



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
CONSEJO DE RECURSOS HIDRICOS DE CUENCA TUMBES
INFORME



Ing. Ricardo G. Noblecilla Reyes
Secretario Técnico CRHCT

**DIAGNOSTICO DE PROBLEMÁTICA DE SEDIMENTACION
EN ECOSISTEMA MANGLAR 1983 - 2024**



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Índice

I.	Antecedentes.....	3
II.	Justificación	3
III.	Objetivos.....	5
3.1.	Objetivo General	5
3.2.	Objetivos Específicos	5
IV.	Materiales y Metodología.....	5
4.1.	Cartografía	6
4.2.	Imágenes Satelitales	6
4.3.	Equipos y Softwares.	9
4.4.	Área de Estudio	9
4.5.	Obtención de Imágenes, Landsat, Sentinel 2 y Planet Scope.....	11
4.6.	Procesamiento de Imágenes	16
V.	Resultados	28
5.1	sedimentación en desembocadura río zarumilla (ecosistema manglar)	28
5.2.	Del análisis de la imagen de alta resolución (0.5 m/pxl).....	36
5.3.	Fotogrametría (vuelo RPAS) realizada.....	39
5.4.	Estimación Final (m ²) del área de Bancos de Sedimentos Evaluados.	41
5.5.	Cálculo Final del Volumen Estimado (m ²) de Bancos de Sedimentos Formados en un Espacio Evaluado de 40 años (1,983 – 2,023).	44
VI.	CAUSAS – CONSECUENCIAS DE MALAS PRACTICAS EN MANEJO Y CONSERVACION DE CAUCES EN RIOS.....	52
VII.	Conclusiones:	61
VIII.	Recomendaciones:.....	63
IX.	REGISTRO FOTOGRÁFICO:	65



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

I. ANTECEDENTES

El Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes - SNLMT, es un Área Natural Protegida - ANP por el estado peruano, actualmente administrado por Consorcio Manglares del Noroeste del Perú, bajo la modalidad de Contrato de Administración, esta ANP, está ubicada en la región Norte del Perú, es un ecosistema de gran importancia debido a su biodiversidad y su papel en la protección de la costa contra la erosión y el impacto de fenómenos climáticos extremos. Este santuario alberga una variedad única de flora y fauna, incluyendo especies en peligro de extinción y endémicas.

Sin embargo, en los últimos años, se ha observado un incremento significativo en los problemas de sedimentación en diversas áreas del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Este fenómeno se ha identificado como una problemática importante debido a sus potenciales efectos negativos sobre la biodiversidad, la calidad del agua y la estabilidad del ecosistema.

El presente informe se ha realizado y coordinado de manera conjunta con el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas - SERNANP y el Consorcio Manglares del Noroeste del Perú en cumplimiento a la solicitud con CARTA N°034-2024-CONMANOPE/JCM.

II. JUSTIFICACIÓN

El Consejo de Recursos hídricos de Cuenca Tumbes (CRHC Tumbes), creado por Decreto Supremo N° 013-2012-AG, constituye un órgano descentrado de la ANA, creado a iniciativa de los gobiernos regionales, participa activamente en la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos, ejerciendo sus funciones para promover la participación de los gobiernos regionales, gobiernos locales, sociedad civil y de todos los usuarios del agua de la cuenca en la formulación, aprobación, implementación, seguimiento, actualización y evaluación del Plan de Gestión de Recursos Hídricos en la Cuenca Tumbes (PGRH).

Durante el año 2023 se aprobó el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de Cuenca Tumbes 2023-2030, mediante Resolución Jefatural N° 0410-2023-ANA de fecha 14.12.2023, a partir de allí se da inicio a una nueva evaluación del plan de gestión.

En ese sentido, el ANP SNLMT significa una prioridad dentro del Plan de gestión y está vinculado a la línea de acción de optimización de servicios ecosistémicos, a fin de ser preservados para asegurar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos que se generan en el ecosistema Manglar.

Que, en marco del mencionado plan, el consejo de cuenca a través de su Secretaría técnica, ejecuta actividades de sensibilización, asistencia técnica y fortalecimiento de capacidades, relacionadas a impulsar proyectos o inversiones en pro de mejorar las condiciones de los ecosistemas naturales, con énfasis en los hídricos, a fin de que estos provean servicios ecosistémicos de manera sostenible.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

La Secretaría Técnica del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Tumbes tiene la responsabilidad de velar por la gestión integrada y sostenible de los recursos hídricos en la región, conforme a la normativa y leyes vigentes. El SNLMT, ubicado en la región norte del Perú, está considerada y reconocida por la UNESCO como una de las Zonas Núcleo de la Reserva de Biosfera del Noroeste Amotapes Manglares, es un ecosistema de gran importancia debido a su biodiversidad y su papel en la protección de la costa contra la erosión y el impacto de fenómenos climáticos extremos. Actualmente tanto la conservación (protección + restauración de manglares) y la energía hidroeléctrica se consideran dentro de las agendas internacionales contra el cambio climático (IUCN – UNFC).

Sin embargo, en los últimos años, se ha observado un incremento significativo en los problemas de sedimentación en los diversos canales de marea del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes. Este fenómeno se ha identificado como una preocupación importante debido a los potenciales efectos negativos sobre la biodiversidad, la calidad del agua y la estabilidad del ecosistema, con la protección del medio ambiente y la conservación de los ecosistemas acuáticos. En este sentido, la realización del informe técnico sobre el estado de las áreas del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes con problemas de sedimentación se justifica por las siguientes razones:

Cumplimiento de la Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338): Según esta ley, es responsabilidad de los Consejos de Recursos Hídricos de Cuenca promover la conservación, protección y uso sostenible de los recursos hídricos, así como prevenir y controlar la contaminación y la degradación de los cuerpos de agua.

