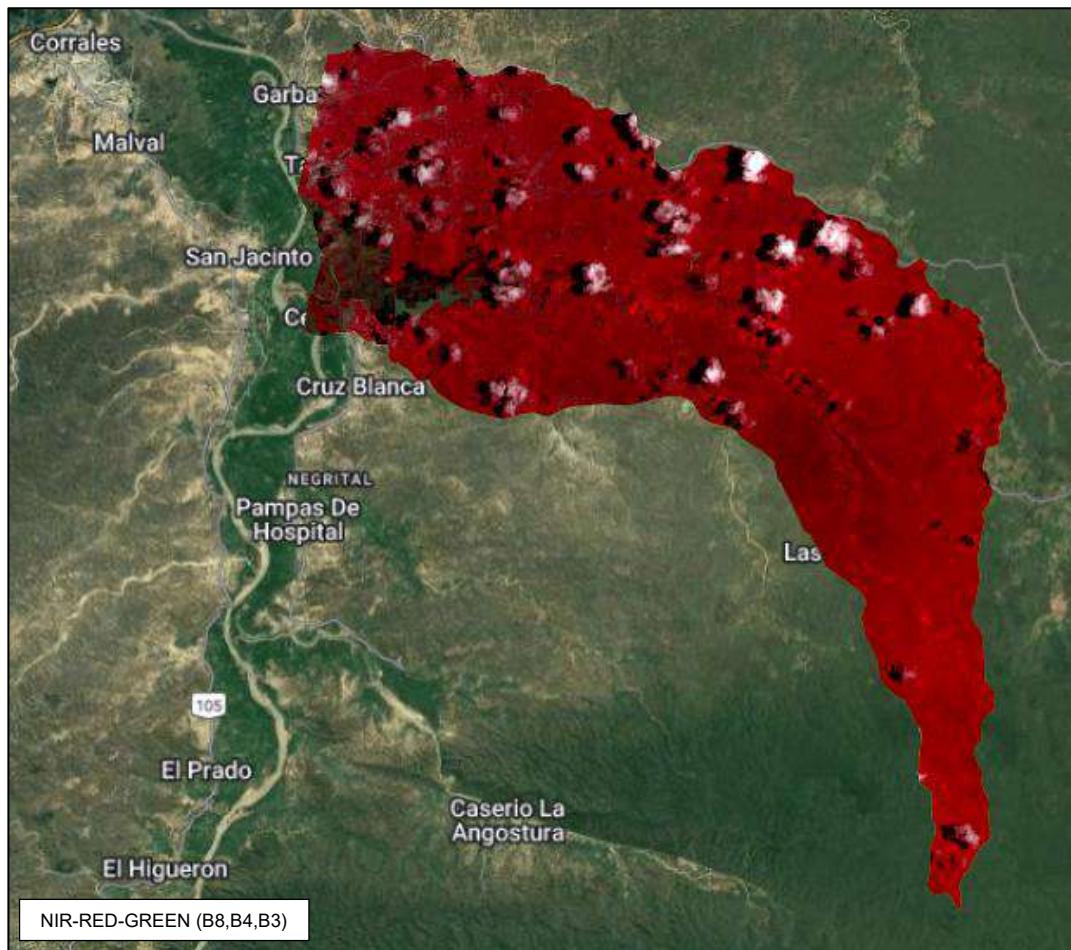
diferenciar con claridad entre agua limpia, agua turbia y suelos húmedos, mientras que el NIR mejora el contraste con la vegetación.

Figura 23: Combinación de bandas B11, B8, B3



Por su parte, la combinación NIR–Red–Green realza la vegetación en tonos rojos brillantes contrastándose con las superficies no vegetadas y facilitando la delimitación de zonas anegadas adyacentes a áreas cultivadas o naturales. El uso complementario de estas tres combinaciones permitió una interpretación más precisa de la extensión y características de las áreas afectadas por inundaciones, complementándose con los índices espectrales.

Figura 24: Combinación de bandas B8, B4, B3



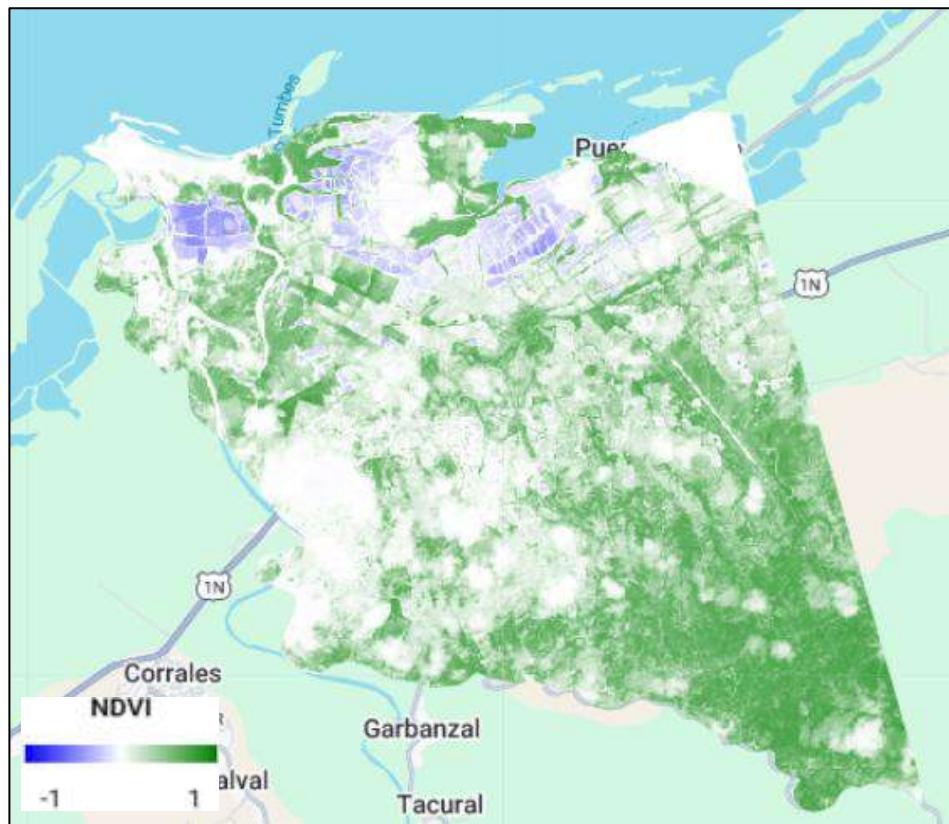
b) Imágenes de Pleiades 1A/1B

En el caso de las imágenes Pleiades, se aplicó una diferencia normalizada entre la banda 4 (NIR) y la banda 1 (azul). Esta combinación permitió resaltar y discriminar con mayor claridad las zonas cubiertas por agua, considerando la limitada disponibilidad de bandas en comparación al sensor multiespectral Sentinel-2 (Ver Figura 25).

La fórmula utilizada fue la siguiente:

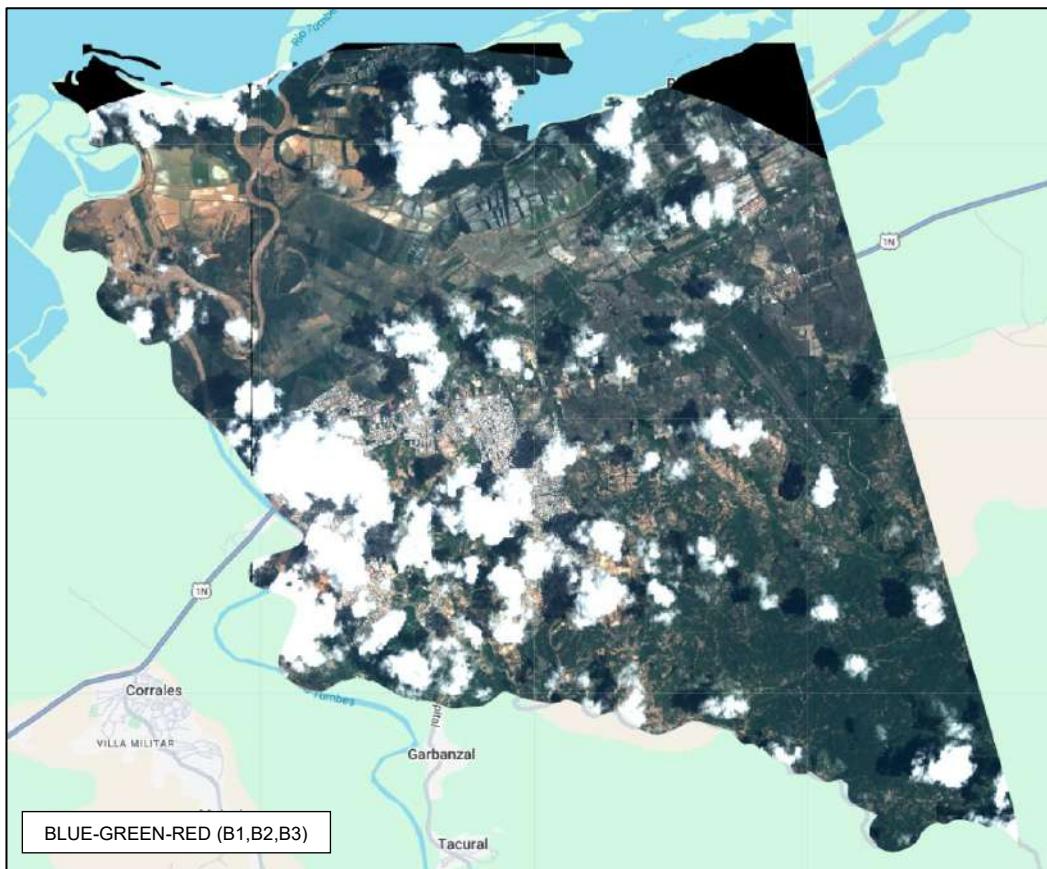
$$\frac{NIR - Azul}{NIR + Azul}$$

Figura 25: Índice espectral en Pleiades



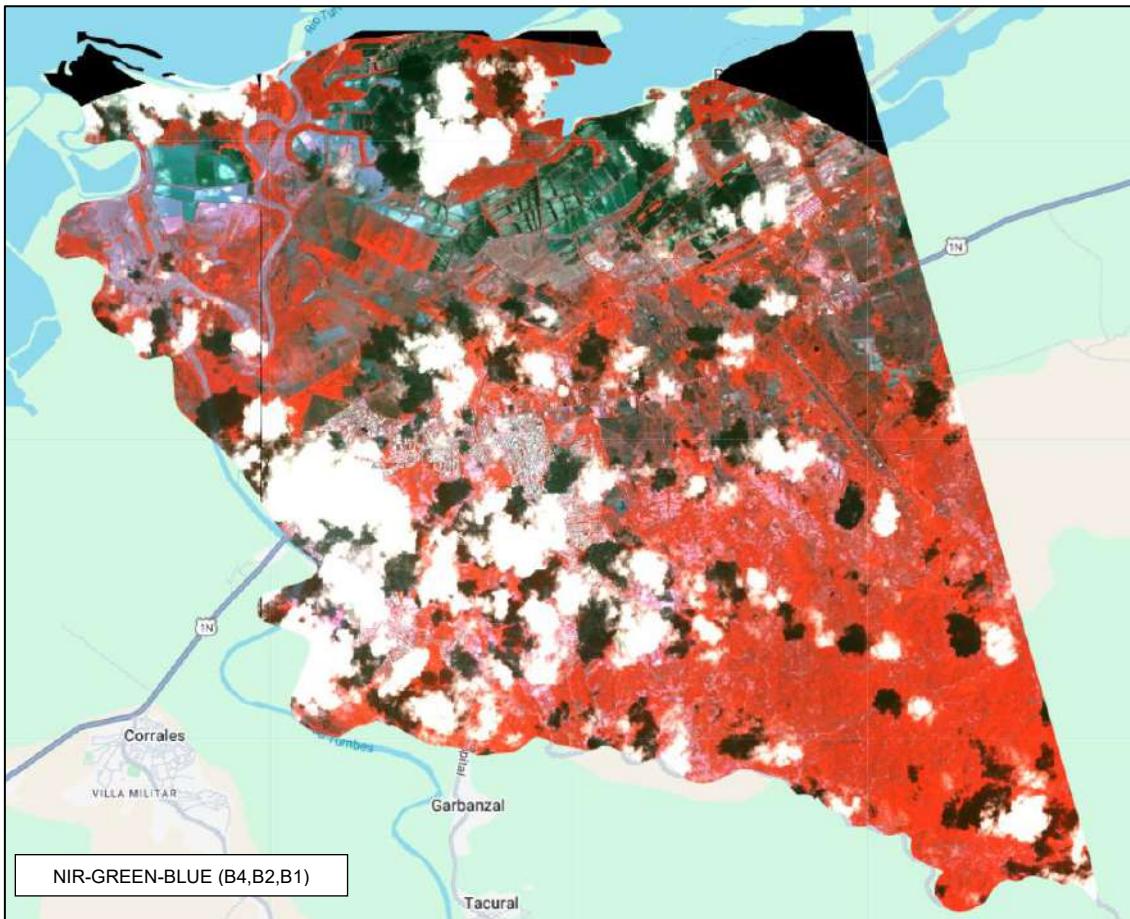
Con respecto a la combinación de bandas, se generaron dos composiciones destinadas a facilitar la discriminación de la vegetación, el suelo y la identificación de zonas inundadas. La primera combinación Blue-Green-Red (B1-B2-B3, color verdadero) ofrece una representación natural del territorio, donde los elementos mantienen colores similares a los percibidos por el ojo humano. En esta visualización, la vegetación se aprecia en tonos verdes, las áreas urbanas en matices grises y los cuerpos de agua en colores oscuros o marrones, asociados a la presencia de sedimentos. Su carácter intuitivo la convierte en una herramienta útil para la interpretación inicial y la contextualización espacial de las zonas afectadas.

Figura 26: Combinación de bandas B1, B2, B3



Por otro lado, la combinación NIR-Green-Blue (B4-B2-B1, falso color) permitió resaltar de manera más clara las zonas cubiertas por agua, las cuales se manifestaron en tonalidades azuladas, verdosas o moradas, facilitando su contraste respecto a otras coberturas. Esta composición fue particularmente útil para la identificación de áreas anegadas, ya que mejora la diferenciación entre cuerpos de agua, vegetación y suelo desnudo en comparación con la visualización en color verdadero.

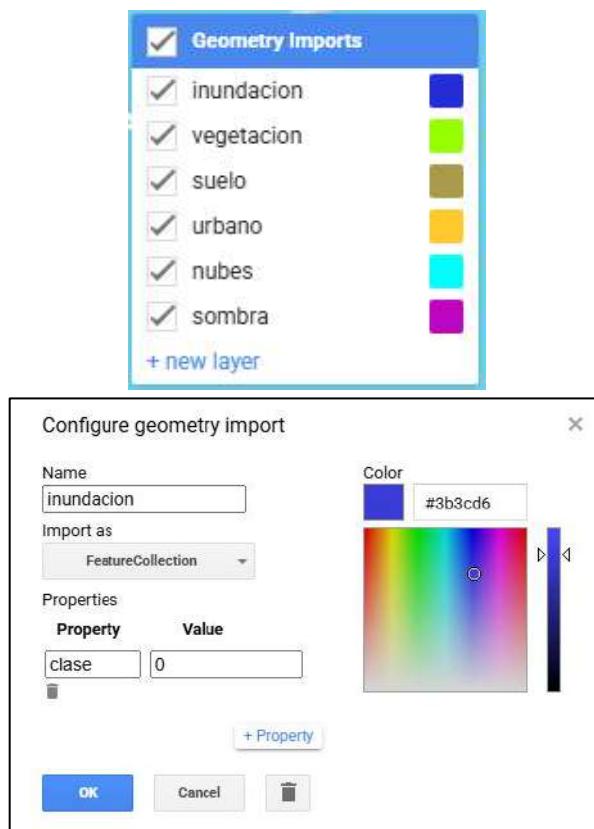
Figura 27: Combinación de bandas B4, B2, B1



8.2.3. Recolección de datos de entrenamiento

Previo a la aplicación de clasificación supervisada se realizó la recolección de datos de entrenamiento. Para ello se definió seis categorías para la selección de las muestras representativas como datos de entrenamiento, tales como inundación, vegetación, suelo, urbano, nubes y sombra. Asimismo, la digitalización de las muestras se realizó mediante polígonos y puntos, teniendo en cuenta índices espectrales, combinación de bandas y conocimiento previo del área, a fin de garantizar la representatividad espectral y abarcar diferentes sectores del distrito.

Figura 28: Creación de categorías en GEE



Las muestras se dividieron en una proporción de 70 % para el entrenamiento y 30 % para la validación. Esta partición busca asegurar que el modelo disponga de suficiente información para aprender las características espectrales de cada clase y, al mismo tiempo, contar con datos independientes para evaluar su rendimiento y evitar sobreajuste.

Figura 29: División de datos 70/30

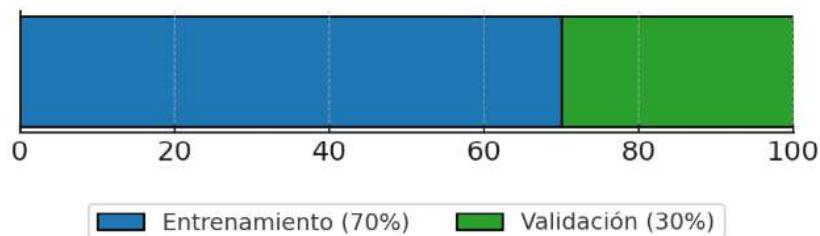
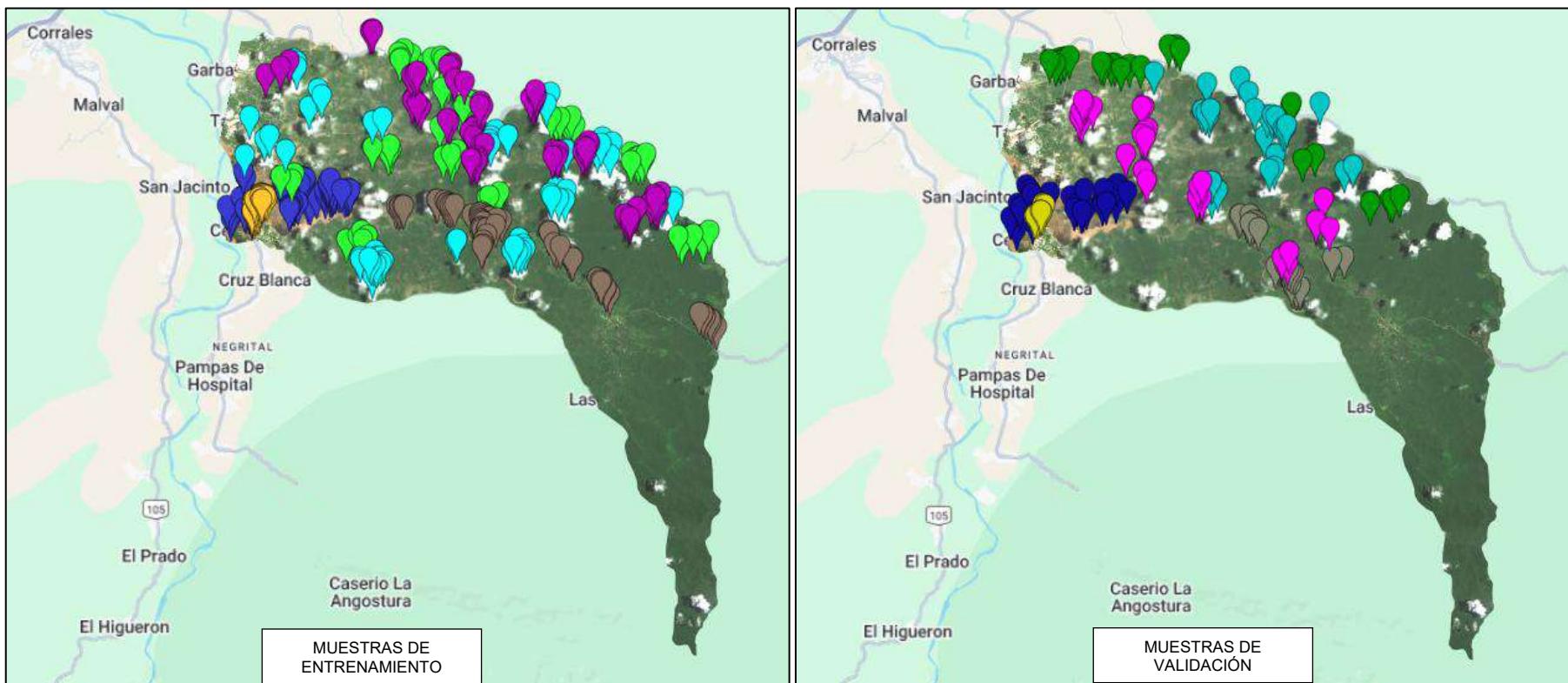


Figura 30: Muestras de entrenamiento y validación



Nota. Las etiquetas de colores sobre la imagen satelital representan las muestras de entrenamiento y validación generadas y superpuestas en la plataforma de Google Earth Engine (GEE).

8.2.4. Clasificación supervisada con Random Forest

Para la detección y delimitación de áreas inundadas, se implementó principalmente la metodología de clasificación supervisada empleando el algoritmo Random Forest (RF) mediante el uso de imágenes espectrales de sentinel-2 y Pleiades 1A/1B. El desarrollo de esta metodología abarcó cinco pasos, los cuales son descritos a continuación:

a) Entrenamiento del clasificador

La plataforma **Google Earth Engine (GEE)** dispone de diversos clasificadores supervisados, entre ellos *smileRandomForest*, implementación del algoritmo **Random Forest**. Este método fue seleccionado por su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos y múltiples variables de forma eficiente, manteniendo una alta precisión y reduciendo el riesgo de sobreajuste gracias a su enfoque basado en el promedio de múltiples modelos de decisión.

Para el entrenamiento del clasificador se utilizaron las muestras de entrenamiento correspondientes a las seis categorías de cobertura previamente definidas. Además, se seleccionaron cuidadosamente las bandas espectrales más relevantes para la detección de áreas inundadas, incorporando también índices espectrales. En el caso de las imágenes Sentinel-2, se seleccionaron como insumos las bandas espectrales B2 (Blue), B3 (Green), B4 (Red), B8 (NIR), B11 (SWIR-1) y B12 (SWIR-2), además de los índices espectrales previamente calculados (NDWI, MNDWI, NDVI y SAVI), los cuales fueron incorporados como bandas adicionales al conjunto de datos.