Protección de Áreas Naturales Protegidas (ANP): El Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes está designado como un Área Natural Protegida, y su conservación y manejo adecuado están respaldados por la Ley de Áreas Naturales Protegidas (Ley N° 26834). La Secretaría Técnica del Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Tumbes tiene la responsabilidad de contribuir a la protección de estas áreas y garantizar su integridad ambiental.

Preservación de la Biodiversidad: La sedimentación en el santuario puede tener impactos negativos significativos en la biodiversidad y los ecosistemas acuáticos. La conservación de la biodiversidad está en línea con los objetivos establecidos en la Estrategia Nacional de Diversidad Biológica (Decreto Supremo N° 012-2017-MINAM), que busca garantizar la conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica del país.

Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas: La sedimentación en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes puede estar relacionada con la gestión de la cuenca hidrográfica en su conjunto. La Ley de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) establece la necesidad de realizar un enfoque integral para la gestión de los recursos hídricos, lo que implica abordar los problemas de calidad y cantidad del agua, así como la conservación de los ecosistemas asociados.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

La ANP SNLMT encuentra dentro de las zonas prioritarias de intervención del "Fondo para la Gestión Integrada del Agua en Tumbes" – FONGIAT¹, los cuales constituyen áreas vulnerables de las cuencas media y baja, específicamente en zonas deforestadas, zonas de recarga hídrica, áreas con procesos de erosión o en ámbitos de las áreas naturales protegidas, siendo las ubicadas en la zona marino costera de Tumbes y zona de ecosistema Manglar.

Es por ello que, con el presente informe, se detallan los problemas de sedimentación, identificando las causas subyacentes y los impactos observados, el mismo que luego de ser aprobado y validado por las entidades competentes, será utilizado como documento de sustento para la ejecución de intervenciones en este ámbito de ecosistema como en los adyacentes.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar una evaluación detallada del estado actual de las áreas del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes y sus afluentes aguas arriba de la cuenca que presentan problemas de sedimentación, identificando las causas subyacentes y los impactos observados.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluación de la sedimentación del ámbito de intervención en el ecosistema Manglar (Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes entre los años 1,983 – 2,024).
- Identificar el grado de afectación de las zonas afectadas por esta problemática.

IV. MATERIALES Y METODOLOGÍA

Para el presente análisis se han utilizado las siguientes herramientas y softwares, los mismos que han sido utilizados por esta secretaría técnica y otras instituciones en estudios similares en otros ámbitos, así mismo, se han realizado visitas y salidas de campo en alianza y coordinación con el Consorcio Manglares del Noroeste del Perú, quienes junto con el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas, coadministran el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, en ese sentido, se ajustan a los objetivos de la investigación y se explican a continuación:

¹ Mediante la Ordenanza Regional N° 003-2023/GOB.REG.TUMBES-CR-CD publicada en el diario El Peruano el 11 de octubre del 2023, se crea la Plataforma del Mecanismo de Retribución por Servicios Ecosistémicos Hídricos FONGIAT, iniciativa liderada por el Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Tumbes.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

4.1. CARTOGRAFÍA

La cartografía digital utilizada como apoyo para la identificación de las áreas deforestadas² se presenta a continuación:

- MINAM: Mapa de Cobertura Vegetal del Perú-2015- Escala 1: 2'000,000
- MINAM: Mapa de Áreas Degradas 2020 escala 1:2'000,000
- Ministerio de Transportes: Red Vial 2011, escala 1:100 000
- ANA: Mapa de Unidades Hidrográficas del Perú (Cuenca Hidrográficas) 2015, escala 1:100 000
- INEI: Límite departamental-2007
- Límite provincial-2007
- Límite distrital-2007

4.2. IMÁGENES SATELITALES

Las imágenes de los satélites constituyen una herramienta esencial para la gestión del desarrollo y el manejo sostenible de ecosistemas, entendido como un aporte en el manejo global de datos que permiten la visualización de la geología ambiental, sus características y los riesgos que lo afectan o pueden afectar, entre otros aspectos indispensables y estratégicos para la toma de decisiones y diseño de proyectos, entre otras intervenciones en pro de su conservación y aprovechamiento de los servicios que estos proveen.

Para el presente análisis se han utilizado las imágenes satelitales de los siguientes servidores: Landsat 5, 7, 8 y 9 de las constelaciones de satélites Landsat, Sentinel 1 y Sentinel 2 de la constelación de satélites Copernicus, y Satélites de la constelación Planet.

Las imágenes Landsat llevan proveyendo de imágenes satelitales desde los años 1970. Actualmente, las imágenes Landsat 8 y 9, son una de las opciones de análisis con las que se puede descargar gratuitamente imágenes con resoluciones espaciales, que llegan a los 15 metros por píxel.

Imagen 1 Características Bandas Landsat 8

	LANDSAT 8	
	Longitud de onda (μm)	Resolución (m)
Banda 1 - Coastal Aerosol	0,435 - 0,451	30
Banda 2 - Blue	0,452 - 0,512	30
Banda 3 - Green	0,533 - 0,590	30
Banda 4 - Red	0,636 - 0,673	30
Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0,851 - 0,879	30
Banda 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1,566 - 1,651	30
Banda 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2,107 - 2,294	30
Banda 8 - Panchromatic	0,503 - 0,676	15
Banda 9 - Cirrus	1,363 - 1,384	30
Banda 10 - TIR 1	10,60 - 11,19	100
Banda 11 - TIR 2	11,50 - 12,51	100

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

² La misma cartografía digital, fue utilizada para la identificación de las áreas deforestadas en la Amazonía peruana.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Características de las imágenes Landsat