En cuanto a las imágenes Pleiades, se emplearon las cuatro bandas multiespectrales disponibles (B1 – Blue, B2 – Green, B3 – Red y B4 – NIR), junto con una diferencia normalizada generada a partir de las bandas B4 (NIR) y B1 (Blue), que permitió discriminar de manera más efectiva las zonas con presencia de agua.

Durante el entrenamiento, el algoritmo generó múltiples árboles de decisión, cada uno construido a partir de subconjuntos aleatorios tanto de las muestras como de las variables disponibles. Esta estrategia de muestreo aleatorio en filas (muestras) y columnas (variables) permite al modelo capturar relaciones complejas y no lineales entre las características, reduciendo la varianza y mejorando su capacidad de generalización.

b) Clasificación de la imagen

Una vez definido el modelo de entrenamiento y validado el clasificador, este se aplicó sobre los mosaicos satelitales generados en función de las emergencias registradas en el SINPAD o en aquellas fechas en que se

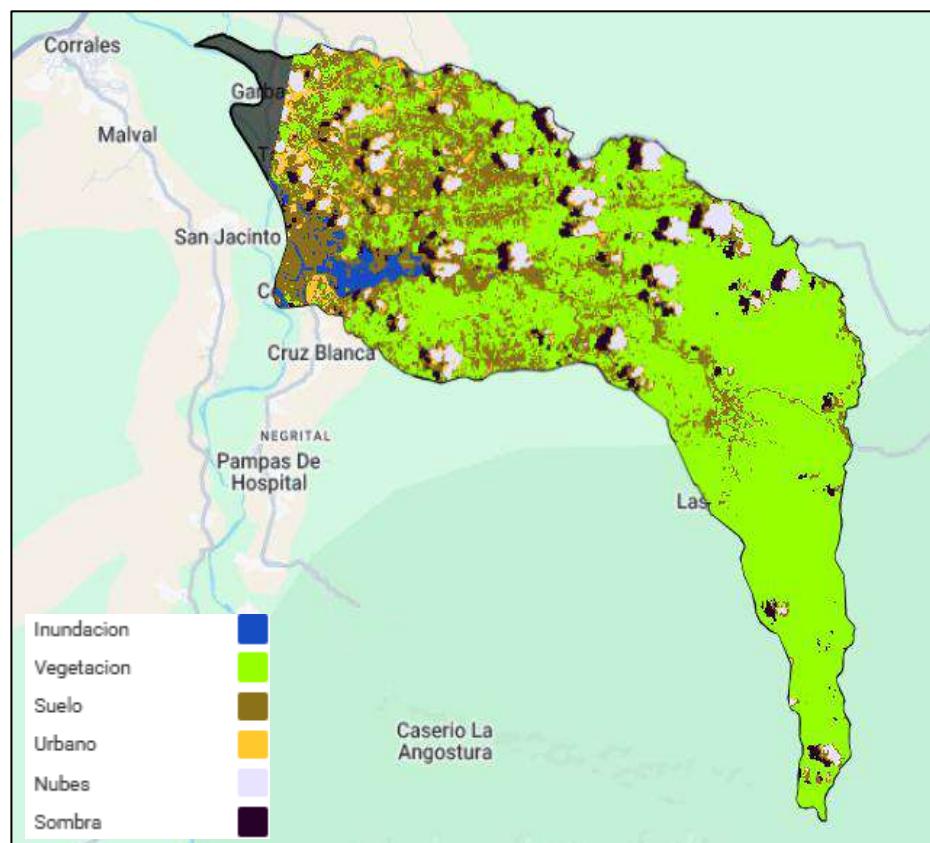
Identificaron daños en la superficie agrícola durante febrero y marzo de 2025. En esta fase, el algoritmo evaluó cada píxel y le asignó la categoría más probable según su firma espectral, utilizando como insumos las bandas seleccionadas y los índices previamente calculados. Gracias a este procedimiento fue posible diferenciar con mayor precisión coberturas que a simple vista resultan similares y delimitar de manera más confiable las zonas afectadas por las inundaciones.

c) Imagen clasificada

La imagen resultante de la clasificación reflejó las categorías definidas en la fase de recolección de muestras de entrenamiento, representadas mediante una paleta de colores que facilitó su interpretación visual. Esto permitió reconocer con claridad los patrones espaciales asociados a las zonas inundadas, la vegetación y otras coberturas, de acuerdo con la leyenda definida en el proceso.

Si bien este producto constituye un insumo valioso para el análisis inicial, aún puede presentar ciertas imprecisiones derivadas de confusiones especales, presencia de nubes o limitaciones en las muestras utilizadas para el entrenamiento. Por ello, se requiere una evaluación de precisión que permita validar los resultados y, de ser necesario, realizar ajustes que incrementen su confiabilidad.

Figura 31: Resultado de clasificación con el algoritmo RandomForest



d) Evaluación de precisión

La validación se realizó utilizando el 30 % de las muestras previamente reservadas para este propósito, completamente independientes del conjunto utilizado en el entrenamiento. Con ellas se construyó una matriz de confusión y se calcularon métricas de desempeño como la precisión global y el índice Kappa, las cuales permitieron cuantificar el nivel de concordancia entre la clasificación automática y las muestras de validación.

El análisis reveló coberturas con mayores niveles de confusión, como suelos húmedos clasificados como agua o vegetación flotante identificada como suelo seco. Estos resultados aportaron información clave para ajustar parámetros y optimizar el modelo, incrementando la confiabilidad de los productos generados.

Figura 32: Evaluación de precisión a través de matriz de confusión, precisión global e índice kappa

Matriz de confusión:	
▼	List (6 elements)
► 0:	[49,0,0,0,0,0]
► 1:	[0,54,0,0,0,0]
► 2:	[0,0,22,14,0,0]
► 3:	[0,0,1,17,1,0]
► 4:	[0,0,0,0,133,0]
► 5:	[0,0,0,0,0,68]

Precisión global:	
0.9554317548746518	

Índice Kappa:	
0.9423877393406285	

e) Ajuste de parámetros

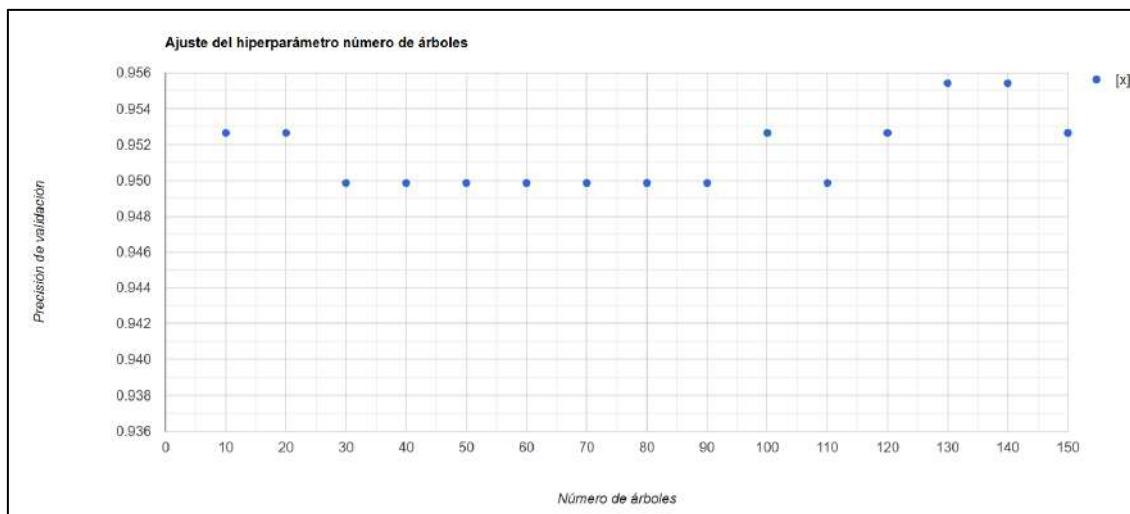
El clasificador Random Forest, seleccionado para el modelo de entrenamiento en la plataforma de GEE, permite ajustar diversos hiperparámetros con el fin de optimizar el rendimiento de la clasificación. Entre los más relevantes se consideraron el número de árboles que componen el bosque y la selección de las bandas e índices espectrales empleados como variables de entrada. Estos ajustes resultan fundamentales para mejorar la capacidad predictiva del modelo y reducir errores derivados de configuraciones inadecuadas.

El primer ajuste de hiperparámetros del modelo que se realizó fue determinar el número óptimo de árboles del clasificador Random Forest.

Para ello, se evaluó el rendimiento del modelo variando este parámetro en un rango de 10 a 150 árboles, con incrementos de 10. En cada iteración, el clasificador se entrenó con las muestras de entrenamiento y se validó con el 30 % de datos reservados, calculando la exactitud global mediante la matriz de confusión. Los resultados se representaron en un gráfico de precisión frente al número de árboles, lo que permitió identificar el punto a partir del cual el incremento de árboles no aportaba mejoras significativas en la precisión.

A continuación, en la Figura 33 se observa que el valor de precisión de validación del modelo cambia conforme aumenta el número de árboles. En 130 y 140 número de árboles, se alcanzó el mayor valor de precisión de validación, por lo que se opta por colocar este número en el modelo y así obtener una mejor clasificación. No obstante, si se colocara 10 y 20 árboles, se obtendría también un valor alto de precisión y no tendría un alto costo computacional, que sí se tendría al colocar 130 árboles.

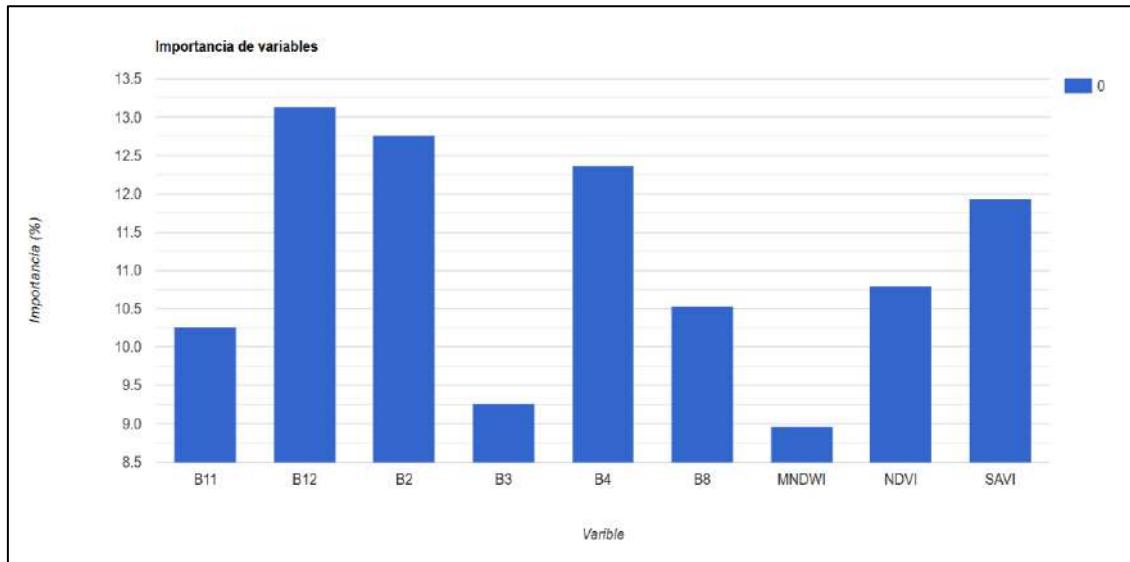
Figura 33: Ajuste del hiperparámetro Número de árboles



Posteriormente, se analizó la importancia relativa de las variables utilizadas en el entrenamiento, a fin de identificar qué bandas espectrales e índices contribuyen en mayor o menor medida a la discriminación de las clases. Además, esta evaluación permite cuantificar la contribución porcentual de cada variable al proceso de clasificación, facilitando la selección de aquellas con mayor capacidad discriminante. Los resultados se pueden visualizar en un gráfico de barras, que sirvió como referencia para confirmar la relevancia de las combinaciones de bandas e índices empleadas en la detección de áreas inundadas.

En la Figura 34, se observa las bandas espectrales B12, B2, B4 y los índices NDVI y SAVI aportaron principalmente en la discriminación de las clases, mientras que la banda B3 y el índice MNDWI en menor relevancia.

Figura 34: Evaluación de importancia de variables



En los casos en que la precisión global e índice kappa no alcanzaran los valores esperados o la clasificación de las clases no es acorde a lo que se observa en la imagen satelital, se debe realizar ajustes en el conjunto de datos de entrenamiento, derivando en la adición de nuevas muestras representativas. Este proceso iterativo garantizó que el modelo no solo alcanzara altos valores de precisión global e índice kappa, sino también un equilibrio adecuado entre todas las clases, reduciendo errores sistemáticos y mejorando la capacidad de detección de áreas inundadas.

En determinados casos, aun con el ajuste de hiperparámetros y la optimización de variables, la clasificación automática presentó limitaciones debido a la nubosidad o al proceso de secado progresivo del agua, lo que generó confusión con suelos húmedos o coberturas de respuesta espectral similar. Para resolver estas situaciones, se implementó un proceso de delimitación manual complementaria, que permitió refinar los resultados del clasificador y garantizar una representación más confiable de las áreas inundadas.

8.2.5. Generación de máscara de inundación

La generación de la máscara de inundación se realizó a partir de los píxeles clasificados como “inundación” en la imagen resultante del proceso de clasificación. A fin de evitar sobreestimaciones, se excluyeron de este resultado los cuerpos de agua permanentes obtenida del mapa global de cobertura terrestre para el año 20211, elaborado por la Agencia Espacial Europea (ESA). Con este procedimiento se obtuvo una capa depurada que representa únicamente las áreas inundadas asociadas al evento analizado.

8.2.6. Filtrado de píxeles

Con el objetivo de eliminar el ruido propio del proceso de clasificación, se aplicó un filtrado espacial basado en la conectividad de píxeles. Este procedimiento permitió descartar agrupaciones pequeñas o aisladas que no corresponden a superficies de inundación reales, logrando así una delimitación más precisa y continua de las zonas afectadas.

8.2.7. Exportación de resultados en formato vectorial

Finalmente, la capa resultante se exportó en formato vectorial, lo que permitió integrar la información en sistemas de información geográfica (SIG). Esto facilitó la elaboración de mapas temáticos y el cálculo de estadísticas espaciales, como la estimación de superficie inundada y la identificación de coberturas afectadas, insumos necesarios para la evaluación de daños y el análisis de necesidades.

8.3. Imágenes radar

Ante la ausencia de imágenes multiespectrales disponibles en algunas fechas de ocurrencia de las emergencias, o debido a la presencia de nubosidad que impedía su aprovechamiento, se emplearon imágenes radar del satélite Sentinel-1. Estas imágenes, al operar en banda C mediante radar de apertura sintética (SAR), permiten la adquisición de información de la superficie terrestre en cualquier condición atmosférica y sin depender de la iluminación solar, lo cual resulta fundamental para el análisis de inundaciones.

En este contexto, se desarrolló una metodología alternativa basada en umbrales y filtros, orientada a la delimitación de áreas de inundación, en reemplazo de la clasificación supervisada utilizada con imágenes multiespectrales. Para el análisis, se seleccionaron imágenes correspondientes a las fechas más cercanas a los eventos de inundación o lluvias intensas registradas en el SINPAD para el periodo febrero y marzo, corroboradas con la información de precipitación proveniente de las estaciones meteorológicas. Esta estrategia aseguró que el procesamiento se realizara sobre escenas representativas de cada emergencia.

El producto empleado fue el GRD (Ground Range Detected) en modo IW (Interferometric Wide Swath), que ofrece una resolución espacial de 10 metros y permite generar mosaicos a nivel distrital para el periodo analizado.

8.3.1. Selección de polarización VV o VH

Una vez identificada la escena radar correspondiente a la emergencia, se procedió a la selección de la polarización más adecuada para el análisis. Sentinel-1 proporciona información en doble polarización (VV: vertical–vertical y VH: vertical–horizontal), cada una con diferente sensibilidad frente a las condiciones de la superficie y al modo de adquisición del satélite (órbita ascendente o descendente).

La polarización VV resulta más efectiva para resaltar superficies lisas, como cuerpos de agua e inundaciones, mientras que la polarización VH ofrece un mayor contraste en áreas con cobertura vegetal o estructuras, facilitando la diferenciación entre zonas inundadas y no inundadas en contextos heterogéneos.

La correcta elección de la polarización resulta clave, ya que determina la precisión con la que se aplicará el umbral de detección de inundación. Es por ello, que se empleó imágenes multiespectrales disponibles, a fin de garantizar una selección adecuada.

Figura 35: Canal de polarización VV

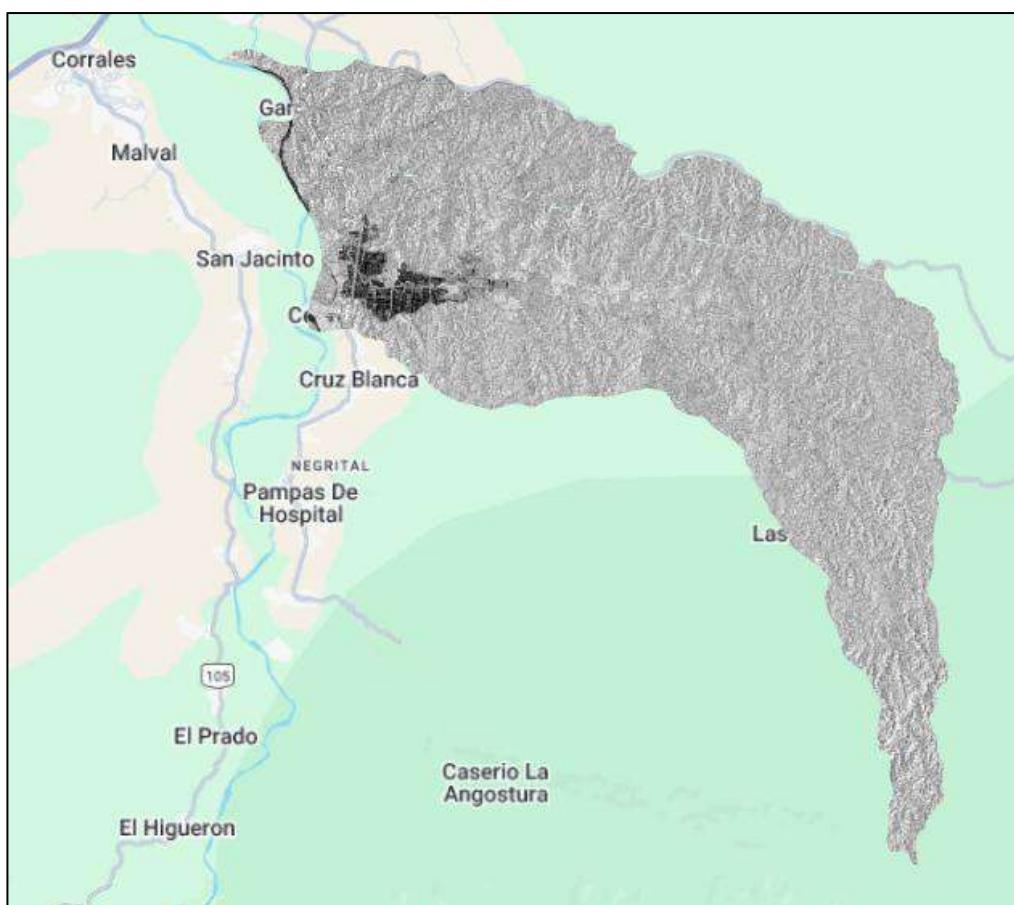


Figura 36: Canal de polarización VH



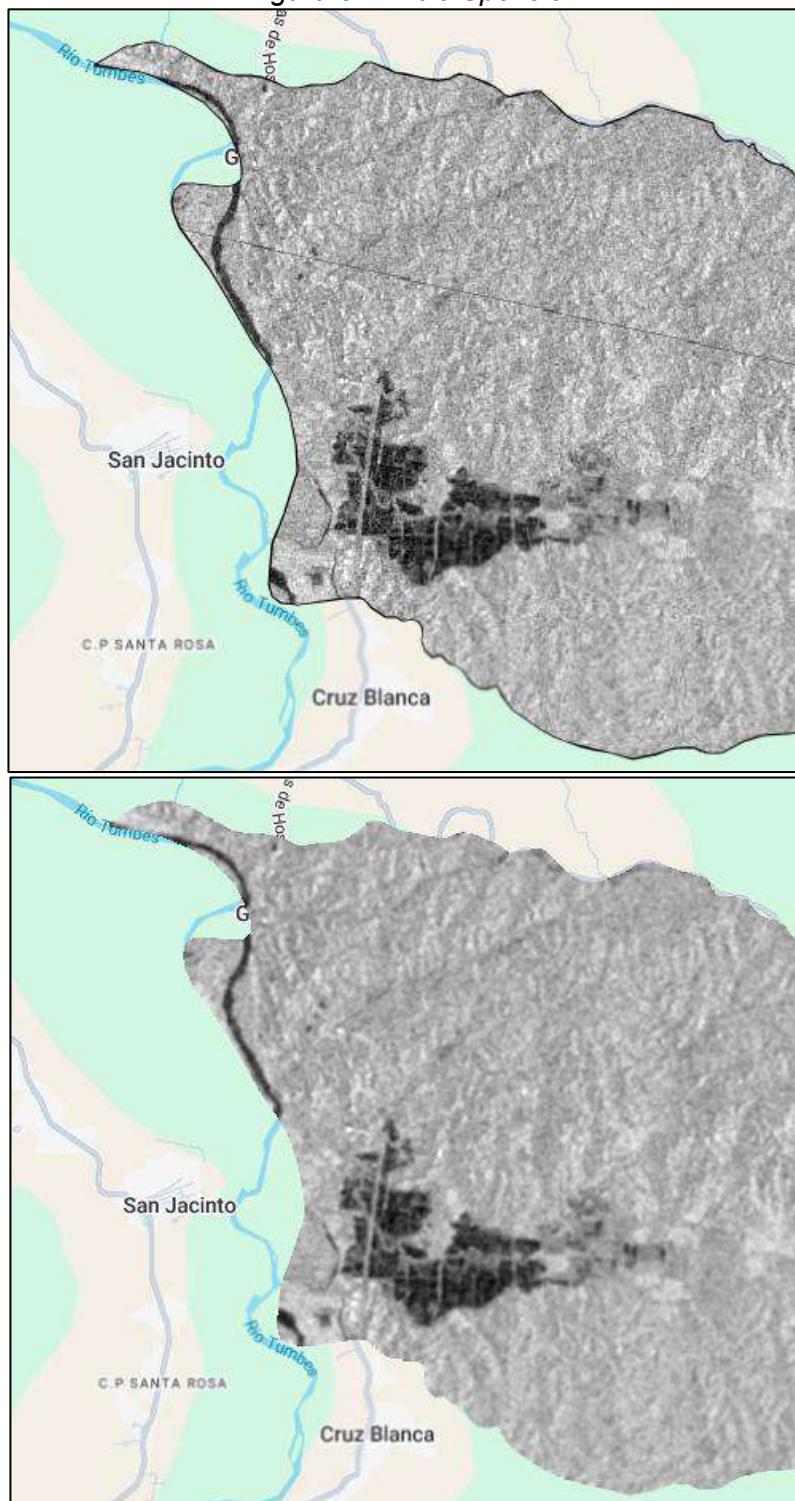
8.3.2. Aplicación de filtro Speckle

Las imágenes SAR presentan un ruido característico, conocido como speckle o de tipo “sal y pimienta”, originado por la naturaleza coherente de la señal de radar. Este ruido se manifiesta como un patrón granular que puede dificultar la interpretación visual y la extracción de información.

Con el fin de mitigar este efecto, se aplicó un filtro *speckle* orientado a reducir el ruido mientras se preservan los bordes y detalles relevantes de las coberturas. La aplicación de este filtro no solo mejora la calidad visual de la imagen, sino que también estabiliza los valores de retrodispersión, condición necesaria para los procesos posteriores de análisis.

Un filtrado adecuado permite alcanzar un equilibrio entre el suavizado del ruido y la conservación de información útil, garantizando una representación más confiable de las superficies afectadas.

Figura 37: Filtro Speckle



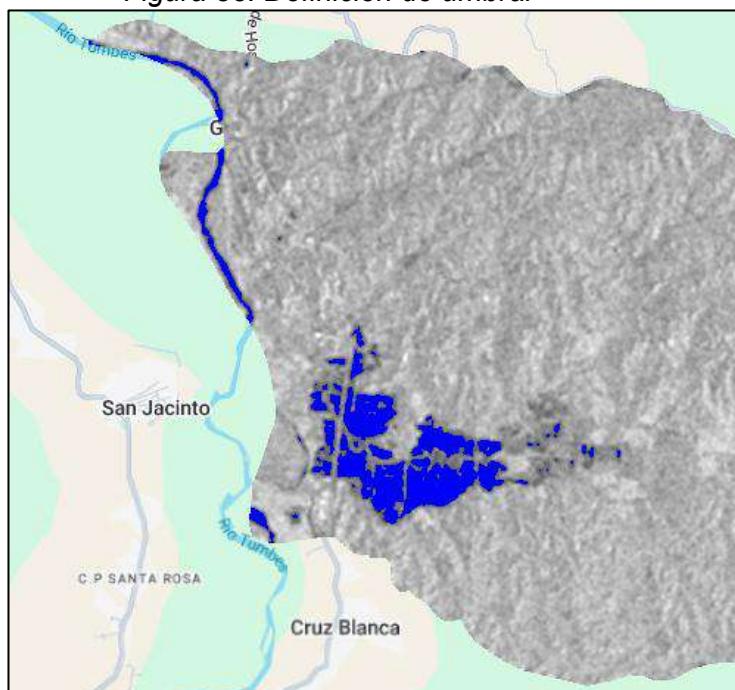
Nota. Las tonalidades negras indican presencia de agua, comparada antes y después de aplicar el filtro Speckle.

8.3.3. Aplicación de umbral de retrodispersión

En este paso se definió un valor de retrodispersión que permitió diferenciar las áreas con presencia de agua de aquellas que no la presentan. El agua libre suele mostrar valores bajos de retrodispersión, debido a que la señal de radar se refleja en dirección opuesta al sensor, generando zonas oscuras en la imagen.

El umbral fue ajustado de manera iterativa en función de las áreas oscuras observadas, considerando la polarización seleccionada. Una adecuada definición de este valor asegura que las áreas clasificadas como agua correspondan efectivamente a zonas inundadas y no a coberturas con comportamiento similar, como suelos saturados o superficies lisas no acuáticas. Por ello es importante complementar con trabajo de campo a fin de contrastar los valores obtenidos de la extensión de la inundación.

Figura 38: Definición de umbral



Nota. En color azul se observan las áreas clasificadas con presencia de agua según el umbral de retrodispersión.

8.3.4. Generación de máscara de agua permanente y suelo urbano

Con el objetivo de reducir falsos positivos, se generó una máscara para excluir cuerpos de agua permanentes (lagos, lagunas y ríos) y zonas urbanas, ya que estas coberturas pueden presentar valores de retrodispersión similares a los de una inundación.

Ambas máscaras se obtuvieron del mapa global de cobertura terrestre al año 2021, elaborado por la Agencia Espacial Europea (ESA) con una resolución espacial de 10 metros a partir de datos Sentinel-1 y Sentinel-2. Dicho mapa

clasifica el territorio en 11 categorías, como se muestra en la figura correspondiente.

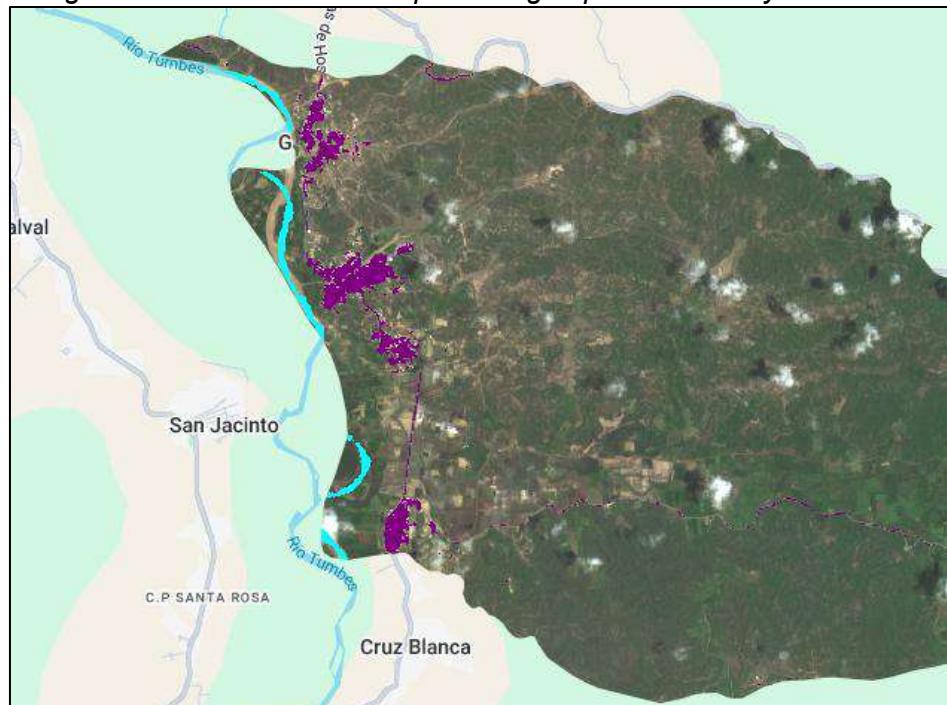
Figura 39: Tabla de clases de mapa de cobertura terrestre a nivel global

Value	Color	Description
10	#2e3131	Tree cover
20	#ffbb22	Shrubland
30	#ffff4c	Grassland
40	#f09fff	Cropland
50	#e00000	Built-up
60	#b4b4b4	Bare / sparse vegetation
70	#f0f0f0	Snow and ice
80	#0064cc	Permanent water bodies
90	#009ba0	Herbaceous wetland
95	#00c175	Mangroves
100	#fae6a0	Moss and lichen

Fuente: European Space Agency (ESA), 2021.

En la Figura 40 se muestran las máscaras de agua permanente en color celeste y el casco urbano de color morado. La exclusión de estas áreas permitió concentrar el análisis únicamente en inundaciones recientes o temporales, evitando considerar superficies ocupadas de manera permanente por cuerpos de agua o infraestructura urbana. De esta forma se reduce el riesgo de sobreestimaciones y se incrementa la fiabilidad del producto final.

Figura 40: Máscaras de cuerpos de agua permanentes y área urbana



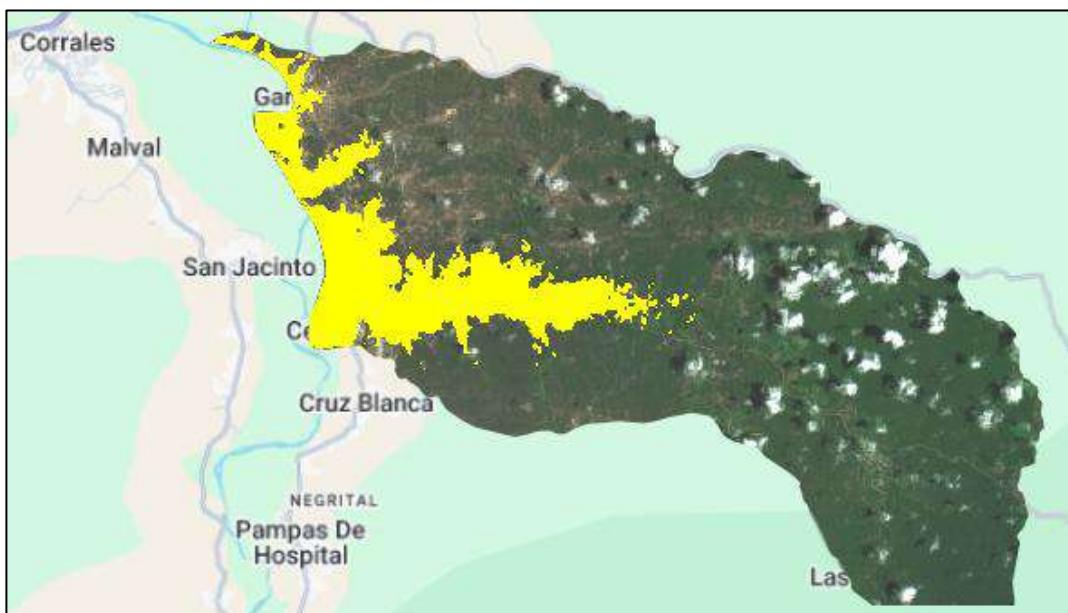
Nota. Las áreas en color morado corresponden al casco urbano, mientras que las áreas en color celeste representan cuerpos de agua permanentes.

8.3.5. Filtro topográfico

El modelo digital de elevación (DEM) y el cálculo de pendiente se emplearon para realizar un filtro topográfico a la imagen, puesto que las zonas inundables tienden a acumularse en zonas bajas, planas y de baja pendiente, por lo que las áreas identificadas en pendiente alta serían falsos positivos.

El DEM empleado se obtuvo de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA), con una resolución de 30 metros del año 2000. Su aplicación permitió reducir la probabilidad de clasificar erróneamente laderas o superficies inclinadas como zonas inundadas, situación que suele darse frecuentemente con imágenes radar debido al ángulo de adquisición del sensor.

Figura 41: Filtro topográfico



Nota. Las áreas en color amarillo representan el resultado de la aplicación del filtro topográfico.

8.3.6. Ajuste de parámetros

En esta etapa se ajustan valores clave, como el umbral de inundación, el nivel de suavizado del filtro speckle y los parámetros asociados al filtrado topográfico. El objetivo fue encontrar la combinación más adecuada que maximizara la detección de inundaciones reales y, al mismo tiempo, redujera la presencia de falsos positivos.

Este ajuste se desarrolló de manera iterativa, combinando la observación visual de los resultados con el conocimiento previo del área de estudio y, cuando fue posible, con la comparación frente a datos de campo o reportes oficiales.

8.3.7. Filtrado de pixeles

Posteriormente, se aplicó un filtrado espacial basado en la conectividad de píxeles, sobre los resultados obtenidos tras el filtro topográfico y el ajuste de

parámetros. Este procedimiento permitió descartar agrupaciones pequeñas o aisladas que no correspondían a superficies inundadas, logrando así una delimitación más precisa y continua de las áreas afectadas.

8.3.8. Exportación de resultados en formato vectorial

Finalmente, el ráster resultante se exportó en formato vectorial, lo que permitió integrar la información en sistemas de información geográfica (SIG). De este modo, fue posible elaborar mapas temáticos y obtener estadísticas espaciales, tales como la estimación de superficie inundada y la identificación de coberturas afectadas. Estos insumos resultan esenciales para la evaluación de daños y el análisis de necesidades posteriores al evento.

8.4. Limitaciones en el registro y georeferenciación de emergencias del SINPAD para los meses de febrero y marzo

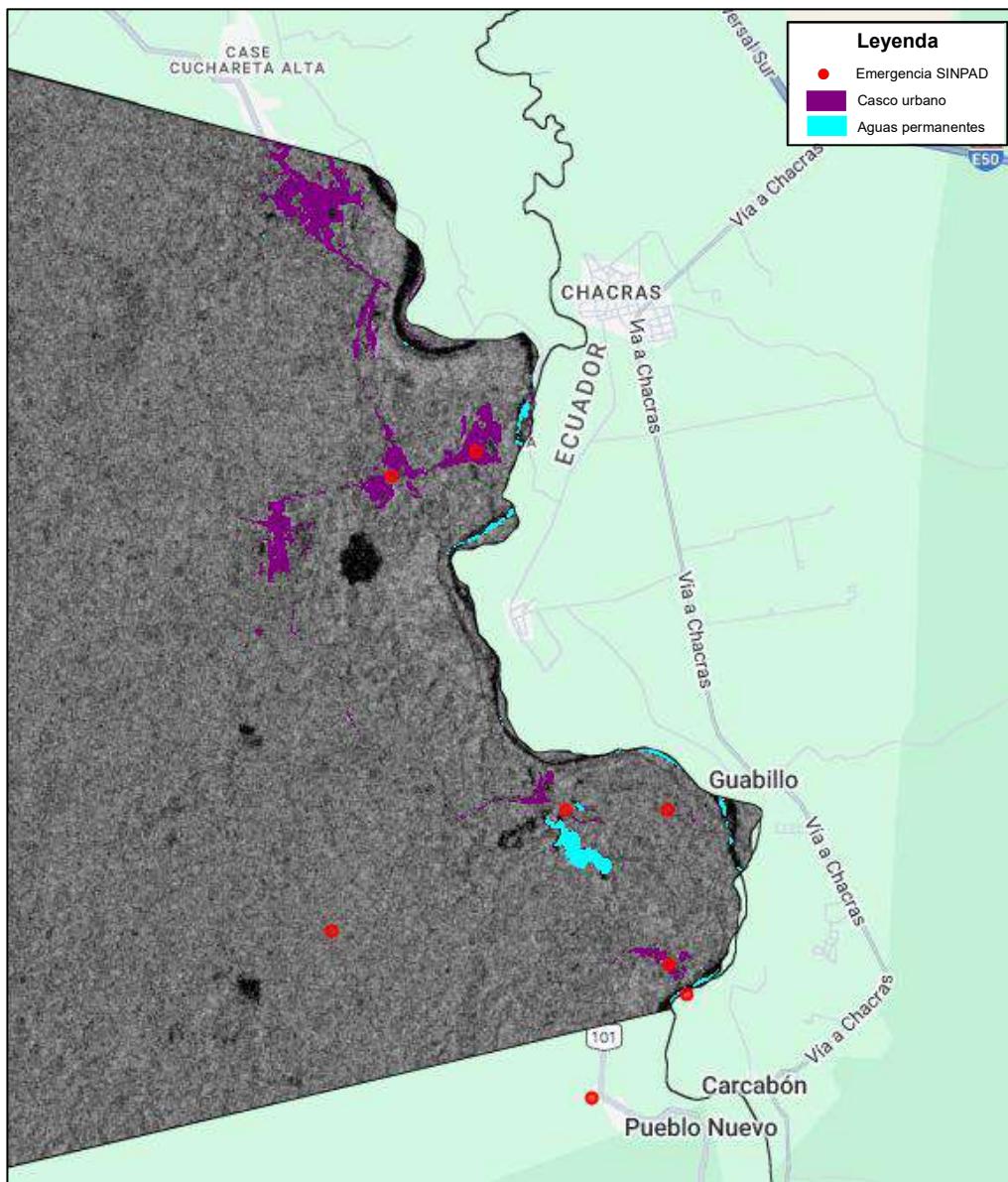
La localización de las emergencias registradas en el SINPAD, visualizadas en la plataforma Google Earth Engine (GEE), evidenció que estas no siempre coinciden con las áreas afectadas por inundaciones si no que se encuentran ubicadas en el casco urbano.

Esta discrepancia se debe al procedimiento de registro empleado en el SINPAD, donde las coordenadas pueden ingresarse manualmente o mediante georreferenciación en el mapa.

El método manual consiste en posicionar el marcador dentro del polígono correspondiente al centro poblado y señalar la zona de la emergencia. Este procedimiento es más propenso a errores, ya que la precisión de la ubicación depende directamente del criterio y la exactitud del usuario al realizar el registro. Como resultado, se generan inconsistencias entre la ubicación registrada del evento y el área afectada real.

En la Figura 42, se señala con círculos rojos la ubicación de las emergencias registradas en el SINPAD por inundación ocasionada por desborde de río. Los polígonos de color morado corresponden al casco urbano y los polígonos de color celeste a cuerpos de agua permanente. Acorde, a lo señalado previamente, los círculos rojos deberían de estar ubicados cerca al río Zarumilla y no en el casco urbano, dejando en evidencia la necesidad de mejorar los procedimientos de georreferenciación para una mayor precisión.

Figura 42: Ubicación de registro SINPAD



El registro de la evaluación rápida de algunas emergencias por inundación o lluvias intensas en el SINPAD no se realizaron dentro de las primeras cuatro horas posteriores al evento, tal como lo establecen los lineamientos y la guía EDAN. Este incumplimiento se evidenció mediante el análisis de las precipitaciones registradas en las estaciones meteorológicas del SENAMHI para el departamento de Tumbes, identificando así que la emergencia fue registrada al día siguiente de la emergencia.

9. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología en los trece distritos del departamento de Tumbes. Se identificaron las áreas inundadas durante la temporada de lluvias y, a partir de ellas, se determinaron las superficies agrícolas afectadas. Este análisis permitió reconocer no solo la extensión del impacto, sino también su distribución espacial en el territorio, ofreciendo un panorama más detallado de la magnitud de las afectaciones.

Para la estimación de las áreas agrícolas afectadas se empleó el Mapa Nacional de Superficie Agrícola, actualizado al año 2024 y aprobado mediante la Resolución Ministerial N° 0026-2025-MIDAGRI. Esta base de datos integra información de cultivos permanentes, transitorios y en barbecho o descanso, así como tierras con y sin cultivo. Su elaboración se sustentó en la interpretación visual y en el procesamiento de imágenes satelitales Planet y Google Earth, complementadas con capas geográficas temáticas auxiliares que permitieron afinar la delimitación.

Finalmente, los valores obtenidos sobre las superficies afectadas fueron contrastados con la información declarada por los gobiernos locales y regionales en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD), permitiendo así validar los resultados obtenidos.

9.1. Provincia Zarumilla

La provincia de Zarumilla se ubica en la zona fronteriza del departamento de Tumbes, colindando con Ecuador. Durante el periodo de estudio, las lluvias intensas provocaron el desborde de cuerpos de agua, generando inundaciones de distinta magnitud que impactaron a los distritos de la provincia.

En los apartados siguientes se presentan, de manera diferenciada por distrito, las áreas inundadas y las superficies agrícolas afectadas. Estos resultados fueron contrastados con la información reportada en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD) por los gobiernos locales, a fin de validar y complementar la información oficial con el análisis realizado a partir de imágenes satelitales.

9.1.1. Distrito Aguas Verdes

En el distrito de Aguas Verdes se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas en febrero, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 24 de febrero y 28 de marzo, por lo que en total se consideran tres emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 21: Áreas agrícolas afectadas según el SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Aguas Verdes

SINPAD				MIDAGRI	Google Earth Engine	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
24/02/2025	Inundación	--	--	1 705.49	384.87	5.56
28/02/2025	Lluvias intensas	605.28	64.5		412.79	4.59
28/03/2025	Inundación	--	--		460.33	5.61

En la imagen satelital del 24 de febrero se visualizaron áreas afectadas por inundación. A través del análisis con GEE se estimó un total de 384.87 hectáreas de área inundada, de las cuales 5.56 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Además, la Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Tumbes, permitió identificar que 208.19 hectáreas de estanques destinados a la acuicultura resultaron afectados. Cabe señalar que las precipitaciones registradas en los días 21 (186.4 mm) y 23 de febrero (48 mm) en la estación meteorológica El Salto, sumadas al aumento de caudal aguas arriba del río Zarumilla, habrían influido en el desencadenamiento de la inundación.

El 28 de febrero se reportó en el SINPAD 605.28 hectáreas de cultivos afectados y 64.5 hectáreas perdidas. Sin embargo, los valores obtenidos mediante el análisis en GEE muestran un área inundada de 412.79 ha, de las cuales solo 4.59 ha corresponden a superficie agrícola. Este resultado representa aproximadamente el 0.27 % de la superficie agrícola total reportada por MIDAGRI (1 705.49 ha), una cifra significativamente menor a la registrada por el SINPAD. Esta diferencia puede explicarse porque las imágenes disponibles para el análisis corresponden al 4 y 6 de marzo, al no contar con capturas más cercanas al 28 de febrero.

Por la ubicación de los sectores reportados como afectados en esa fecha, es probable que la emergencia se haya producido días previos, coincidiendo mejor con la inundación observada en la imagen del 24 de febrero, y que el registro en el SINPAD se realizara posteriormente (Ver Figura 44).