La misión Landsat ofrece diferentes imágenes satelitales acotadas a momentos temporales y bajo resoluciones de pixel diferente. Desde la misión Landsat 1, hasta la actual Landsat 8, existe una compilación diversa. En función de la franja temporal de análisis, a continuación, un listado de estas misiones Landsat:

- Landsat 1: Julio 1972-enero 1978
- Landsat 2: enero 1975-febrero 1982
- Landsat 3: marzo 1978-marzo 1983
- Landsat 4: Julio 1982-diciembre 1993
- Landsat 5: enero 1984-enero 2013
- Landsat 7: enero 1999-Actualidad
- Landsat 8: abril 2013-Actualidad
- Landsat 9: septiembre 2021-Actualidad

Las imágenes Sentinel 2 son proporcionadas por los “gemelos” Sentinel 2A y Sentinel 2B, con una resolución de 10 metros poseen 13 bandas de trabajo, pudiendo realizarse filtros a color natural y falso color o componer índices espectrales a una máxima resolución.

La plataforma Copernicus Open Access Hub permite descargar las imágenes y, herramientas gratuitas como SNAP y conocer las características al descargar, analizar y visualizar las imágenes satelitales de Sentinel 2.

Imagen 2 Satélite Sentinel 2



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

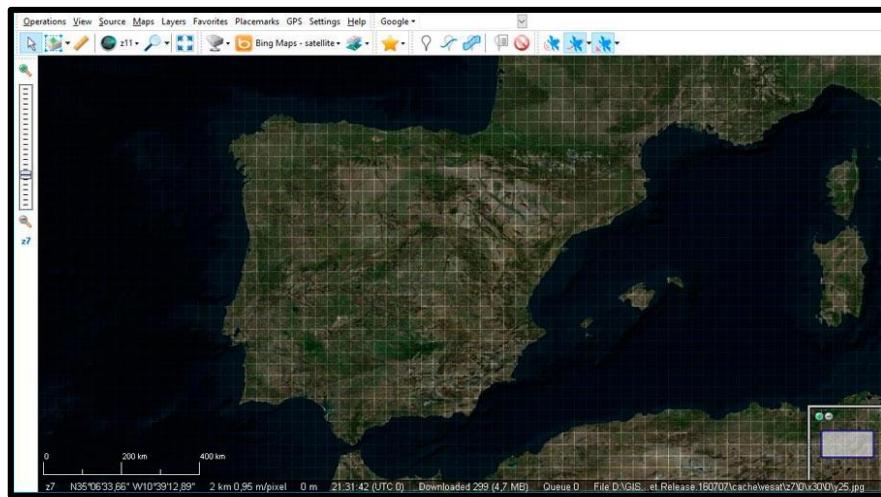
SAS Planet, es una de las herramientas empleadas para descargar mosaicos de mapas temáticos provenientes de los principales proveedores de servicios de mapas e imágenes de satélite. Un sencillo programa con el que se puede elegir el nivel de resolución y la fuente de mapa deseado para componer una imagen a partir de tiles.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Imagen 3 SAS Planet

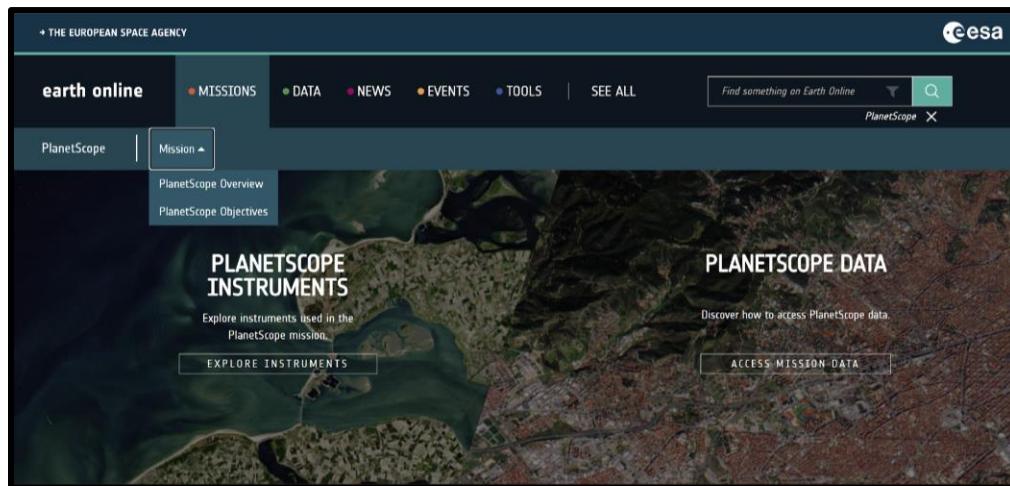


Fuente: ST

CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

PlanetScope, operado por Planet, es una constelación de aproximadamente 130 satélites, capaces de obtener imágenes de toda la superficie terrestre. Tiene una capacidad de recolección diaria de 200 millones de km²/día.