Finalmente, el 28 de marzo se identificó un total de 460.33 hectáreas inundadas, de las cuales 5.61 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría relacionado con las precipitaciones ocurridas el 27 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Zarumilla, ya que las estaciones El Salto y Papayal registraron 33.5 mm y 98.2 mm de lluvia, respectivamente, lo que habría favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Aguas Verdes, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 43: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Aguas Verdes

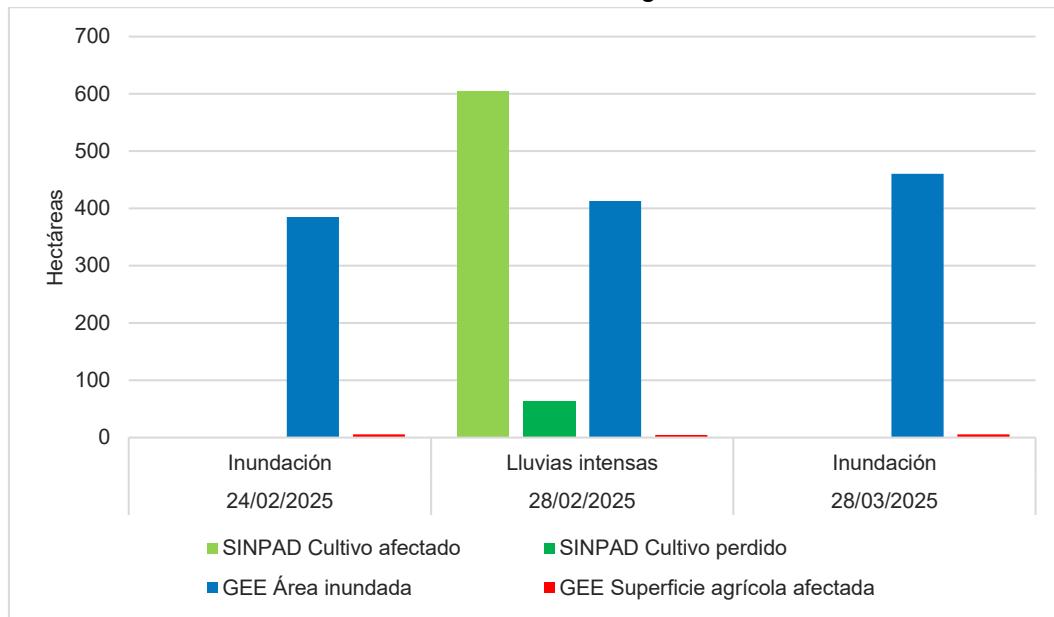
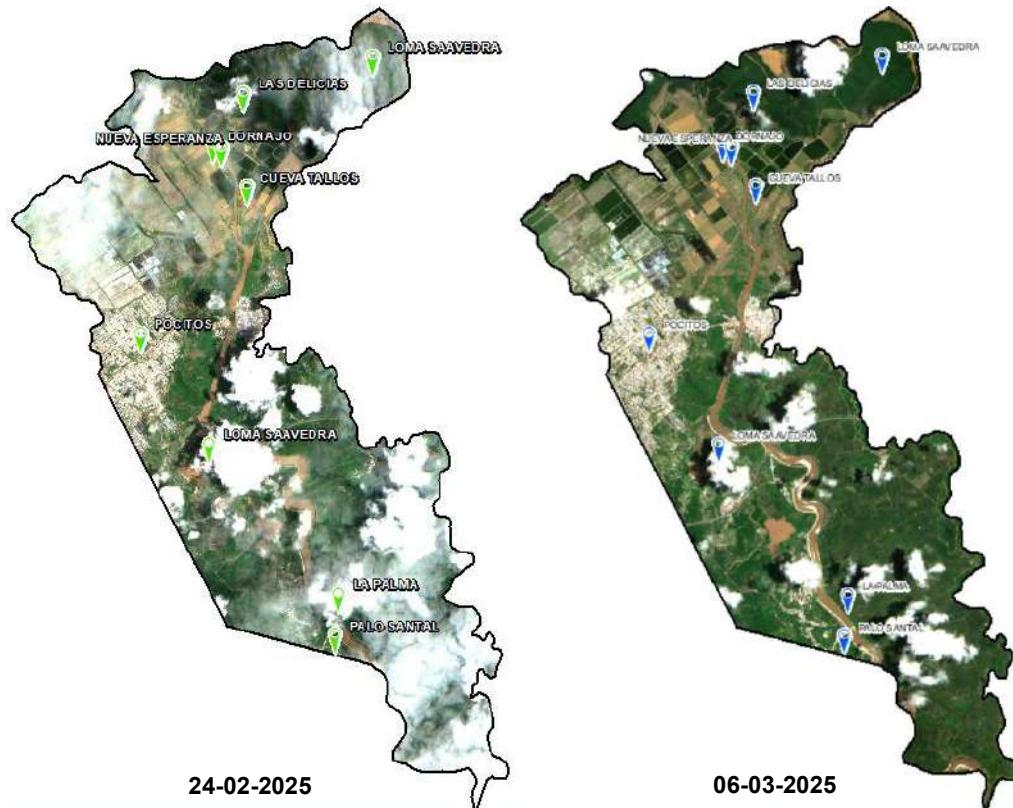


Figura 44: Ubicación de localidades con afectación en agricultura del 28 de febrero del 2025



Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 45: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Aguas Verdes en el mes de febrero del 2025

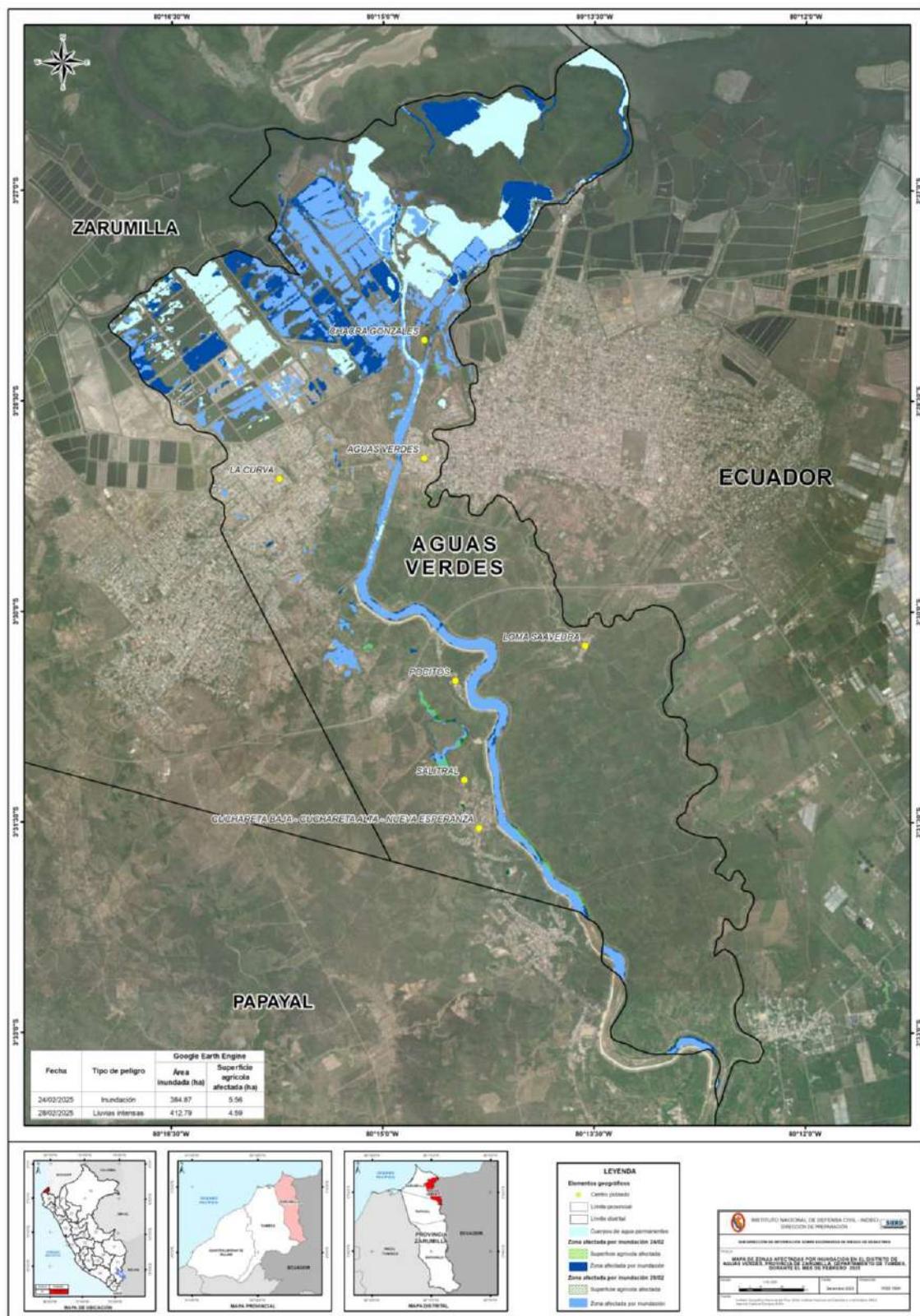
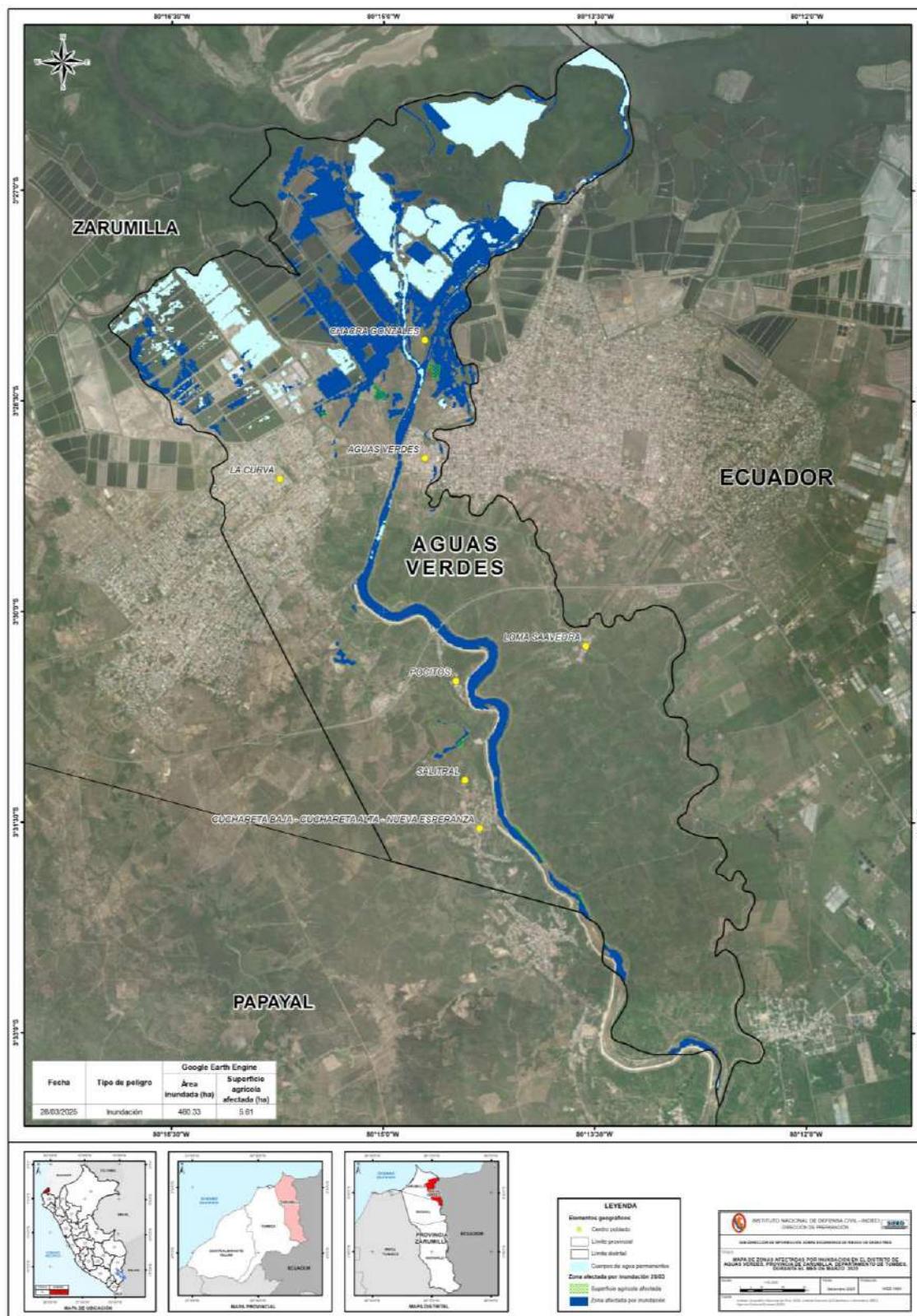


Figura 46: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Aguas Verdes en el mes de marzo del 2025



9.1.2. Distrito Papayal

En el distrito de Papayal se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas en marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales el 6 de marzo, por lo que en total se consideran dos emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 22: Áreas agrícolas afectadas según el SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Papayal

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
06/03/2025	Lluvias intensas	640.35	1.00	4 083.60	98.37	14.95
27/03/2025	Inundación	--	--		79.28	12.91

El 06 de marzo se reportó en el SINPAD 640.35 hectáreas de cultivos afectados y 1 ha de cultivos perdidos, como consecuencia de la inundación originada por el desborde de río tras las lluvias intensas. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó un área inundada de 98.37 hectáreas inundadas, de las cuales 14.95 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este valor representa aproximadamente el 0.37% de la superficie agrícola total reportada por MIDAGRI (4 083.60 ha).

Las diferencias entre los valores reportados por el SINPAD y los obtenidos a partir del análisis satelital podrían estar relacionadas con la hora de adquisición de las imágenes, puesto que se dispuso de una imagen Sentinel-2 del 06 de marzo y una imagen radar del 08 de marzo, y en ambas no fue posible identificar una extensión de áreas afectadas equivalente a la reportada en el SINPAD.

En la imagen satelital del 27 de marzo se identificaron 79.28 hectáreas inundadas, de las cuales 12.91 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este valor representa aproximadamente el 0.372% de la superficie agrícola del distrito.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Papayal, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 47: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Papayal

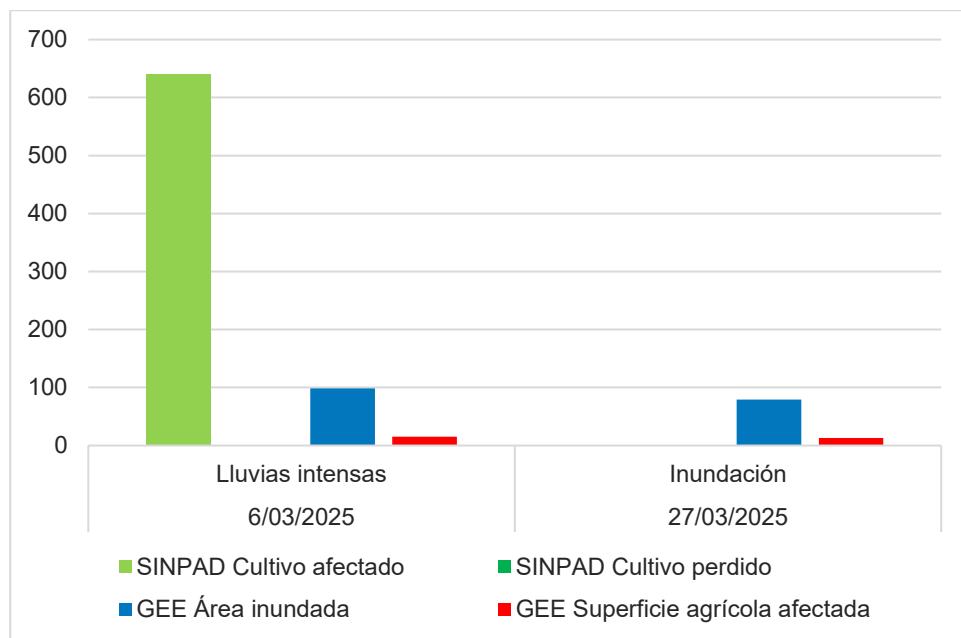
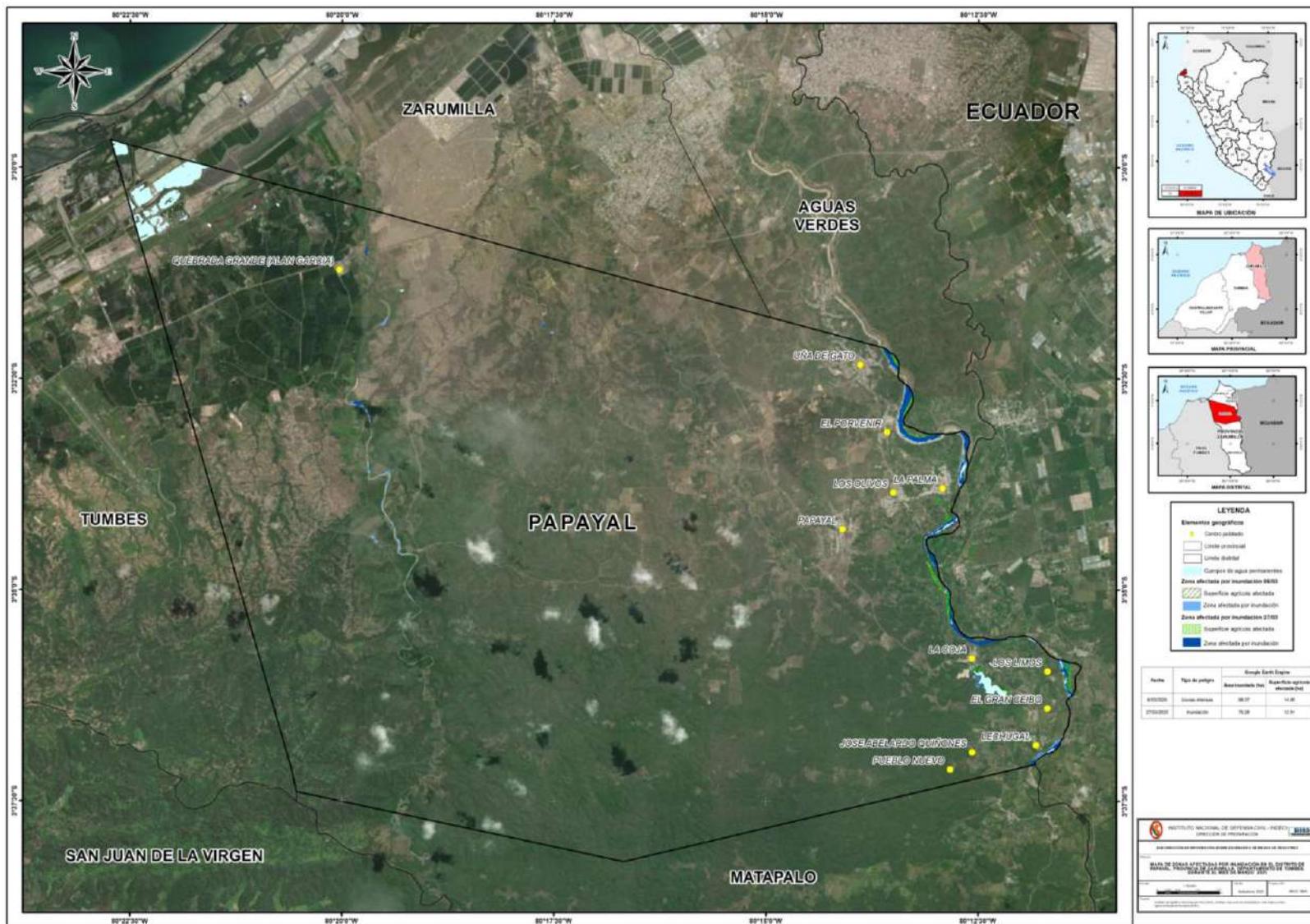


Figura 48: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Papayal en el mes de marzo del 2025



9.1.3. Distrito Matapalo

En el distrito de Matapalo se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas el 27 de marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 6 y 14 de marzo, por lo que en total se consideran tres emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 23: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Matapalo

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
06/03/2025	Inundación	--	--	1 705.49	68.88	2.83
14/03/2025	Inundación	--	--		88.53	4.73
27/03/2025	Lluvias intensas	313.70	2.00		105.44	7.36

El 6 de marzo, la imagen satelital permitió identificar 68.88 hectáreas inundadas, de las cuales 2.83 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este valor representa aproximadamente el 0.17 % de la superficie agrícola total reportada por MIDAGRI (1 705.49 ha).

El 14 de marzo, el análisis realizado en GEE estimó un total de 88.53 hectáreas inundadas, de las cuales 4.73 hectáreas corresponden a superficie agrícola, lo que equivale al 0.28% de la superficie agrícola distrital.

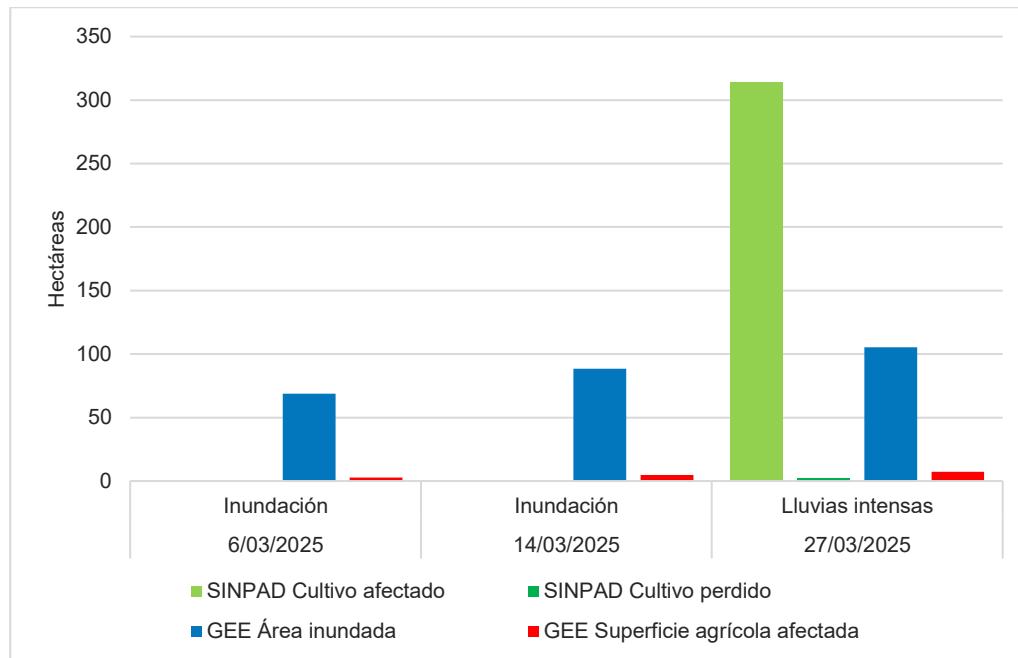
Finalmente, el 27 de marzo se reportó en el SINPAD un total de 313.70 hectáreas de cultivos afectados y 2 hectáreas de cultivo perdidos. Sin embargo, el análisis satelital permitió identificar 105.44 hectáreas inundadas, de las cuales 7.36 corresponden a superficie agrícola. Este resultado representa aproximadamente el 0.43 % de la superficie agrícola distrital, una cifra significativamente menor a la registrada por el SINPAD.

Las diferencias entre los valores reportados por el SINPAD y los obtenidos mediante el análisis satelital podrían estar relacionadas con la fecha de adquisición de las imágenes. Si bien se contó con una imagen radar del 29 de marzo, no fue posible identificar una extensión de áreas afectadas equivalente a la reportada, aun cuando esta correspondía a dos días posteriores a la emergencia ocasionada por el desborde del río.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Matapalo, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

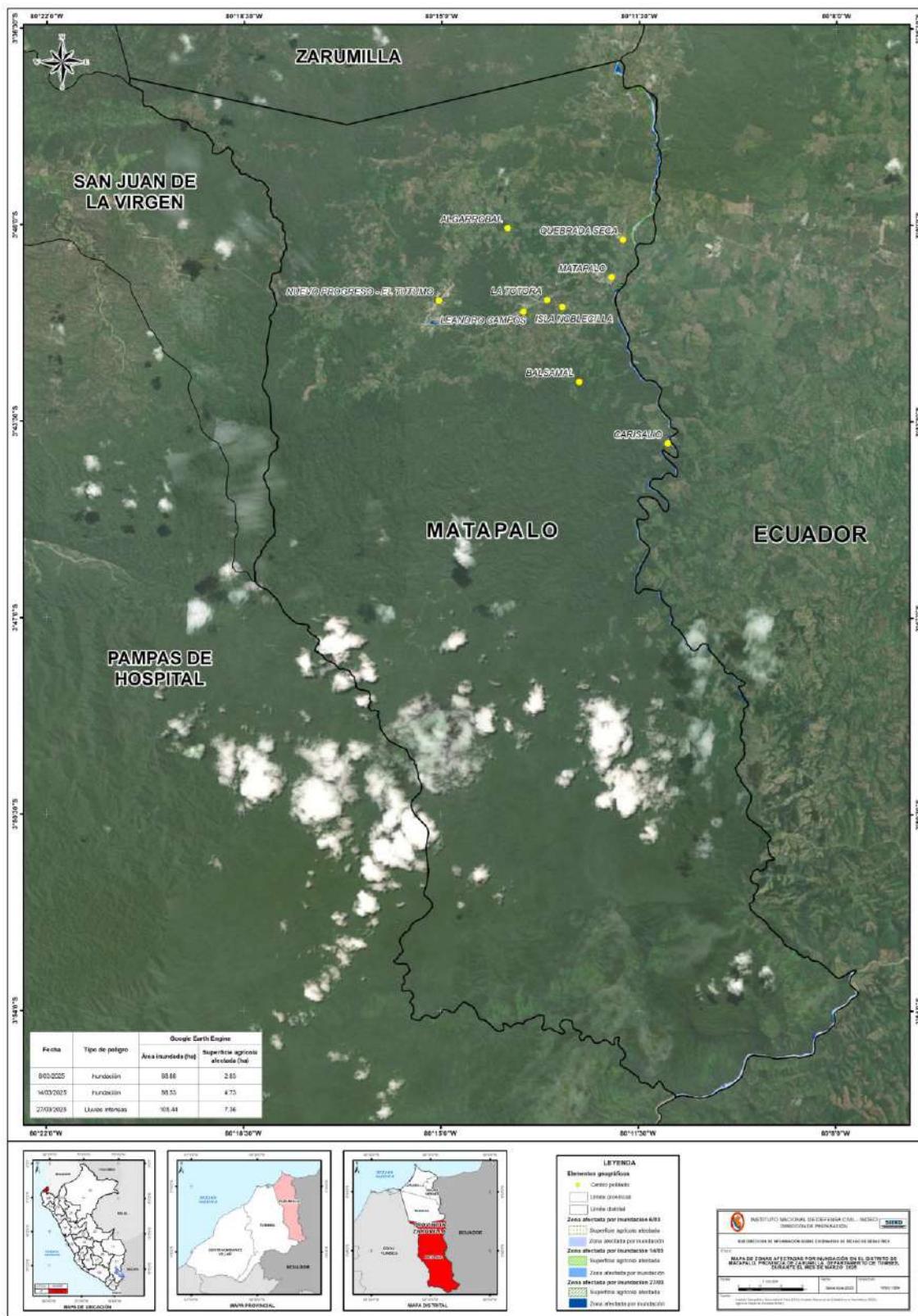
Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 49: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Matapalo



Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 50: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Matapalo en el mes de marzo del 2025



9.1.4. Distrito Zarumilla

En el distrito de Zarumilla se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas el 1 de marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales el 28 de marzo, por lo que en total se consideran dos emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 24: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Zarumilla

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
01/03/2025	Lluvias intensas	36.25	0.00	631.74	350.73	0.0039
28/03/2025	Inundación	--	--		113.94	1.43

El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 36.25 hectáreas de cultivos afectados, como consecuencia de la inundación originada por el desborde de río tras las lluvias intensas. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó un área inundada de 350.73 hectáreas, de las cuales 39 metros correspondían a superficie agrícola, una cifra considerablemente menor a la registrada por el SINPAD. Esta diferencia puede explicarse porque las imágenes disponibles para el análisis corresponden al 4 y 6 de marzo, al no contar con capturas más cercanas al 1 de marzo.

Finalmente, el 28 de marzo se identificó un total de 113.94 hectáreas inundadas, de las cuales 1.43 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría relacionado con las precipitaciones ocurridas el 27 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Zarumilla, ya que las estaciones El Salto y Papayal registraron 33.5 mm y 98.2 mm de lluvia, respectivamente, lo que habría favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Zarumilla, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 51: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Zarumilla

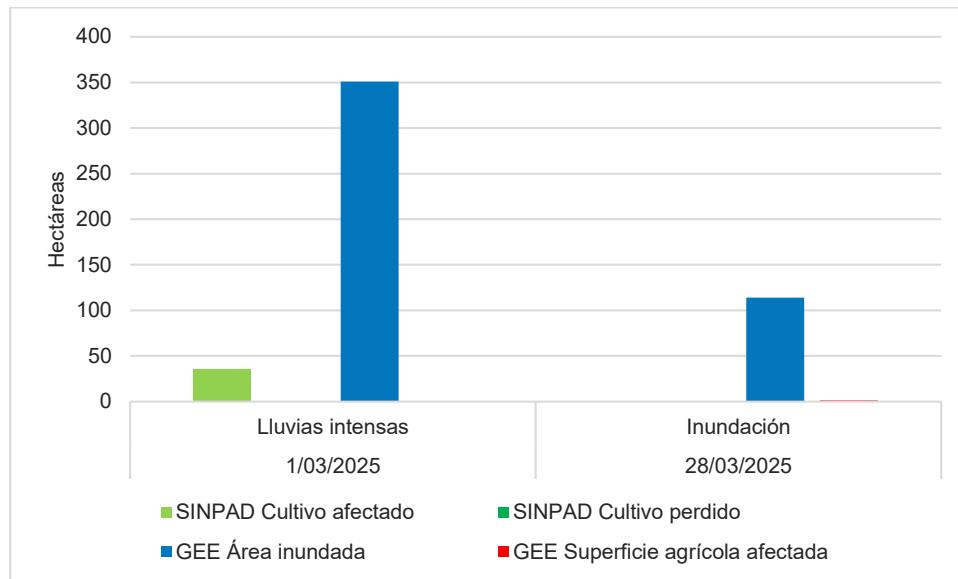


Figura 52: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Zarumilla en el mes de marzo del 2025



9.2. Provincia Tumbes

La provincia de Tumbes, ubicada en la zona norte del departamento y atravesada por el río del mismo nombre, concentra la mayor densidad poblacional y actividad económica de la región. Durante el periodo analizado, las lluvias intensas provocaron desbordes del río Tumbes y de quebradas tributarias, generando afectaciones significativas tanto en áreas cultivadas como en centros poblados.

En los siguientes apartados se presentan los resultados desagregados por distrito, con la identificación de las áreas inundadas y superficies agrícolas comprometidas. Dichos resultados fueron comparados con la información registrada en el SINPAD por las autoridades locales, a fin de validar y complementar la información oficial con el análisis realizado a partir de imágenes satelitales.

9.2.1. Distrito Corrales

En el distrito de Corrales se registró en el SINPAD dos emergencias por inundación por desborde de río, los cuales acorde a sus reportes, ocasionaron daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales el 29 de marzo, por lo que en total se consideran dos emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 25: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Corrales

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
17/02/2025	Inundación	37.89	0.00	5 449.34	--	--
01/03/2025	Inundación	1 884.93	0.00		2 886.72	2 573.35
29/03/2025	Inundación	--	--	--	89.56	27.36

El 17 de febrero se reportó en el SINPAD 37.89 hectáreas de cultivos afectados, lo que representa el 0.69% de la superficie agrícola total reportada por MIDAGRI (5 449.35 ha). Para la identificación de las áreas inundadas con GEE se utilizó la imagen satelital del 22 de febrero; sin embargo, no fue posible distinguir con claridad las zonas afectadas, ya que habían transcurrido cinco días desde el evento y gran parte de la superficie agrícola se encontraba bajo riego, presentando tonalidades marrones que en la imagen satelital generaban una respuesta espectral similar a la de zonas anegadas (Figura 54).

El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 1 884.93 hectáreas de cultivo afectado, equivalentes al 34.59% de la superficie agrícola distrital. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó un área inundada de 2 886.72 hectáreas, de las

cuales 2 573.35 correspondieron a superficie agrícola, lo que representa el 47.22 % de la superficie agrícola del distrito, un valor significativamente mayor a la registrada por el SINPAD. Esta diferencia puede deberse a que las imágenes disponibles para el análisis corresponden al 4 y 6 de marzo, al no contarse con capturas más cercanas al 1 de marzo.

Finalmente, el 29 de marzo se identificó un total de 89.56 hectáreas inundadas, de las cuales 27.36 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría asociado con las precipitaciones registradas el 27 y 28 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Tumbes, que habrían favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Corrales, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 53: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Corrales

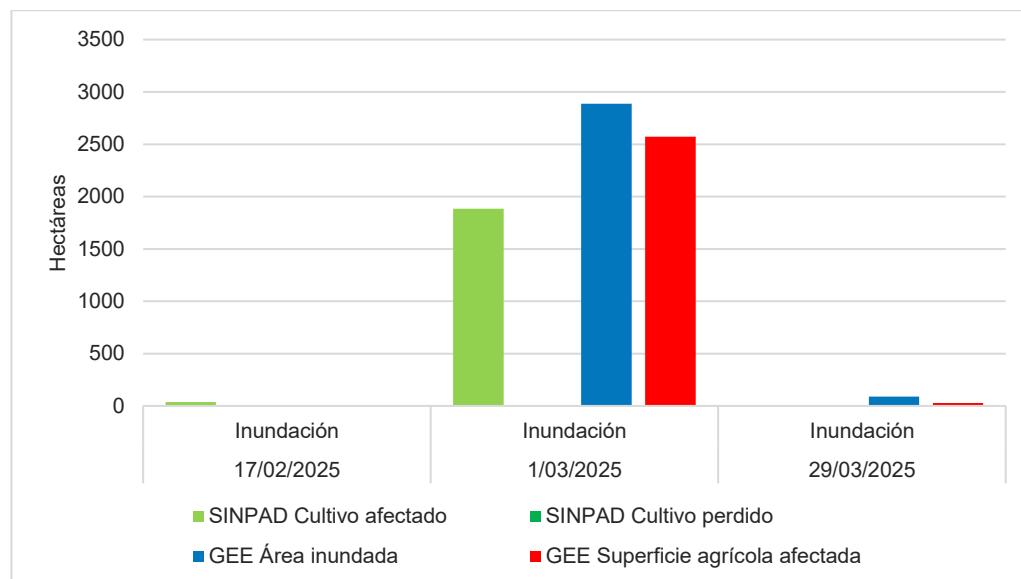


Figura 54: Cultivos bajo riego en el distrito de Corrales el 22 de febrero del 2025

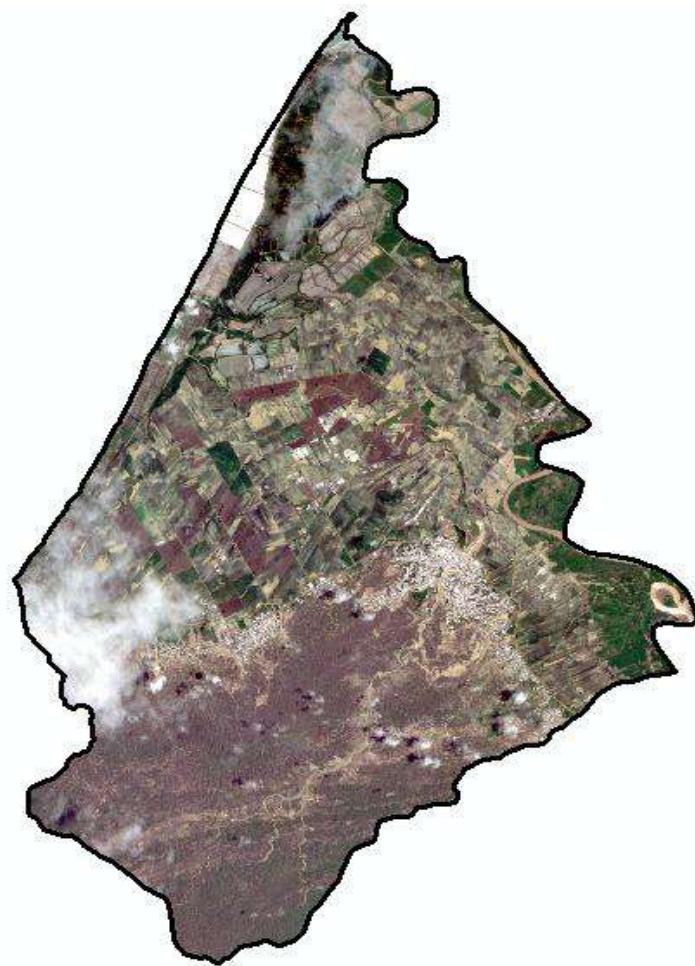


Figura 55: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Corrales en el mes de marzo del 2025



9.2.2. Distrito La Cruz

Durante el periodo de estudio se registraron lluvias intensas que ocasionaron la activación de quebradas intermitentes en el distrito de La Cruz, generando daños en viviendas, de acuerdo con los reportes del SINPAD. A partir de la revisión de imágenes satelitales correspondientes a los días 12 y 22 de febrero, así como al 4 de marzo, se observó que la imagen del 12 de febrero muestra superficie agrícola bajo riego, en tonalidades marrones (Figura 56), sin evidencia de afectación.

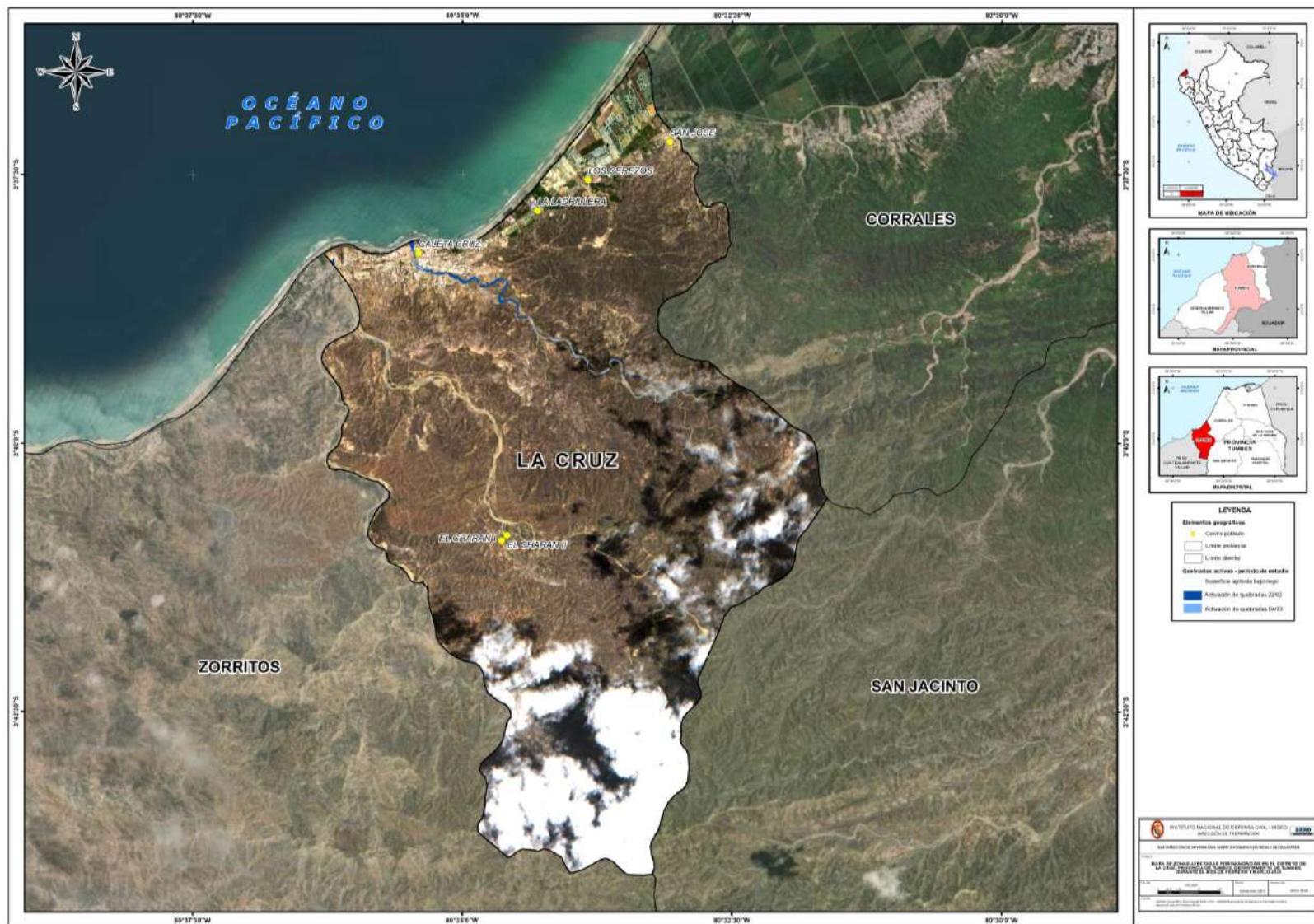
En cambio, en las imágenes del 22 de febrero y 4 de marzo, mediante las técnicas de análisis aplicadas, fue posible evidenciar la activación de quebradas, aunque estas no afectaron directamente los campos agrícolas debido a su localización. Este aspecto se confirma en los registros del SINPAD, donde no se reporta afectación a cultivos, lo cual resulta coherente con el hecho de que el distrito orienta su economía principalmente hacia la actividad turística y dispone únicamente de 189.88 hectáreas de superficie agrícola.

Cabe señalar que, al tratarse de cursos de agua intermitentes y no permanentes, y considerando que las imágenes disponibles fueron adquiridas posteriormente a la activación o presentaban una alta cobertura de nubosidad, no fue posible recuperar con precisión la extensión total de la activación de las quebradas. Por este motivo no se estimó un valor numérico de superficie inundada; sin embargo, se presenta la información cualitativa obtenida a partir del análisis satelital realizado.

Figura 56: Superficie agrícola bajo riego del distrito La Cruz



Figura 57: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de La Cruz en el mes de marzo del 2025



9.2.3. Distrito Pampas de Hospital

En el distrito de Pampas de Hospital se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas en marzo, la cual acorde a sus reportes ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 22 y 27 de febrero y 29 de marzo, por lo que en total se consideran cuatro emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 26: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Pampas de Hospital

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
22/02/2025	Inundación	--	--	2 317.32	211.44	10.33
27/02/2025	Inundación	--	--		118.64	14.04
01/03/2025	Lluvias intensas	247.80	0.00		521.95	248.02
29/03/2025	Inundación	--	--		207.64	29.72

En la imagen satelital del 22 de febrero se visualizaron áreas afectadas por inundación. A través del análisis con GEE se estimó un total de 211.44 hectáreas de áreas inundadas, de las cuales 10.33 correspondieron a superficie agrícola. Posteriormente, el 27 de febrero se estimó un total de 118.64 hectáreas inundadas, con 14.04 hectáreas de superficie agrícola afectada, ambas sin reportes de afectación en el SINPAD.

El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 247.80 hectáreas de cultivos afectados, equivalente al 10.70 % de la superficie agrícola total del distrito (2 317.32 ha). En contraste, el análisis realizado con GEE identificó 521.95 hectáreas inundadas, de las cuales 248.02 correspondieron a superficie agrícola, representando el 10.71 % del total agrícola distrital, cifra muy próxima a la registrada por el gobierno local en el SINPAD.