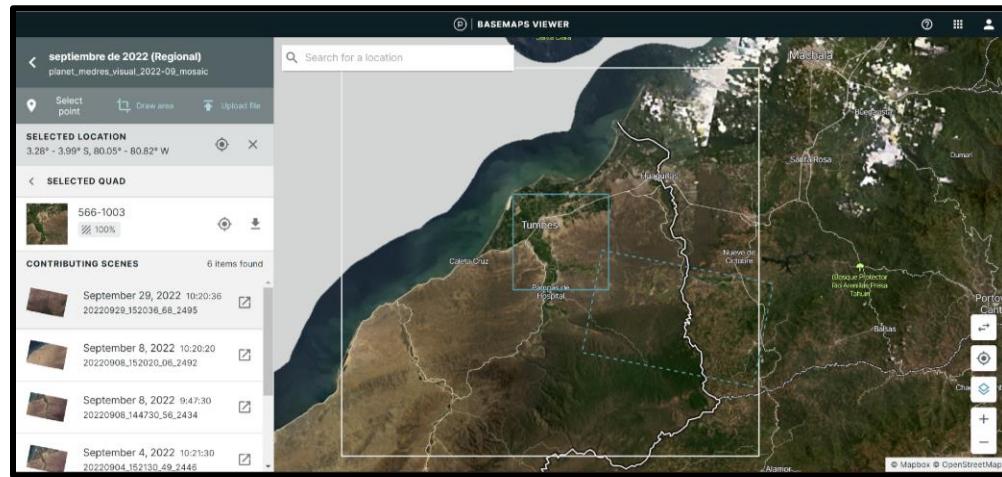
Imagen 4 Interfaz del PlanetScope



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Las imágenes de Planet Scope tienen una resolución de aproximadamente 3 metros por píxel.

Imagen N°05 Resolución de Planet Scope.



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

4.3. EQUIPOS Y SOFTWARES.

Para la presente investigación se utilizaron las siguientes equipos y softwares:

- ArcGis 10.8, ArcGis Pro, SNAP, y aplicativos como Google Engine y Google Earth Pro
- Información oficial de las páginas: (MINAM) <https://geoservidor.minam.gob.pe/>
- (terra i) <http://maps.terra-i.org/es/terra-i.html>
- 01 PC Workstation Mac Pro. Sistema Operativo de 64 Bit. Procesador Intel (R) Xeon(R) CPU E5645 Dos Procesadores de 2.40GHz y 2.53GHz.
- 01 Laptop ASUS, AMD Ryzen i9 5900HX with Radeon Graphics 3.30 GHz, 32.0 GB, Sistema operativo de 64 bits, procesador basado en x64.
- Drone Mavic DJI Air2
- Cámaras fotográficas con georreferenciación.
- GPS Garmin Montana 750i

4.4. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende, el litoral de la costa noroeste del Perú, en la provincia y distrito de Zarumilla del departamento de Tumbes, en el área geográfica que comprende El Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes con un área de 2,972.00 Has que está ubicado en la costa fronteriza con Ecuador, un lugar único en donde se encuentra la mayor extensión de manglares del país. Es por eso que el valor de este ecosistema no solo se debe a su diversidad biológica, sino también a que muchas poblaciones humanas obtienen beneficios directos a través de la extracción, comercialización y consumo de los productos hidrobiológicos que obtienen.

El Santuario custodia el bosque de manglar y protege una alta diversidad biológica, además de incentivar la recreación y aumentar las corrientes turísticas en los lugares aledaños. El manglar es un tipo de ecosistema de zonas tropicales que toma su nombre del mangle, un árbol

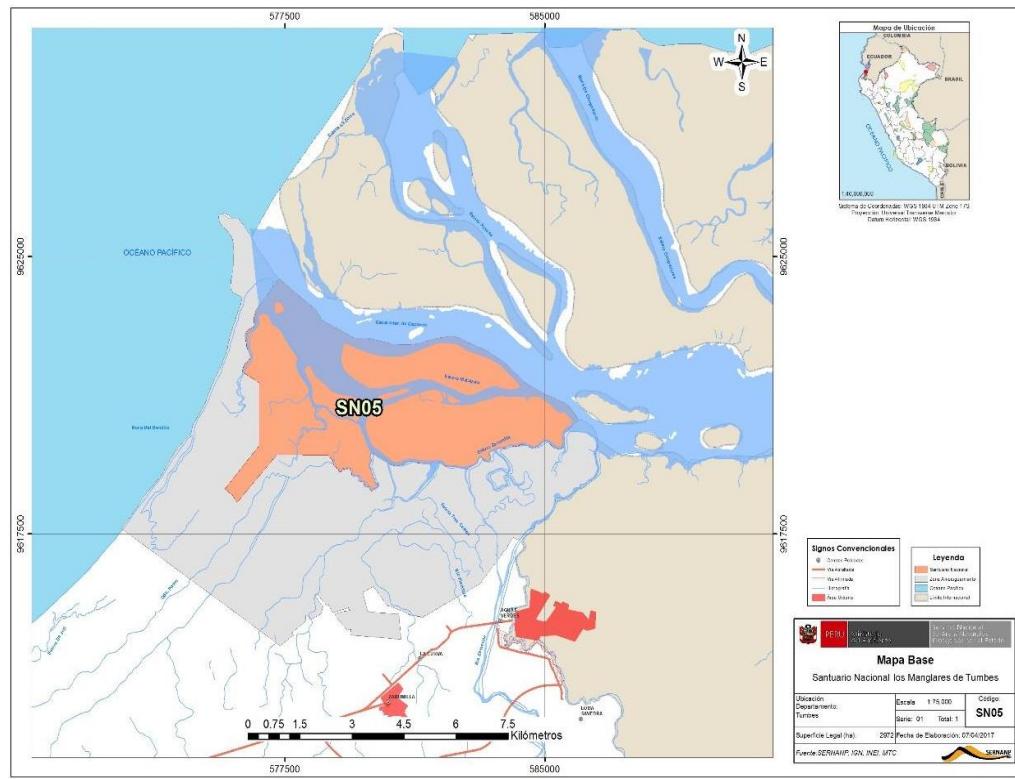


PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

adaptado fisiológicamente y anatómicamente a las aguas con mucha salinidad y que crece sólo en lugares inundados alternadamente por el mar y la desembocadura de alguna fuente de agua dulce. En Tumbes se encuentra desde el delta que forma la desembocadura del río Tumbes hasta la Punta Capones, en la frontera con Ecuador.