Finalmente, el 29 de marzo se identificó 207.64 hectáreas inundadas, de las cuales con 29.72 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría asociado con las precipitaciones registradas el 27 y 28 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Tumbes, que habrían favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Pampas de Hospital, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 58: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Pampas de Hospital

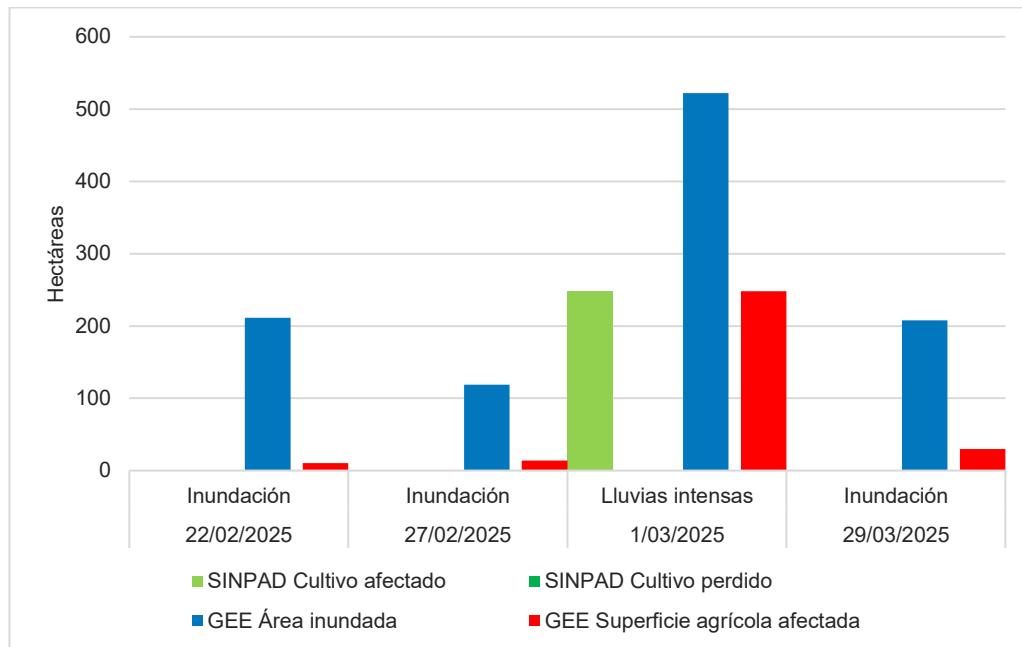


Figura 59: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Pampas de Hospital en el mes de febrero del 2025

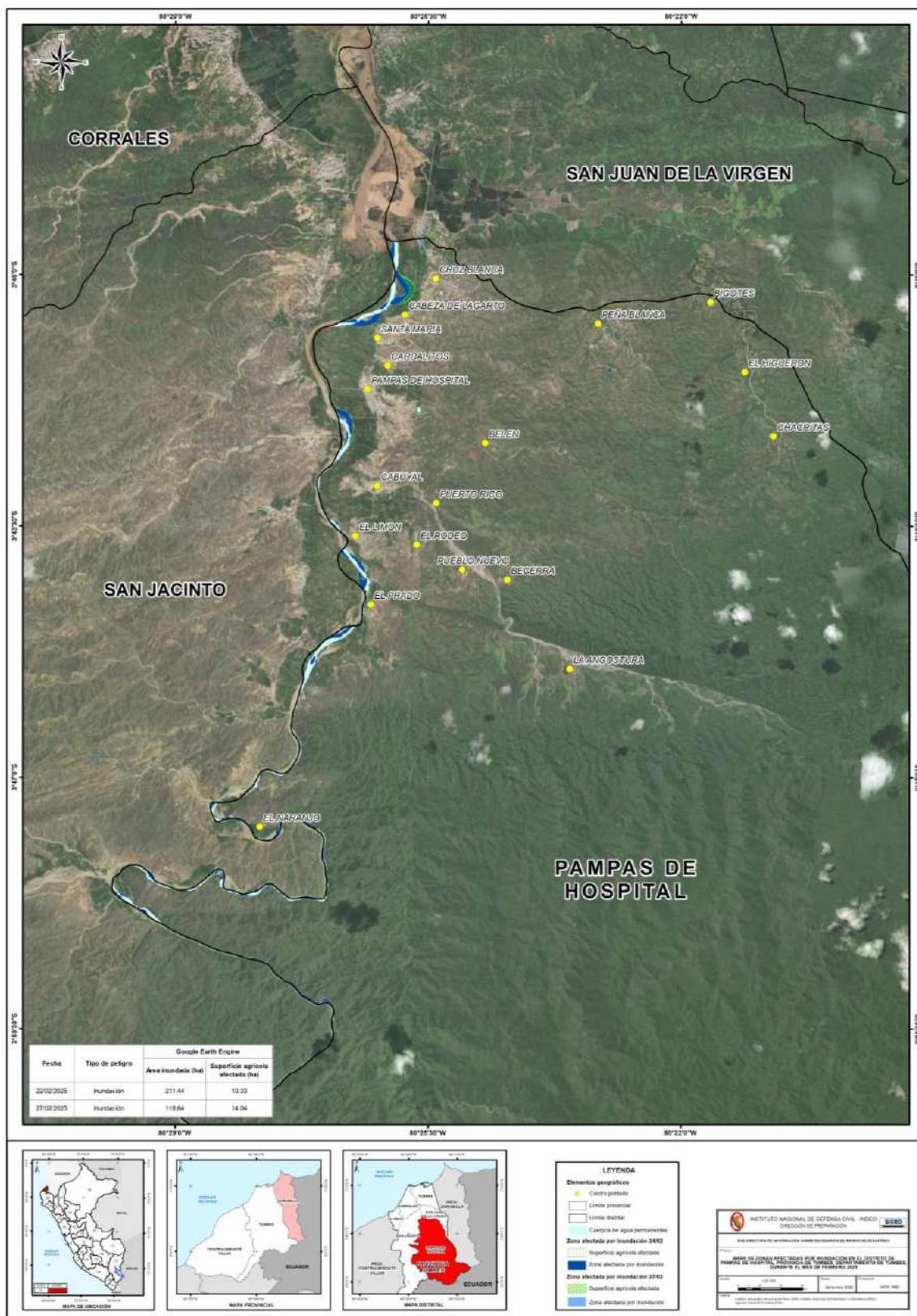
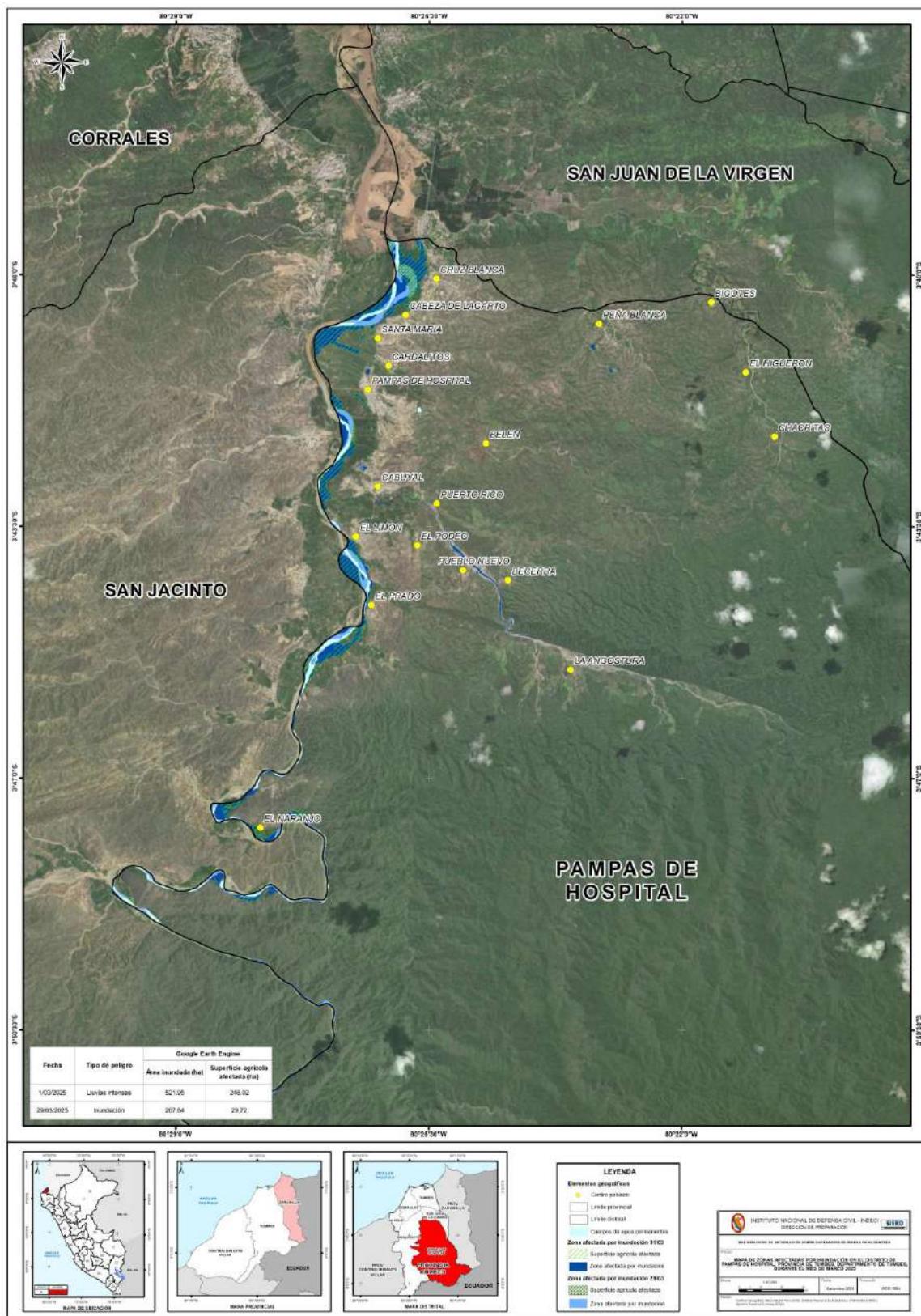


Figura 60: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Pampas de Hospital en el mes de marzo del 2025



9.2.4. Distrito San Jacinto

En el distrito de San Jacinto se registró en el SINPAD una emergencia por inundación por desborde de río el 1 de marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 12, 24 y 27 de febrero y 18 de marzo, por lo que en total se consideran cinco emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 27: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito San Jacinto

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
12/02/2025	Inundación	--	--	1 842.83	246.30	22.10
22/02/2025	Inundación	--	--		208.56	8.70
27/02/2025	Inundación	--	--		150.44	12.70
01/03/2025	Inundación	1249.92	0.00		1 240.48	743.47
18/03/2025	Inundación	--	--		196.69	24.93

En la imagen satelital del 12 de febrero se observó el crecimiento del río Tumbes, el cual generó áreas afectadas por inundación. A través del análisis con GEE se estimó un total de 246.30 hectáreas inundadas, de las cuales 22.10 correspondieron a superficie agrícola. Posteriormente, el 22 de febrero se identificaron un total de 208.56 hectáreas inundadas, con 8.7 hectáreas de superficie agrícola afectada, donde la magnitud del evento fue considerablemente menor que el anterior. Y el 27 de febrero, se estimó 150.44 hectáreas de áreas inundadas, con 12.70 hectáreas de superficie agrícola. Los tres eventos mencionados no presentaron reportes de afectación en el SINPAD.

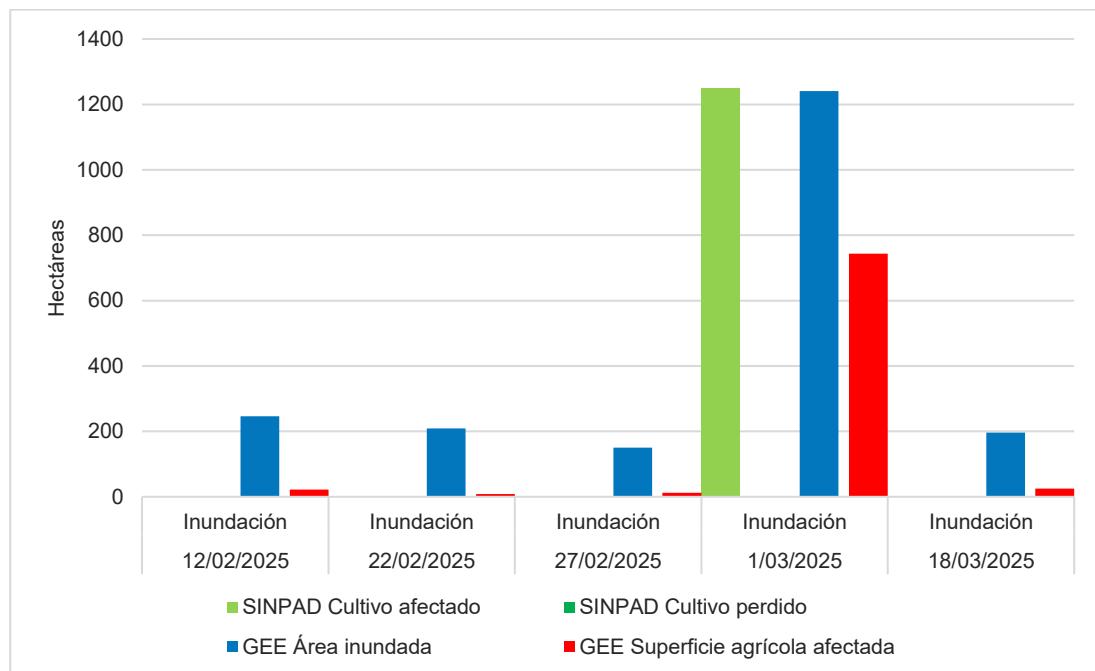
El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 1 249.92 hectáreas de cultivos afectados, como consecuencia de la inundación originada por el desborde de río. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó un área inundada de 1 242.53 hectáreas, de las cuales 743.47 corresponden a superficie agrícola, lo que representa el 40.34% de la superficie agrícola del distrito. Si bien se contó con una imagen óptica del mismo día, la presencia de nubosidad limitó la identificación de la extensión real del área afectada, lo que obligó a complementar el análisis con imágenes de los días 4 y 6 de marzo. A ello se sumó la dificultad de que las zonas anegadas comenzaban a secarse y confundirse con el suelo, lo que hizo necesario aplicar una delimitación manual para mejorar los resultados.

En ese sentido, la clasificación mediante el algoritmo Random Forest permitió identificar un total de 868.05 hectáreas inundadas, de las cuales 399.60 correspondieron a superficie agrícola. Mientras que, a través de la delimitación manual se determinó 374.48 hectáreas inundadas y 343.87 hectáreas de superficie agrícola afectada. En conjunto, estos resultados evidencian que aproximadamente el 69.98 % del área afectada fue identificada mediante la clasificación automática, mientras que el 30.02 % restante requirió intervención manual, asociado principalmente al proceso de secado progresivo del agua y su confusión con el suelo en las imágenes disponibles.

Finalmente, el 18 de marzo se estimó un total de 196.69 hectáreas inundadas, de las cuales 24.93 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría relacionado con las precipitaciones ocurridas días previos tanto aguas arriba como aguas abajo del río Tumbes.

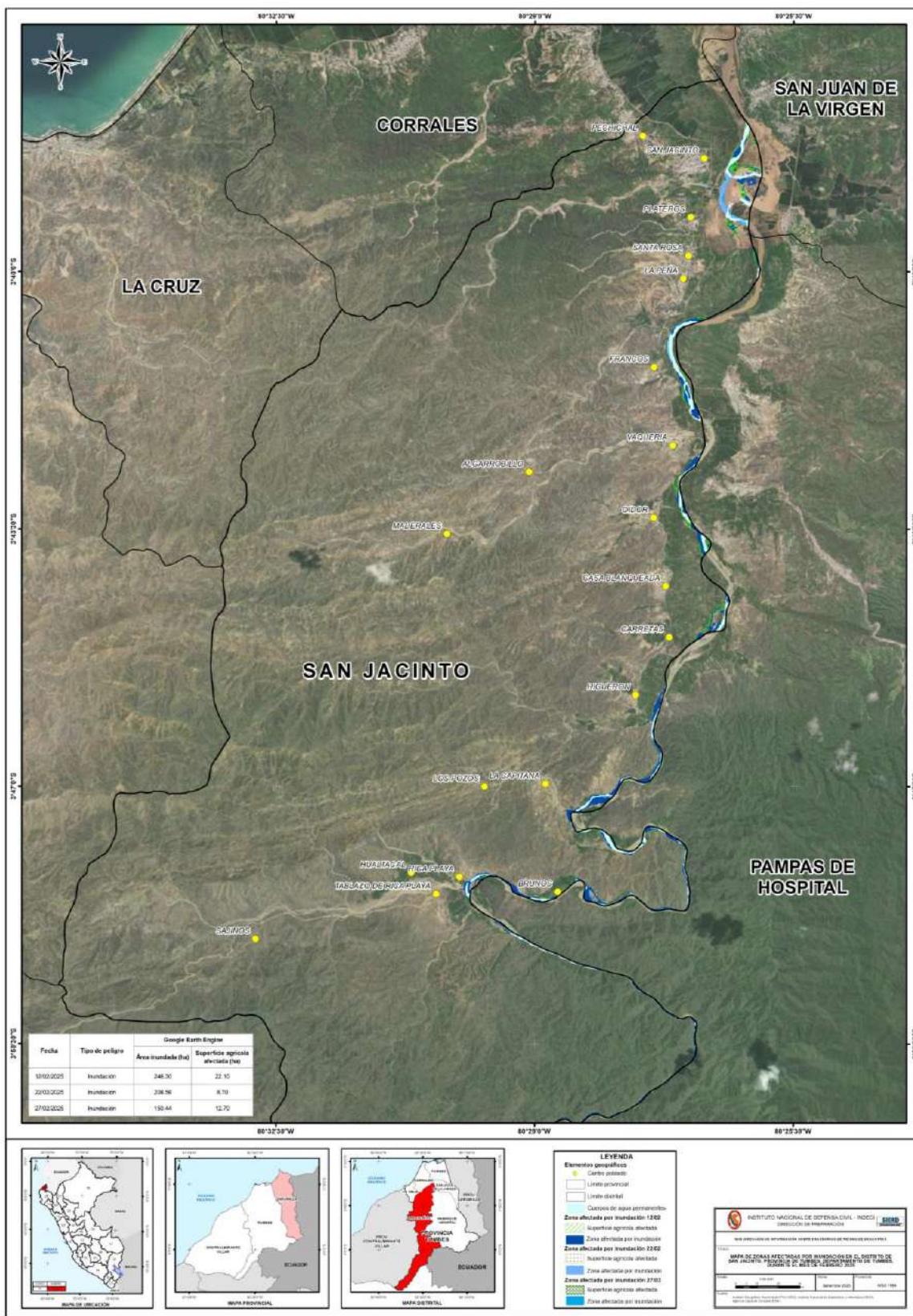
A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de San Jacinto, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 61: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de San Jacinto



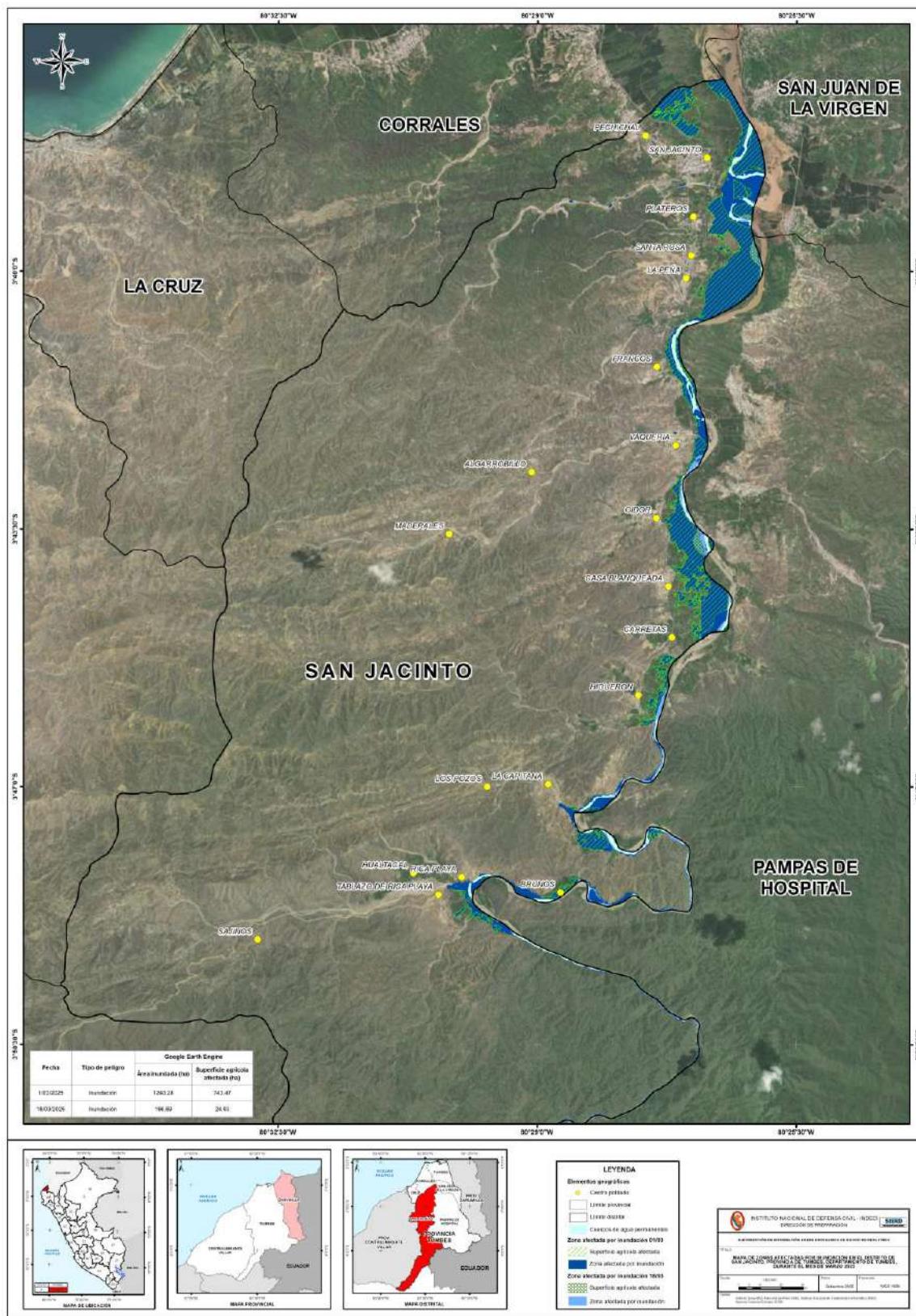
Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 62: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Jacinto en el mes de febrero del 2025



Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 63: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Jacinto en el mes de marzo del 2025



9.2.5. Distrito San Juan de la Virgen

En el distrito de San Juan de la Virgen se registró en el SINPAD una emergencia por lluvias intensas el 1 de marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 12 y 22 de febrero y 29 de marzo, por lo que en total se consideran cuatro emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 28: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito San Juan de la Virgen

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
12/02/2025	Inundación	--	--	1 680.20	27.92	4.70
22/02/2025	Inundación	--	--		21.97	2.90
01/03/2025	Lluvias intensas	822.17	0.00		582.57	504.23
29/03/2025	Inundación	--	--		49.31	25.48

En la imagen satelital del 12 de febrero se observó el crecimiento del río Tumbes, el cual generó áreas afectadas por inundación. A través del análisis con GEE se estimó un total de 27.93 hectáreas inundadas, de las cuales 4.70 correspondieron a superficie agrícola. Posteriormente, el 22 de febrero se identificaron un total de 21.97 hectáreas inundadas, con 2.90 hectáreas de superficie agrícola afectada, donde la magnitud del evento fue considerablemente menor que el anterior.