Mapa 1 Área de estudio



Fuente: Plan Maestro del SNLMT 2023-2027

Flora y fauna

En el santuario habitan cerca de 148 especies de aves, de las cuales 19 especies son endémicas de Tumbes, entre ellas el huaco manglero (*Nyctanassa violaceus*), la gallina del mangle (*Aramides axillaris*), la chiroca manglera (*Dendroica petechia*) y el ibis blanco (*Eudocimus albus*). En la zona arbustiva habitan 37 especies de aves y en la zona propia de los manglares se reportan 43 aves. Asimismo, 26 especies son migratorias provenientes de América del Norte.

Se han identificado 10 especies de mamíferos, donde sobresalen el perrito conchero (*Procyon cancrivorus*), la nutria del noroeste (*Lontra longicaudis*) y el osito manglero (*Cyclopes didactylus*).

También habitan cerca de 105 especies de peces, y otras 40 lo visitan. Se han reportado 33 gasterópodos (caracoles), 34 crustáceos (langostinos, cangrejos), 24 especies de bivalvos (moluscos con concha) y 9 especies de reptiles. Mención aparte merece el cocodrilo americano



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

o de Tumbes (*Crocodylus acutus*), cuya actual ausencia del área protegida lo confirma como una de las especies más amenazadas.

En cuanto a la flora, la especie predominante es el mangle. Se pueden diferenciar cinco tipos: el rojo (*Rhizophora mangle*), el colorado (*Rhizophora harrisonii*), el salado (*Avicennia germinans*) y el blanco (*Laguncularia racemosa*), y finalmente la piña (*Conocarpus erectus*) que está más asociado al bosque seco ecuatorial, que se localiza en las partes centrales de algunas islas y en zonas cercanas al manglar. También se puede presenciar matorrales arbustivos y gramadales.

Clima

Las temperaturas medias mensuales oscilan entre 18° C en invierno y 30° C en verano. El santuario presenta un clima subtropical. La influencia de las corrientes peruana o de "Humboldt" y la de "El Niño", junto al Anticiclón del Pacífico Sur, ocasionan períodos irregulares de sequía (100 a 300 mm anuales) y lluviosos (2700 a 3800 mm por año). Aunque todo el año es posible la visita, la época sin lluvias de abril a noviembre es la ideal. Y si se quiere ver el manglar en sus dos estados, marea alta y baja, se recomienda permanecer dos días en él.

Actividades turísticas

La zona de uso turístico y recreativo del santuario está comprendida por el estero Zarumilla, a la altura del estero Camarones, siguiendo por el estero Matapalo hasta el estero La Envidia, a la altura del sector El Palmal. Tiene un área total de 137,5 ha (4,61% del área) y en ella se puede visitar las orillas del manglar y recorrer los canales en canoas y/o kayak, observar aves y apreciar las actividades extractivas de recursos hidrobiológicos (turismo vivencial).

En el puesto de control "El Algarrobo", ubicado en la zona de amortiguamiento del área protegida, se encuentra el Centro de Interpretación, cuya visita es obligatoria.

4.5. OBTENCIÓN DE IMÁGENES, LANDSAT, SENTINEL 2 Y PLANET SCOPE.

Se trabajó con estos 03 servidores y tipos de imágenes de diferentes resoluciones y de diferentes fechas, ya que las de resolución más baja (30m) de Landsat, son las más antiguas (mínimo 40 - 45 años) pero se utilizan para evaluar la deforestación, el cambio de cobertura vegetal, el uso de suelo, cambios de la morfología del suelo.

Las imágenes de más alta calidad (3m) utilizadas fueron del Servidor Planet, que nos permiten realizar una evaluación y seguimiento preciso de las áreas degradadas, deforestadas y la sedimentación que es el objetivo final de este estudio e informe.

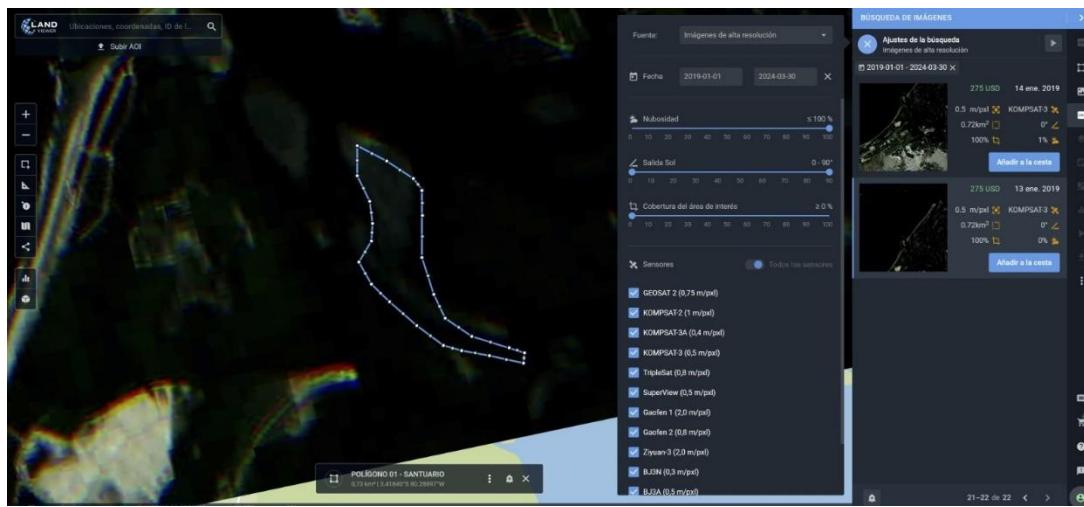
Imagen 5 Comparativo se resolución de imágenes de satélite: Landsat, Sentinel y Planet



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Así mismo se adquirió y uso otra imagen de alta resolución ($0.5\text{m} = 50\text{cm}$) con 4 Bandas RGB y NIR adquirida mediante el servidor Landsat, que se usó para los cálculos de procesamiento y evaluación del volumen de las áreas sedimentadas (bancos de arena).