El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 822.17 hectáreas de cultivos afectados, equivalente al 48.93% de la superficie agrícola total del distrito (1 680.20ha). En contraste, el análisis realizado con GEE identificó 582.57 hectáreas inundadas, de las cuales 504.23 correspondieron a superficie agrícola, una cifra considerablemente menor a la registrada por el SINPAD. Esta diferencia puede explicarse porque las imágenes disponibles para el análisis corresponden al 4 y 6 de marzo. A ello se sumó la dificultad de que las zonas anegadas comenzaban a secarse y confundirse con el suelo, lo que hizo necesario aplicar una delimitación manual para mejorar los resultados.

En ese sentido, la clasificación mediante el algoritmo Random Forest permitió identificar un total de 305.82 hectáreas inundadas, de las cuales 263.10 correspondieron a superficie agrícola. Mientras que, a través de la delimitación manual se determinó 276.75 hectáreas inundadas y 241.13 hectáreas de superficie agrícola afectada. En conjunto, estos resultados evidencian que aproximadamente el 52.49% del área afectada fue identificada mediante la clasificación automática, mientras que el 47.51% restante requirió intervención

manual, asociado principalmente al proceso de secado progresivo del agua y su confusión con el suelo en las imágenes disponibles.

Finalmente, el 29 de marzo se identificó 49.31 hectáreas inundadas, de las cuales con 25.48 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría asociado con las precipitaciones registradas el 27 y 28 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Tumbes, que habrían favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de San Juan de la Virgen, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 64: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de San Juan de la Virgen

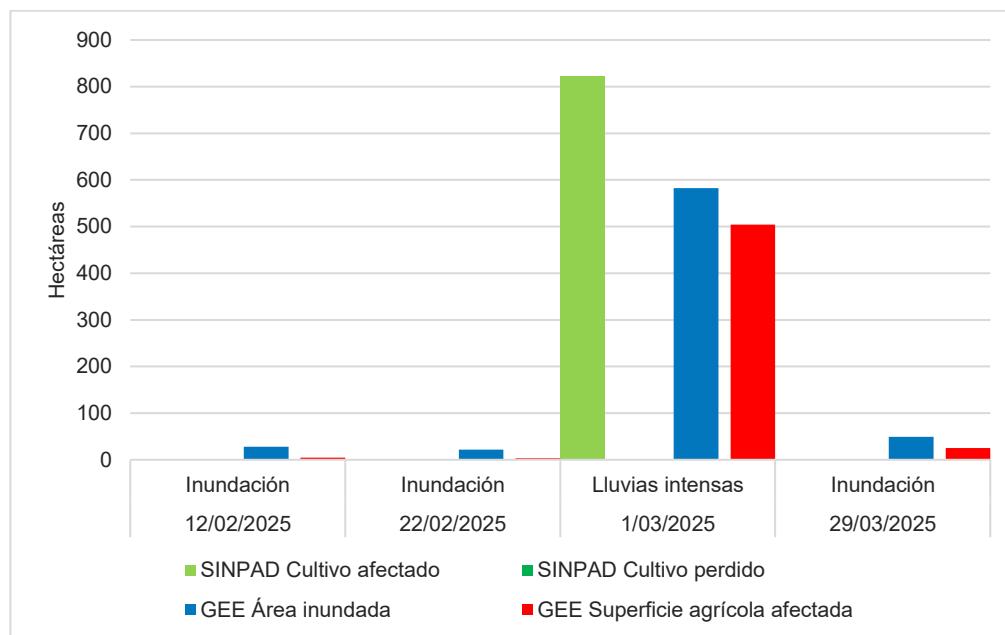


Figura 65: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Juan de la Virgen en el mes de febrero del 2025



Figura 66: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de San Juan de la Virgen en el mes de marzo del 2025



9.2.6. Distrito Tumbes

En el distrito de Tumbes se registró en el SINPAD una emergencia por inundación por desborde de río el 1 de marzo, la cual acorde a sus reportes, ocasionó daños en viviendas y medios de vida de la población. Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales fue posible identificar afectaciones adicionales en los días 22 de febrero y 29 de marzo, por lo que en total se consideran tres emergencias durante el periodo analizado.

Tabla 29: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Tumbes

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
22/02/2025	Inundación	--	--	3 180.10	74.52	2.10
01/03/2025	Lluvias intensas	479.99	0.00		946.14	341.64
29/03/2025	Inundación	--	--		224.51	43.52

En la imagen satelital del 22 de febrero se visualizaron áreas afectadas ocasionadas por el desborde del río Tumbes. A través del análisis con GEE se estimó un total de 74.52 hectáreas de área inundada, de las cuales 2.10 hectáreas corresponden a superficie agrícola.

El 1 de marzo se reportó en el SINPAD 479.99 hectáreas de cultivos afectados como consecuencia de la inundación originada por el desborde de río tras las lluvias intensas. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó un área inundada de 946.14 hectáreas, de las cuales 341.64 corresponden a superficie agrícola, lo que representa el 10.74 % de la superficie agrícola del distrito, una cifra significativamente menor a la registrada por el SINPAD. Esta diferencia puede explicarse porque las imágenes disponibles para el análisis corresponden al 4 y 6 de marzo, al no contar con capturas más cercanas a la fecha. A ello se sumó la dificultad de que las zonas anegadas comenzaban a secarse y confundirse con el suelo, lo que hizo necesario aplicar una delimitación manual para mejorar los resultados.

En ese sentido, la clasificación mediante el algoritmo Random Forest permitió identificar un total de 638.60 hectáreas inundadas, de las cuales 209.73 correspondieron a superficie agrícola. Mientras que, a través de la delimitación manual se determinó 307.54 hectáreas inundadas y 131.91 hectáreas de superficie agrícola afectada. En conjunto, estos resultados evidencian que aproximadamente el 67.50 % del área afectada fue identificada mediante la clasificación automática, mientras que el 32.50 % restante requirió intervención manual, asociado principalmente al proceso de secado progresivo del agua y su confusión con el suelo en las imágenes disponibles.

Finalmente, el 29 de marzo se identificó 224.51 hectáreas inundadas, de las cuales con 43.52 hectáreas corresponden a superficie agrícola. Este evento estaría asociado con las precipitaciones registradas el 27 y 28 de marzo tanto aguas arriba como aguas abajo del río Tumbes, que habrían favorecido la ocurrencia de la inundación.

A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Tumbes, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 67: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Tumbes

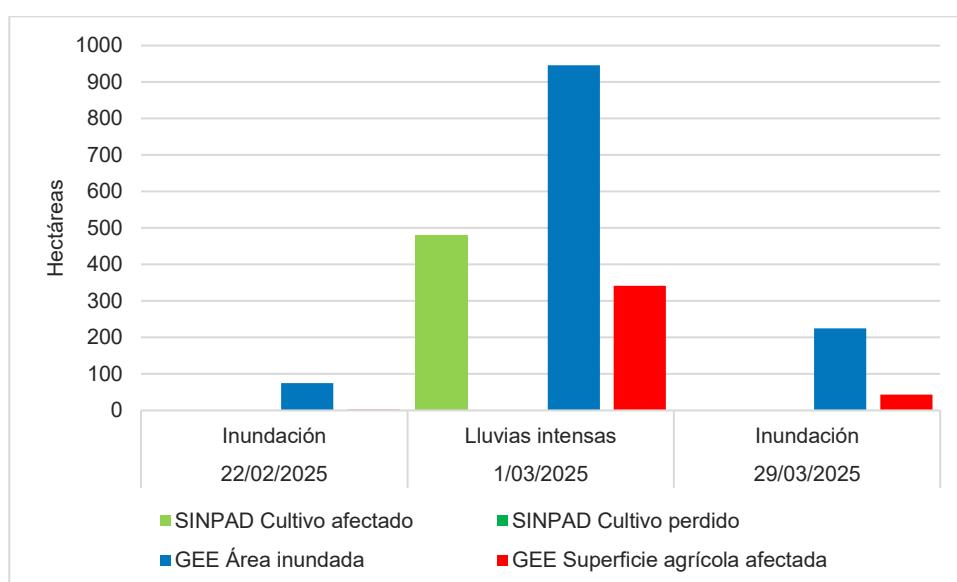
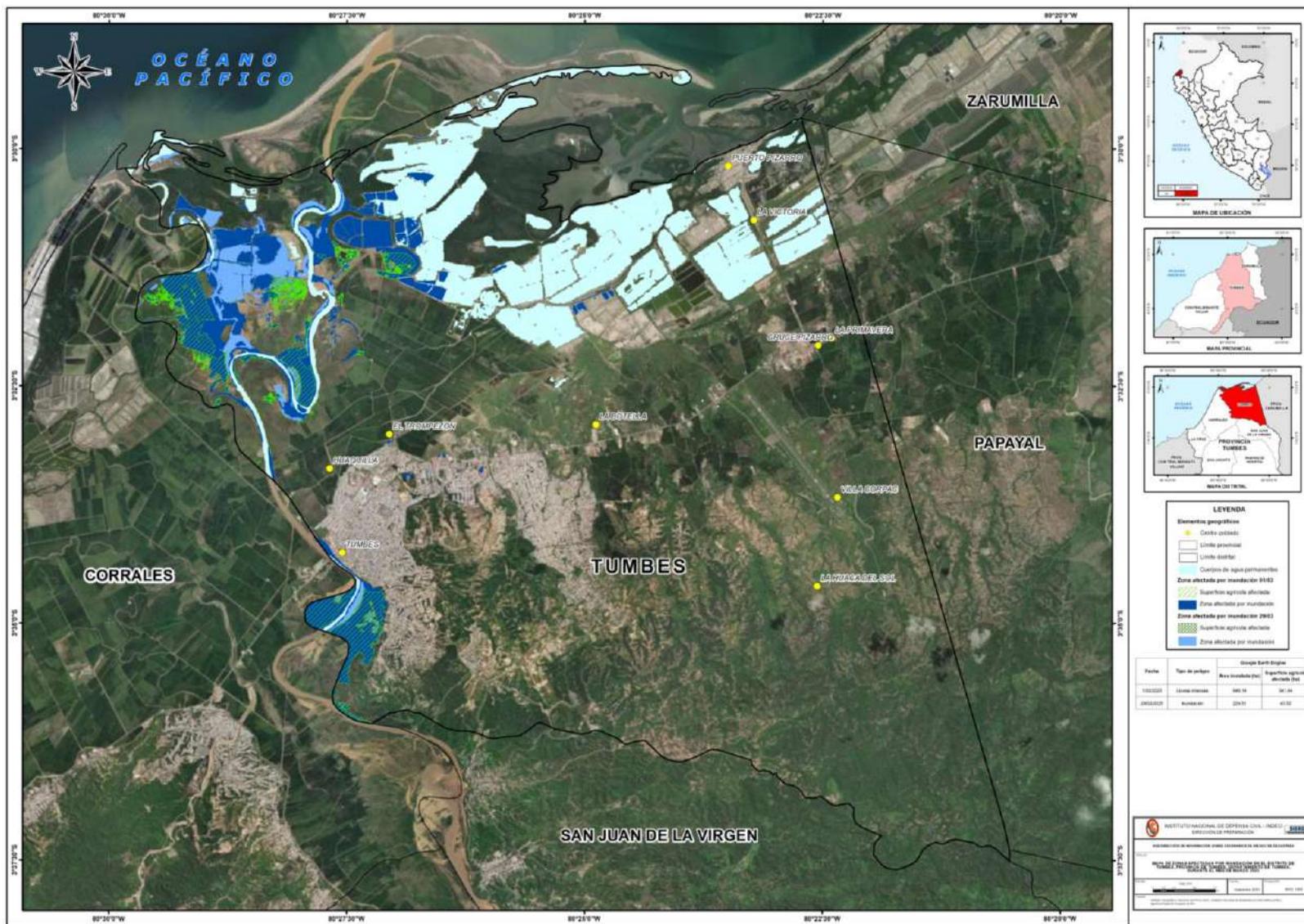


Figura 68: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Tumbes en el mes de febrero del 2025



Figura 69: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Tumbes en el mes de marzo del 2025



9.3. Provincia Contralmirante Villar

La provincia de Contralmirante Villar se localiza en la zona costera sur del departamento de Tumbes, limitando con el océano Pacífico y el departamento de Piura. Durante el periodo de estudio, los desbordes de cuerpos de agua generaron inundaciones de diversa magnitud, afectando áreas agrícolas y zonas aledañas a los cauces.

Los resultados obtenidos se detallan en los apartados distritales, donde se muestran las superficies inundadas y los cultivos comprometidos. Esta información fue contrastada con los reportes oficiales ingresados al SINPAD, a fin de validar y complementar la información oficial con el análisis realizado a partir de imágenes satelitales.

9.3.1. Distrito Casitas

Durante el periodo de estudio se registraron lluvias intensas que ocasionaron la activación de quebradas intermitentes en el distrito de Casitas, generando daños en viviendas y en medios de vida, de acuerdo con los reportes del SINPAD.

Tabla 30: Áreas agrícolas afectadas según SINPAD y GEE en hectáreas del distrito Casitas

SINPAD				MIDAGRI	GEE	
Fecha	Tipo de peligro	Cultivo afectado (ha)	Cultivo perdido (ha)	Superficie agrícola (ha)	Área inundada (ha)	Superficie agrícola afectada (ha)
06/03/2025	Inundación	8	11.25	987.58	--	4.91

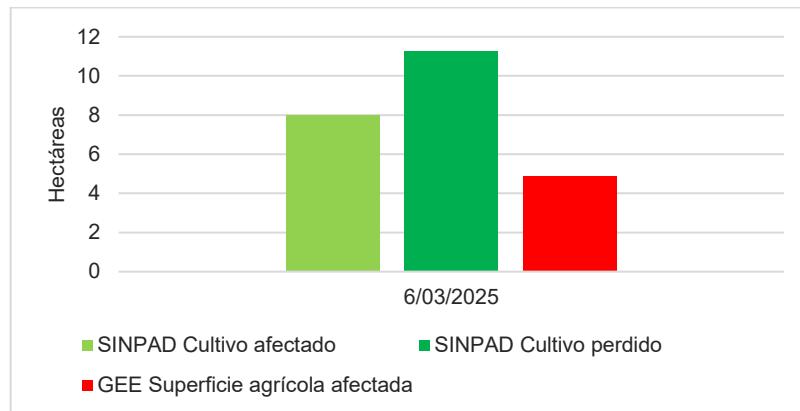
El 6 de marzo se reportó en el SINPAD 8 hectáreas de cultivos afectados y 11.25 perdidos, como consecuencia de la inundación originada por el desborde de las quebradas. En contraste, el análisis realizado mediante GEE estimó 4.91 hectáreas de superficie agrícola afectada. Esta diferencia puede explicarse por la disponibilidad y calidad de las imágenes.

Asimismo, a partir de la revisión de imágenes satelitales correspondientes a los días 14 y 28 de marzo, fue posible evidenciar la activación de quebradas, aunque estas no afectaron directamente los campos agrícolas.

Cabe señalar que, al tratarse de cursos de agua intermitentes y no permanentes, y considerando que las imágenes disponibles fueron adquiridas posteriormente a la activación de las quebradas, no fue posible recuperar con precisión su extensión. Por este motivo no se estimó un valor numérico de superficie inundada; sin embargo, se presenta la información cualitativa obtenida a partir del análisis satelital.

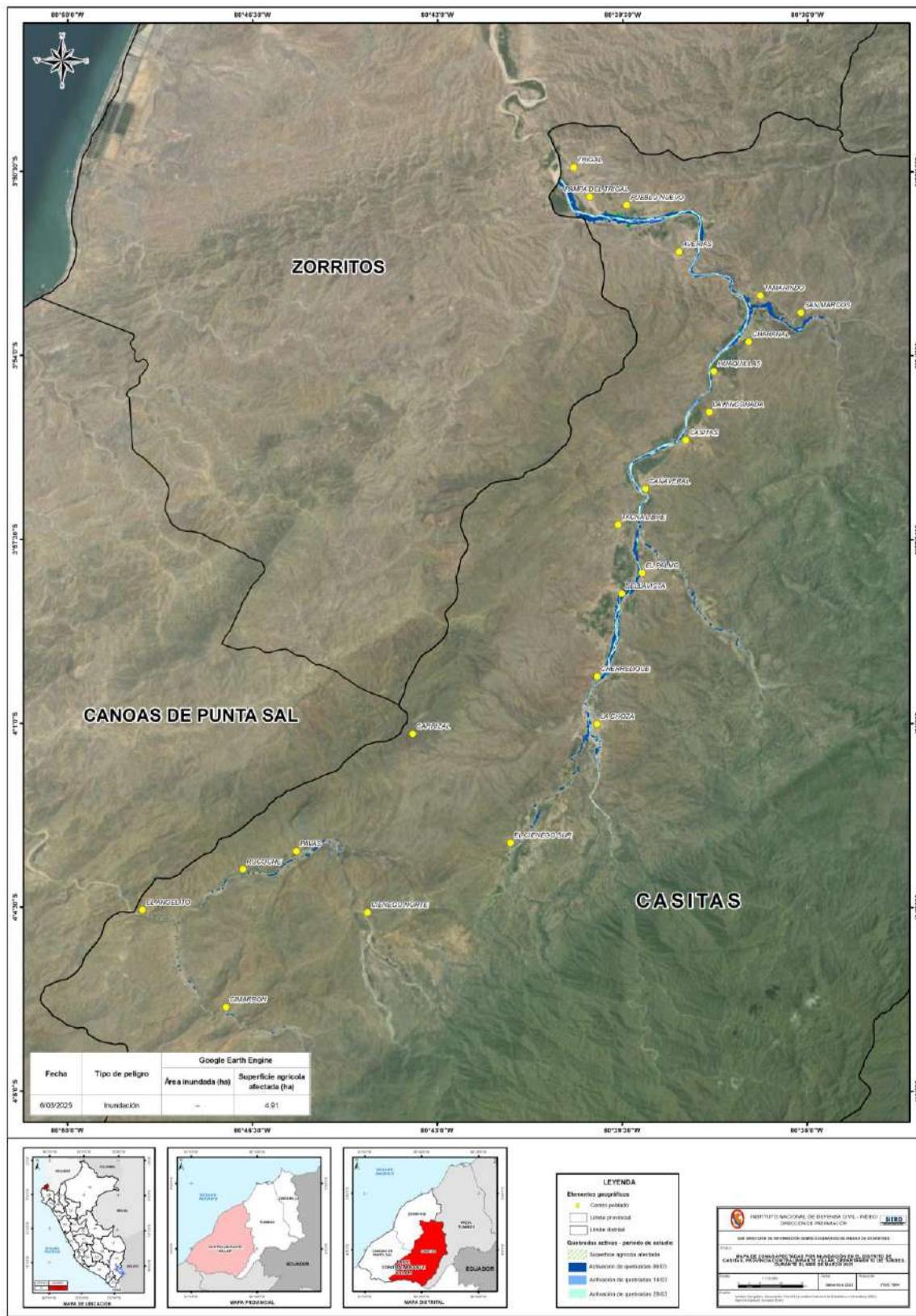
A continuación, se muestra la comparación de la superficie agrícola afectada en el distrito de Casitas, considerando la información reportada por el SINPAD y las estimaciones obtenidas mediante Google Earth Engine (GEE).

Figura 70: Superficie agrícola afectada reportada por SINPAD y estimada con GEE en el distrito de Casitas



Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 71: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Casitas en el mes de marzo del 2025



9.3.2. Distrito Canoas de Punta Sal

Durante el periodo de estudio se registraron lluvias intensas que ocasionaron la activación de quebradas intermitentes en el distrito de Canoas de Punta Sal, generando daños en viviendas, de acuerdo con los reportes del SINPAD, además de aislar sectores puesto que la carretera de acceso cruzaba las quebradas.

A partir de la revisión de imágenes satelitales correspondientes a los días 27 febrero, así como del 14 y 29 de marzo, fue posible evidenciar la activación de quebradas, aunque estas no afectaron directamente los campos agrícolas debido a su localización. Este aspecto se confirma en los registros del SINPAD, donde no se reporta afectación a cultivos, lo cual resulta coherente con el hecho de que el distrito orienta su economía principalmente hacia la actividad turística y dispone únicamente de 281.94 hectáreas de superficie agrícola.

Cabe señalar que, al tratarse de cursos de agua intermitentes y no permanentes, y considerando que las imágenes disponibles fueron adquiridas posteriormente a la activación o presentaban una alta cobertura de nubosidad, no fue posible recuperar con precisión la extensión total de la activación de las quebradas. Por este motivo no se estimó un valor numérico de superficie inundada; sin embargo, se presenta la información cualitativa obtenida a partir del análisis satelital realizado.