Imagen 6 Delimitación del área de interés



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Y, por último, se realizó fotogrametría mediante el vuelo de Drone (Mavic DJI Air2), la planificación del levantamiento se realizó delimitando un polígono en la plataforma Drone Link, para su posterior ejecución en campo. El procesamiento fotogramétrico se realizó mediante softwares como el Agisoft y Global Mapper.

Imagen 7 Plan de Vuelo



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Fotografía i Ejecución en campo del plan de vuelo



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

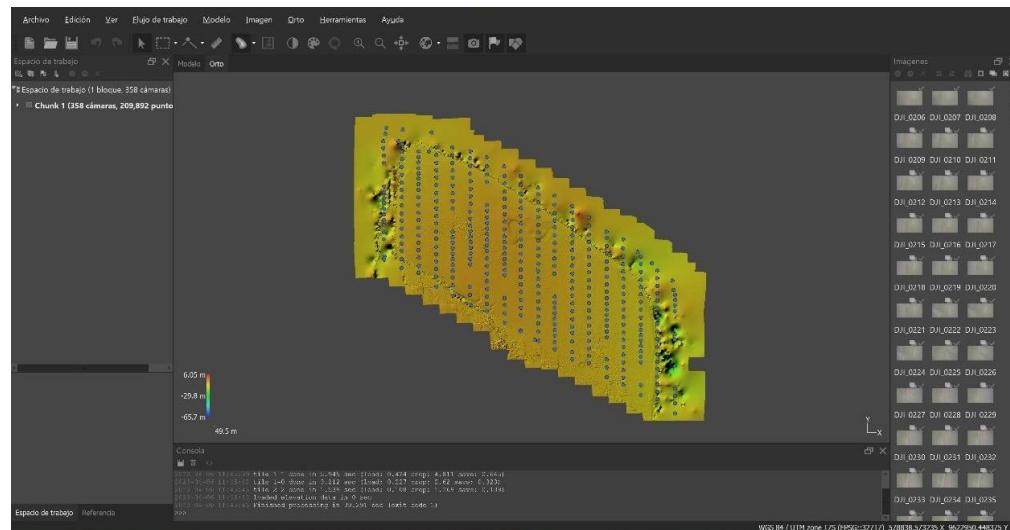
Durante la ejecución en campo del Plan de Vuelo, realizado por los especialistas de La secretaría técnica del CRHC Tumbes.

Fotografía ii Vista Panorámica (drone) de la zona de interés



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Imagen 8 Modelo digital de elevaciones procesado

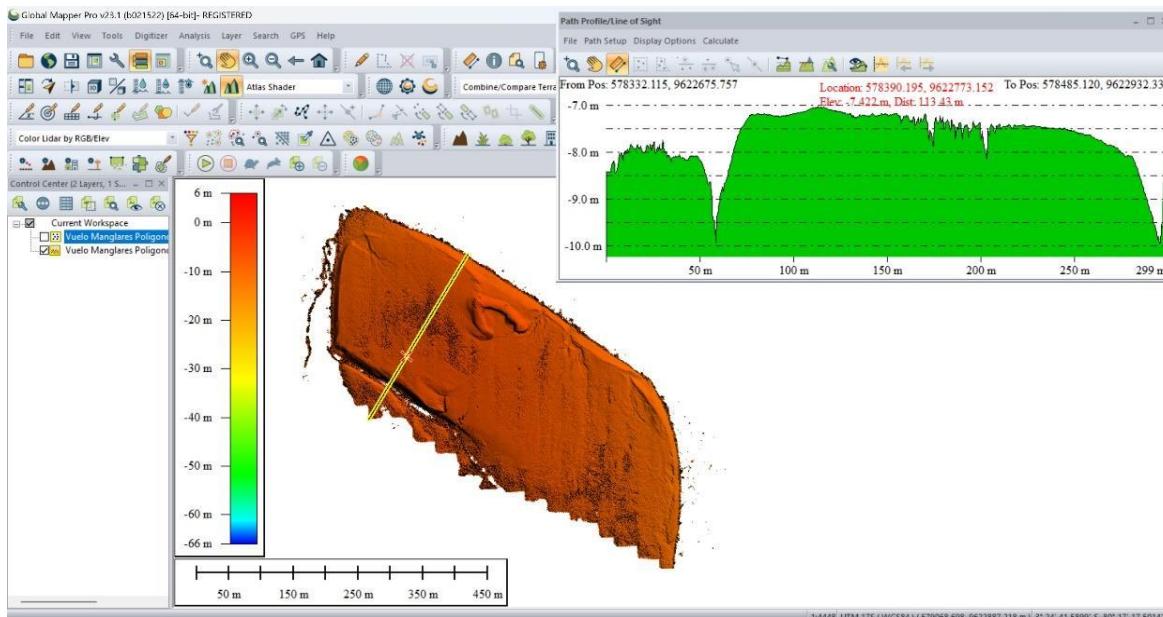


Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Se realizó un vuelo RPAS programado en un polígono determinado de los bancos de sedimentos identificados con la finalidad de tener una panorámica in situ de la distribución de los bancos de sedimentos en el delta del río Zarumilla, tener un geoposicionamiento - espacial referencial, distribución de los bancos de sedimentos y levantar información para obtención de:

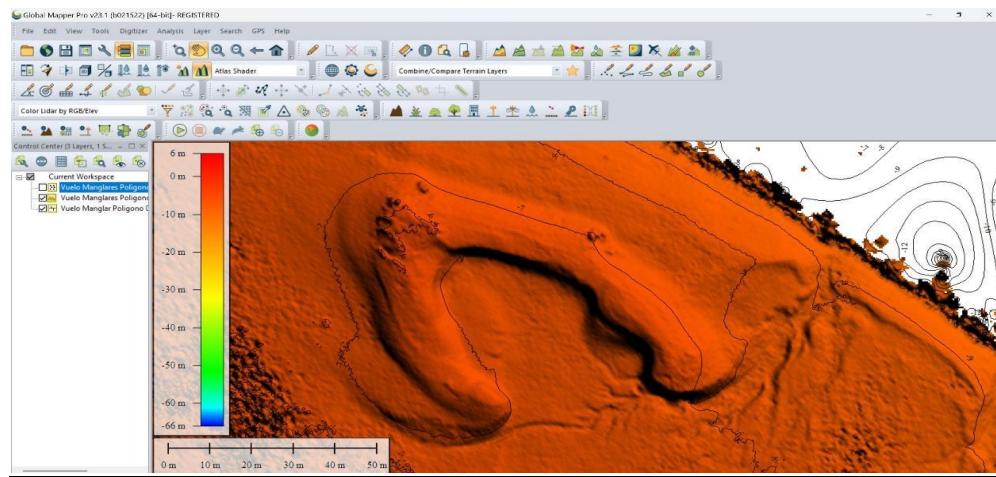
- Ortomosaico.
- Modelo DEM
- Curvas de Nivel.
- Perfil longitudinal
- Cálculo de volumen de sedimentos en este polígono
- Visión geo espacial de distribución y características de los bancos de sedimentos.

Imagen 9 Análisis de la topografía obtenida



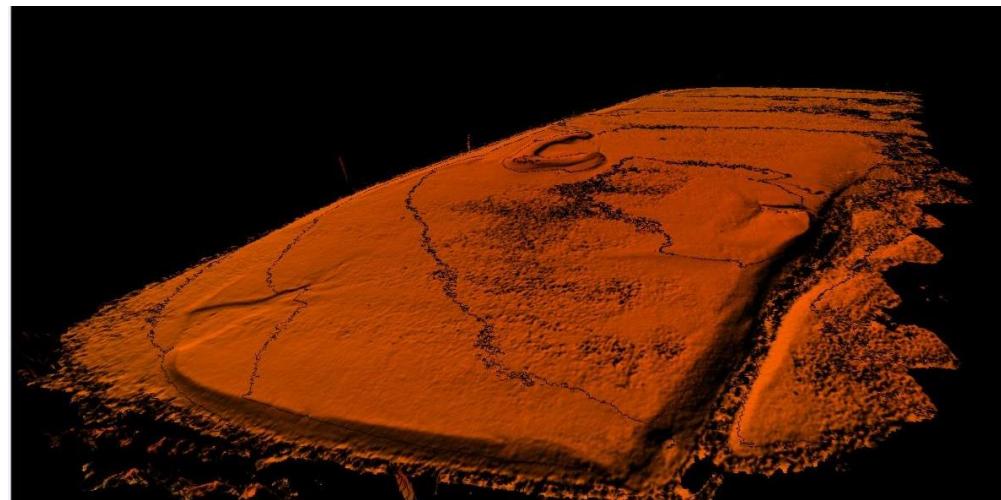
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Imagen 10 Acercamiento del detalle de los sedimentos



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Imagen 11 Vista 3D del área de interés



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

4.6 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

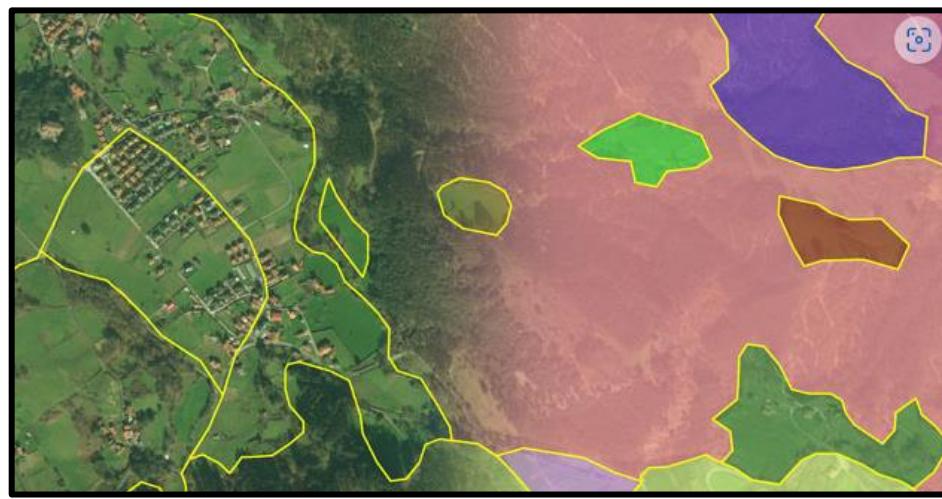
Clasificación Supervisada

La clasificación supervisada se realiza al agrupar píxeles de características similares para identificar zonas territoriales homogéneas. Con esta clasificación supervisada, se puede trabajar con imágenes aéreas y bandas ráster multiespectrales reclasificando el territorio de

manera rápida realizando, por ejemplo, mapas de usos del suelo, dada la similitud de valores radiométricos de los píxeles.