Figura 72: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Canoas de Punta Sal en el mes de febrero y marzo del 2025



9.3.3. Distrito Zorritos

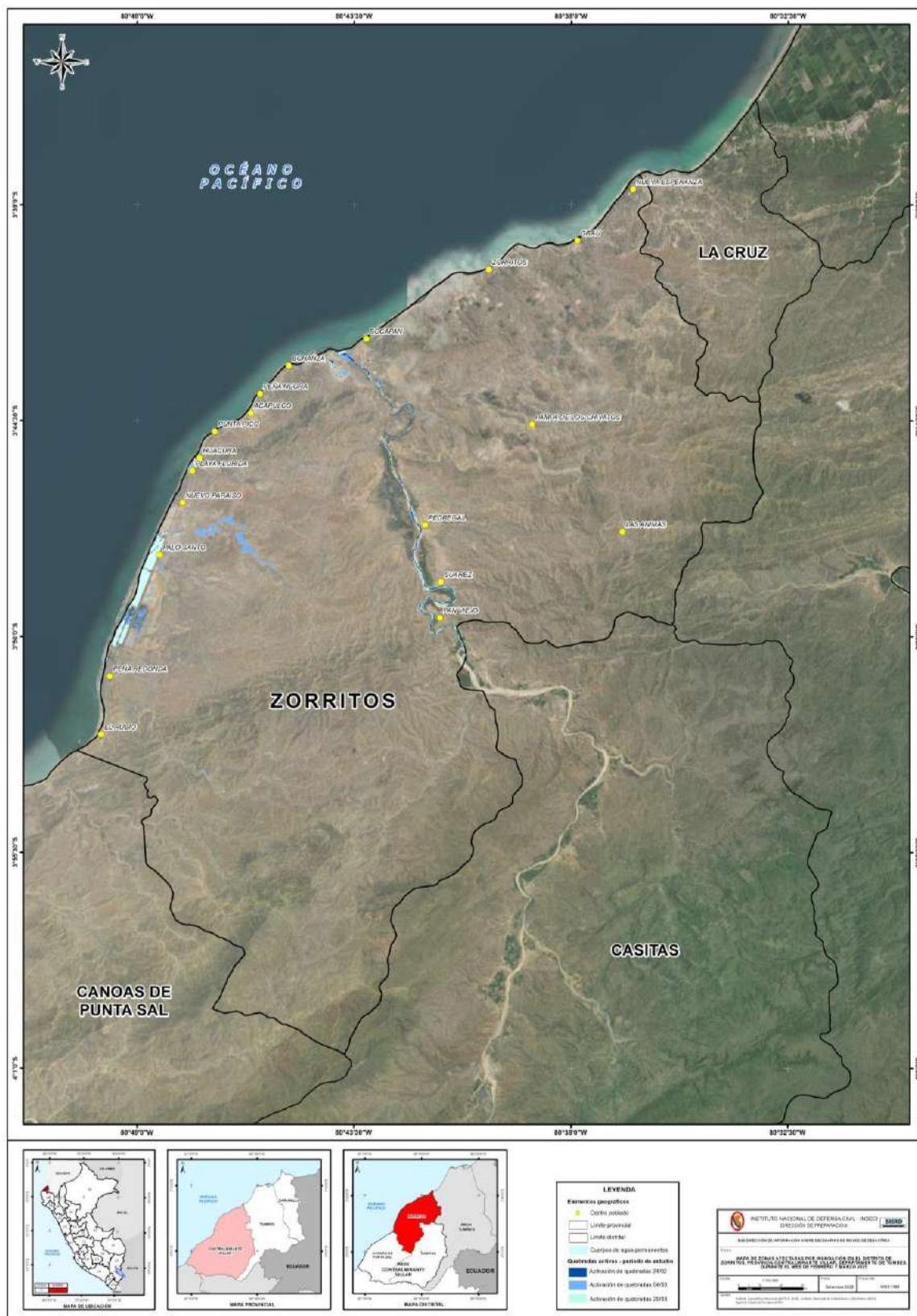
Durante el periodo de estudio se registraron lluvias intensas que ocasionaron la activación de quebradas intermitentes en el distrito de Zorritos, generando daños en viviendas, de acuerdo con los reportes del SINPAD.

A partir de la revisión de imágenes satelitales correspondientes a los días 24 febrero, así como del 4 y 29 de marzo, fue posible evidenciar la activación de quebradas, aunque estas no afectaron directamente los campos agrícolas debido a su localización. Este aspecto se confirma en los registros del SINPAD, donde no se reporta afectación a cultivos, lo cual resulta coherente con el hecho de que el distrito orienta su economía principalmente hacia la actividad turística y dispone únicamente de 200.66 hectáreas de superficie agrícola.

Cabe señalar que, al tratarse de cursos de agua intermitentes y no permanentes, y considerando que las imágenes disponibles fueron adquiridas posteriormente a la activación o presentaban una alta cobertura de nubosidad, no fue posible recuperar con precisión la extensión total de la activación de las quebradas. Por este motivo no se estimó un valor numérico de superficie inundada; sin embargo, se presenta la información cualitativa obtenida a partir del análisis satelital realizado.

Detección y mapeo de áreas inundadas durante la temporada de lluvias en el departamento de Tumbes, periodo febrero y marzo del 2025

Figura 73: Mapa de zonas afectadas por inundación en el distrito de Zorritos en el mes de febrero y marzo del 2025



10. CONCLUSIONES

- a) El presente estudio permitió detectar y mapear las áreas inundadas en el departamento de Tumbes durante los meses de febrero y marzo de 2025, utilizando imágenes satelitales ópticas y de radar. Esto constituye un insumo técnico clave para la evaluación de daños y análisis de afectaciones en zonas agrícolas, cumpliendo con el objetivo de caracterizar espacialmente la magnitud del evento.
- b) La integración de teledetección satelital facilitó el sincronamiento de la información reportada en el SINPAD, permitiendo contrastar los registros oficiales y optimizar la calidad de los datos. De acuerdo con los registros SINPAD se hallaron 6326.28 hectáreas de cultivos afectados y 78.25 hectáreas de cultivos perdidos, mientras que con técnicas de la teledetección se identificó 4704.17 hectáreas de cultivo afectados. La diferencia entre ambos es de 1700.86 hectáreas. Con ello, se aporta a la mejora de los sistemas de información sobre emergencias, alineado al objetivo de validar y complementar fuentes de datos institucionales.
- c) Los resultados obtenidos fortalecen la planificación de acciones de recuperación y asistencia por parte de los gobiernos locales y regionales, ya que los mapas generados permiten priorizar intervenciones en áreas recurrentemente afectadas por inundaciones. De esta manera, se responde al objetivo de brindar herramientas de soporte a la gestión del riesgo de desastres en el nivel subnacional.
- d) La experiencia metodológica aplicada, basada en el uso de Google Earth Engine (GEE) y técnicas de teledetección, constituye un modelo replicable en otros departamentos con alta vulnerabilidad a inundaciones. Esto permite desarrollar lineamientos técnicos que contribuyan a la estandarización de estudios de mapeo de áreas afectadas por peligros hidrometeorológicos.
- e) Se evidencia la necesidad de consolidar la articulación interinstitucional entre INDECI, gobiernos regionales y locales, así como las Direcciones Regionales de Agricultura, con el fin de aprovechar los productos satelitales como insumo permanente en la gestión del riesgo. Esto responde al objetivo de fortalecer las capacidades técnicas y de coordinación en los distintos niveles de gobierno.
- f) Finalmente, si bien el uso de imágenes satelitales en plataformas como GEE constituye una herramienta valiosa para la delimitación y análisis de áreas afectadas, resulta indispensable validar estos resultados en campo. La verificación directa permite corroborar la magnitud y localización de los daños, asegurando que la información satelital complemente y respalde los registros obtenidos durante las evaluaciones de daños. De esta manera, se garantiza que los productos generados respondan a las condiciones reales observadas en el territorio.

11. RECOMENDACIONES

- a) Socializar el presente estudio con la Presidencia del Consejo de Ministros, Dirección Desconcentrada de INDECI – Tumbes, el Gobierno Regional y las municipalidades provinciales y distritales. Así como su consideración en los diversos planes de la gestión del riesgo de desastres. El uso de la información generada permitirá incorporar los mapas de áreas inundadas en los planes de contingencia y en la planificación de intervenciones de reducción de riesgos, priorizando las zonas con mayor recurrencia de afectaciones.
- b) Capacitar a las Oficinas de Gestión del Riesgo de Desastres de los gobiernos locales en el registro estandarizado de daños y pérdidas, complementando esta información con los resultados obtenidos mediante teledetección. Asimismo, se recomienda establecer un mecanismo de cruce sistemático entre los registros del SINPAD y la información espacial derivada de imágenes satelitales, a fin de optimizar la calidad y consistencia de los reportes.
- c) A través de la Subdirección de Información sobre Escenarios de Riesgo de Desastres (SD IERD) se deberá continuar brindando asistencia técnica a las entidades regionales y locales en el uso de la plataforma Google Earth Engine (GEE), consolidando una guía metodológica que permita replicar este tipo de estudios en otros departamentos con alta vulnerabilidad a inundaciones.
- d) Promover convenios con universidades y centros de investigación para fortalecer el desarrollo de algoritmos que permitan mejorar la precisión de la detección en condiciones de nubosidad. En ese sentido, se sugiere emplear imágenes ópticas y de radar, debido a que las imágenes multiespectrales presentan limitaciones ante la presencia de nubosidad, mientras que las imágenes radar no se ven afectadas por condiciones meteorológicas adversas, como nubes o lluvia, por lo que esta tecnología se posiciona como una herramienta ideal para el monitoreo de los daños ocasionados por inundaciones, permitiendo una mayor precisión en la identificación y evaluación de áreas afectadas.
- e) Se recomienda compartir el presente informe con las Direcciones Regionales de Agricultura (DRA) y el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), a fin de que incorporen los resultados en la evaluación de daños y pérdidas agrícolas, así como en la activación de mecanismos de asistencia y compensación a productores. De igual manera, se sugiere realizar análisis de mayor detalle a nivel distrital en las áreas críticas para mejorar la cuantificación de la superficie agrícola afectada.
- f) Establecer un sistema de retroalimentación entre el Instituto Nacional de Defensa Civil, gobiernos regionales y locales, mediante el cual los resultados satelitales permitan validar y complementar los reportes de daños. De manera complementaria, se sugiere articular estudios conjuntos con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura (MIDAGRI), a fin de integrar datos de

precipitación, caudales y áreas inundadas, generando reportes integrales que fortalezcan la toma de decisiones.

Firmado digitalmente

CARMEN ROSA GUERRA FLORES
ANALISTA EN GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES
SUBDIRECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE ESCENARIOS DE RIESGO DE DESASTRES
Instituto Nacional de Defensa Civil

“Visto el informe que antecede, y estando conforme con su contenido en todos sus extremos, lo suscribo en señal de conformidad”

CARLOS ALEJANDRO PICHILINGUE SIME
SUBDIRECTOR
SUBDIRECCIÓN DE INFORMACIÓN SOBRE ESCENARIOS DE RIESGO DE DESASTRES
Instituto Nacional de Defensa Civil

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Autoridad Nacional del Agua – ANA. (2019). *Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Tumbes*. <https://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/tumbes/%C3%81mbito>

Chuvieco, E., Cocero, D., Aguado, I., Palacios, A., & Prado, E. (2004). Improving burning efficiency estimates through satellite assessment of fuel moisture content. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D13). <https://doi.org/10.1029/2003JD003467>

Epting, J., Verbyla, D., & Sorbel, B. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. *Remote Sensing of Environment*, 96(3–4), 328–339. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2005.03.002>

European Space Agency. (2021). *ESA WorldCover 10 m 2020 v200* [Dataset]. European Space Agency. <https://worldcover2020.esa.int>

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico. (2023). *Evaluación de zonas críticas por peligros geológicos ante Fenómeno El Niño 2023-2024: Departamento Tumbes* (Informe Técnico A7454, 128 p.). Ingemmet. <https://core.ac.uk/download/pdf/598010463.pdf>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2018, abril 25). *Resolución Jefatural N.º 106-2018-INDECI que crea la unidad funcional CEPIG. El Peruano.* <https://www.gob.pe/institucion/indeci/normas-legales/1100268-106-2018-indeci>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2021, diciembre 1). *Resolución Jefatural N.º 298-2021-INDECI que aprueba la Agenda de Investigación Aplicada de la Gestión Reactiva del Riesgo de Desastres 2022-CEPAG-2026. El Peruano.* <https://www.gob.pe/institucion/indeci/normas-legales/2504703-298-2021-indeci>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2024, enero 19). *Resolución Jefatural N.º 000004-2024-INDECI/JEF, que aprueba la Guía para la utilización de los formularios para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades. El Peruano.* <https://www.gob.pe/institucion/indeci/normas-legales/5082105-004-2024-indeci>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2024). *Compendio Estadístico de la Gestión Reactiva al Primer Semestre 2024. INDECI.* <https://www.gob.pe/institucion/indeci/informes-publicaciones/6158260-compendio-estadistico-2024>

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2025). *Resolución Jefatural N.º 000058-2025-INDECI/JEF, por la que se aprueba la Sección Segunda del Reglamento de Organización y Funciones del INDECI. El Peruano.* <https://www.gob.pe/institucion/indeci/normas-legales/6792933-058-2025-indeci>

Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, 33(1), 159–174. <https://doi.org/10.2307/2529310>

Marshall, B., Veiga, M., Kaplan, R., Miserendino, R., Schudel, G., Bergquist, B., & Gonzalez Mueller, C. (2018). Evidence of transboundary mercury and other pollutants in the Puyango–Tumbes River basin, Ecuador–Peru. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 20(3), 418–431.

<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2018/em/c7em00504k>

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego – MIDAGRI. (2025). *Resolución Ministerial N.º 0026-2025-MIDAGRI, que aprueba el Mapa Nacional de Superficie Agrícola del Perú*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/7568583/6426915-rm-n-0026-2025-midagri.pdf?v=1738630945>

Montesinos Cáceres, C. (2018). *Estimación de umbrales de inundación en la región hidrográfica del Pacífico*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01405SENA-2.pdf>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2011). *Decreto Supremo N.º 048-2011-PCM, que aprueba el Reglamento de la Ley N.º 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/ideci/informes-publicaciones/1093199-decreto-supremo-n-048-2011-pcm-y-su-modificatoria>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2019, septiembre 17). *Resolución Ministerial N.º 327-2019-PCM, que aprobó Lineamientos para el registro y uso de información en el Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación (SINPAD)*. El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/297071-327-2019-pcm>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2021, marzo 1). *Decreto Supremo N.º 038-2021-PCM, que aprueba la Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres al 2050*. El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/1892241>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2021, noviembre 16). *Resolución Ministerial N.º 277-2021-PCM, que aprobó la “Directiva para el acceso y uso de imágenes satelitales y aéreas para acciones de respuesta y rehabilitación por desastre o peligro inminente”*. El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/2392770-277-2021-pcm>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2023, diciembre 30). *Resolución Ministerial N.º 324-2023-PCM, que aprobó los “Lineamientos para la Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades”*. El Peruano. <https://www.gob.pe/institucion/pcm/normas-legales/4986001-324-2023-pcm>

Presidencia del Consejo de Ministros. (2024, junio 6). *Decreto Supremo que modifica el Reglamento de la Ley N.º 29664, que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD), aprobado por Decreto Supremo N.º 048-2011-PCM*. El Peruano.

Rodríguez-Galiano, V. F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., & Rigol-Sánchez, J. P. (2012). An assessment of the effectiveness of a Random Forest classifier for land-

cover classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2011.11.002>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2020, septiembre 28). *Clima / Mapa Climático del Perú*. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=mapa-climatico-del-peru>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. (2021). *Climas del Perú – Mapa de Clasificación Climática Nacional*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>

Van Gerrevink, M., & Veraverbeke, S. (2021). Evaluating the hyperspectral sensitivity of the differenced normalized burn ratio for assessing fire severity. *Remote Sensing*, 13(22), 1–16. <https://doi.org/10.3390/rs13224611>

Velastegui Montoya, A., Montalván Burbano, N., Carrión Mero, P., Rivera Torres, H., Sadeck, L., & Adami, M. (2024). Google Earth Engine: A global analysis and future trends. *Frontiers in Remote Sensing*, 15, 3675. <https://doi.org/10.3390/rs15143675>

Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025–3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>

13. ANEXOS

13.1.Información del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación para el departamento de Tumbes en los meses de febrero y marzo del 2025



REPORTE SINPAD Nro 860: TUMBES - REPORTE DE DAÑOS

Actualizado al 27 de mayo de 2025 10:00 horas

UBICACIÓN	VIDA Y SALUD (PERSONA)		DAÑOS MATERIALES			DAÑOS A SECTORES	
			VIVIENDAS		VIVIENDA AFECTADA	CULTIVO AFECTADO (ha)	CULTIVO PERDIDO (ha)
	DAMNIFICADA	AFECTADA	VIVIENDA DESTRUIDA	VIVIENDA INHABITABLE			
PROV. CONTRALMIRANTE VILLAR	86	3470	0	32	1392	8	11.25
DIST. CANOAS DE PUNTA SAL	11	578	0	9	322	0	0
LLUVIAS INTENSAS	11	578	0	9	322	0	0
226196 del 28/02/2025	11	481		9	282		
225701 del 27/02/2025		51			20		
225178 del 24/02/2025		46			20		
DIST. CASITAS	16	1752	0	6	653	8	11.25
LLUVIAS INTENSAS	16	1752	0	6	653	8	11.25
227677 del 06/03/2025		45			17	8	11.25
225920 del 27/02/2025	16	1569		6	580		
225479 del 26/02/2025		41			14		
224387 del 22/02/2025		43			20		
221115 del 11/02/2025		54			22		
DIST. ZORRITOS	59	1140	0	17	417	0	0
LLUVIAS INTENSAS	59	1140	0	17	417	0	0
231974 del 26/03/2025	11	244		3	79		
224376 del 21/02/2025	48	808		14	280		
222444 del 17/02/2025		88			58		
PROV. TUMBES	1069	7207	8	446	3584	4722.7	0
DIST. CORRALES	288	1078	6	184	833	1922.82	0
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE RIO	4	0	2	0	0	1922.82	0
226249 del 01/03/2025	4		2			1884.93	
222596 del 17/02/2025						37.89	
LLUVIAS INTENSAS	284	1078	4	184	833	0	0
224389 del 21/02/2025	284	1078	4	184	833		
DIST. LA CRUZ	12	739	0	5	385	0	0
LLUVIAS INTENSAS	12	739	0	5	385	0	0
232447 del 28/03/2025		37			14		
226373 del 03/03/2025	5	184		2	71		
226052 del 28/02/2025	6	96		2	53		
224469 del 22/02/2025		361			225		
222519 del 17/02/2025	1	61		1	22		
DIST. PAMPAS DE HOSPITAL	5	2504	0	2	1029	247.8	0
LLUVIAS INTENSAS	5	2504	0	2	1029	247.8	0
232364 del 28/03/2025	5	1439		2	565		
226299 del 01/03/2025		1057			459		
226245 del 01/03/2025						247.8	
222425 del 17/02/2025		8			5		
DIST. SAN JACINTO	49	563	0	38	553	1249.92	0
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE RIO	15	2	0	6	2	1249.92	0
226287 del 01/03/2025	15	2		6	2	1249.92	
LLUVIAS INTENSAS	34	561	0	32	551	0	0
224412 del 22/02/2025	34	561		32	551		
DIST. SAN JUAN DE LA VIRGEN	439	222	0	140	83	822.17	0
LLUVIAS INTENSAS	439	222	0	140	83	822.17	0
226252 del 01/03/2025	396			121		822.17	
225938 del 27/02/2025	42	115		18	42		
224365 del 22/02/2025	1	65		1	26		
222397 del 17/02/2025		20			7		
221839 del 13/02/2025		22			8		
DIST. TUMBES	276	2101	2	77	701	479.99	0
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE RIO	157	50	0	47	17	0	0
226232 del 01/03/2025	157	50		47			
LLUVIAS INTENSAS	119	2051	2	30	684	479.99	0
226237 del 01/03/2025	68	910		19	296	479.99	
225628 del 26/02/2025	26	593		6	192		
224723 del 22/02/2025	25	496	2	5	180		
223180 del 17/02/2025		52			16		

REPORTE SINPAD Nro 860:
TUMBES - REPORTE DE DAÑOS

Actualizado al 27 de mayo de 2025 10:00 horas

UBICACIÓN	VIDA Y SALUD (PERSONA)		DAÑOS MATERIALES			DAÑOS A SECTORES	
			VIVIENDAS			PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	
	DAMNIFICADA	AFECTADA	VIVIENDA DESTRUIDA	VIVIENDA INHABITABLE	VIVIENDA AFECTADA	CULTIVO AFECTADO (ha)	CULTIVO PERDIDO (ha)
PROV. ZARUMILLA	644	4056	9	258	1714	1595.58	67.5
DIST. AGUAS VERDES	317	1457	4	131	670	605.28	64.5
INUNDACIÓN POR DESBORDE DE RÍO	202	4	0	71	2	0	0
226675 del 03/03/2025	202	4		71	2		
LLUVIAS INTENSAS	115	1453	4	60	668	605.28	64.5
227929 del 07/03/2025	3	649		3	288		
226234 del 01/03/2025	97	375		56	194		
226008 del 28/02/2025	7	115	2		59	605.28	64.5
225581 del 26/02/2025	4	160	2		68		
224377 del 21/02/2025			137		52		
222591 del 16/02/2025	4	17		1	7		
DIST. MATAPALO	22	471	1	9	194	313.7	2
LLUVIAS INTENSAS	22	471	1	9	194	313.7	2
232412 del 27/03/2025	1	109		1	37	313.7	2
227809 del 07/03/2025	16	155	1	5	60		
226077 del 27/02/2025			83		35		
224534 del 22/02/2025			51		28		
222408 del 16/02/2025	5	46		3	21		
220377 del 06/02/2025			27		13		
DIST. PAPAYAL	61	1121	4	22	411	640.35	1
LLUVIAS INTENSAS	61	1121	4	22	411	640.35	1
232369 del 27/03/2025	6	105		3	45		
227995 del 06/03/2025			114		39	640.35	1
226303 del 01/03/2025	22	663		11	243		
224452 del 21/02/2025	28	191	4	7	70		
222461 del 16/02/2025			21		6		
221871 del 13/02/2025	5	27		1	8		
DIST. ZARUMILLA	244	1007	0	96	439	36.25	0
LLUVIAS INTENSAS	244	1007	0	96	439	36.25	0
227777 del 07/03/2025	9	537		3	222		
226198 del 01/03/2025	162	470		59	217	36.25	
222431 del 16/02/2025	73			34			