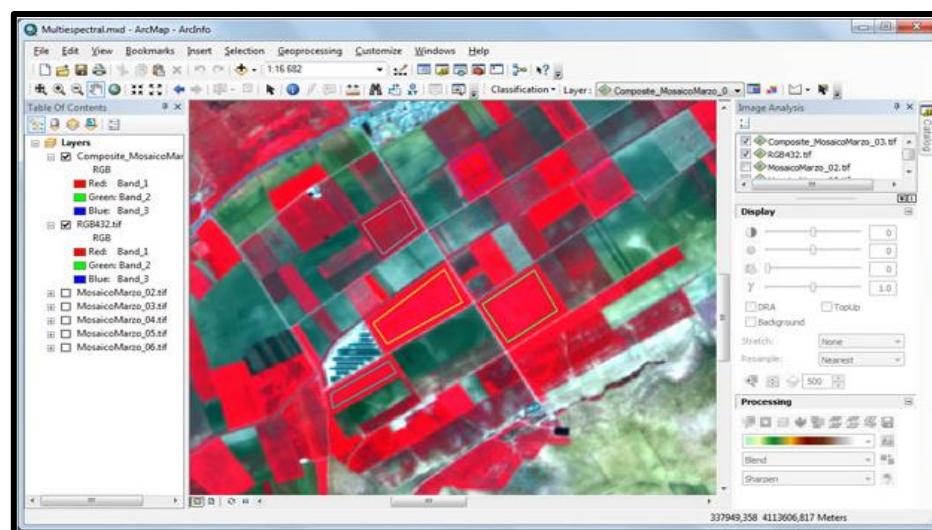
La reclasificación supervisada ha de ser generada previa digitalización de lugares que cumplan, por fotointerpretación, características homogéneas. La identificación de estas zonas puede ser realizada de manera visual trazando huellas, a modo de polígonos, que abarquen zonas territoriales con características similares (y por tanto sus valores radiométricos de píxeles). Para ello se debe activar en la barra de herramientas la opción denominada “Image Classification”.

Imagen 12 Mapeo de suelos



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Imagen 13 Polígonos



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Para empezar a realizar el testeo de huellas, se recurre a la herramienta “Draw training sample with polygon”. Esta herramienta permitirá digitalizar pequeños polígonos de territorio homogéneo, fotointerpretando la imagen y así generar el testeo de entrenamiento. Por ejemplo, digitalizando algunas parcelas de cultivo, fragmentos de zonas boscosas, fragmentos de masas de agua o partes de zonas urbanas.

Una vez tengamos un número representativo de estos polígonos, se debe acceder a la herramienta Training Sample Manager, situada en la nueva barra de herramientas, encargada de gestionar las clasificaciones que se realiza en la imagen y luego asignarles sus propiedades correspondientes.

Imagen 14 Representaciones

ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Class 1	1	Green	867
2	Class 2	2	Yellow	842
3	Class 3	3	Grey	475
4	Class 4	4	Purple	373
5	Class 5	5	Cyan	291
6	Class 6	6	Brown	507

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Desde esta sección se pueden visualizar los registros de polígonos digitalizados, agruparlos en función de la tipología de territorio muestreado al asignarle propiedades y simbología de representación.

Imagen 15 Datos reclasificados

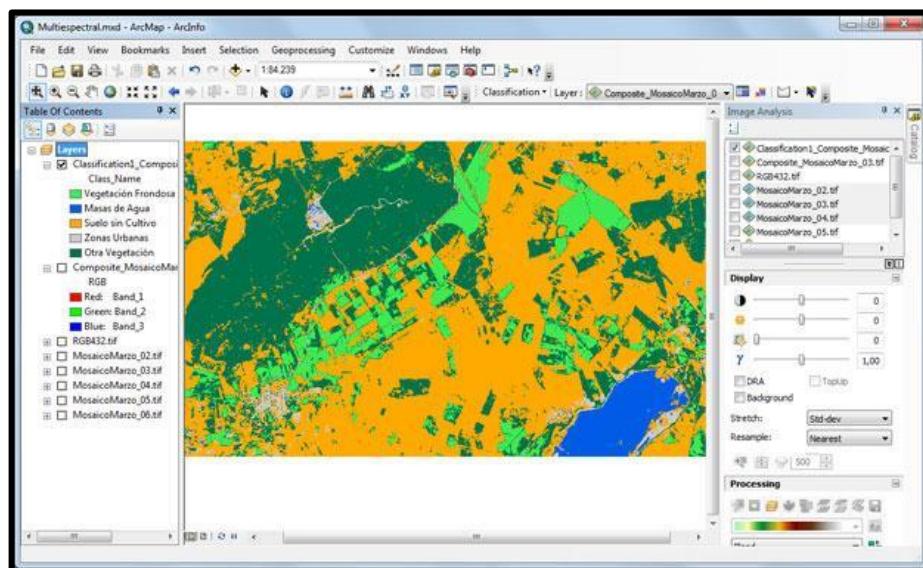
ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Vegetación Frondosa	1	Green	3355
2	Masas de Agua	7	Blue	13118
3	Suelo sin Cultivo	10	Orange	8610
4	Zonas Urbanas	15	Grey	1818
5	Otra Vegetación	19	Dark Green	8018

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

A continuación, se genera un mapa reclasificado pudiendo emplear varias funciones de reclasificación que sigan un patrón de análisis específico de píxeles. Estas funciones se encuentran disponibles desde el botón Clasificación, incluido dentro de la barra de herramientas Image Classification. Seleccionando la opción Interactive Supervised Classification se accede de forma rápida a una sencilla reclasificación visualizando el mapa reclasificado y siguiendo un patrón de colores de píxel análogo al establecido durante la reclasificación.

Con el mapa reclasificado, se puede guardar la información a través de las herramientas de ArcToolBox, así mismo, se puede vectorizar la cartografía para pasarla a un formato vectorial.

Imagen 16 Polígonos reclasificados



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Clasificación No Supervisada

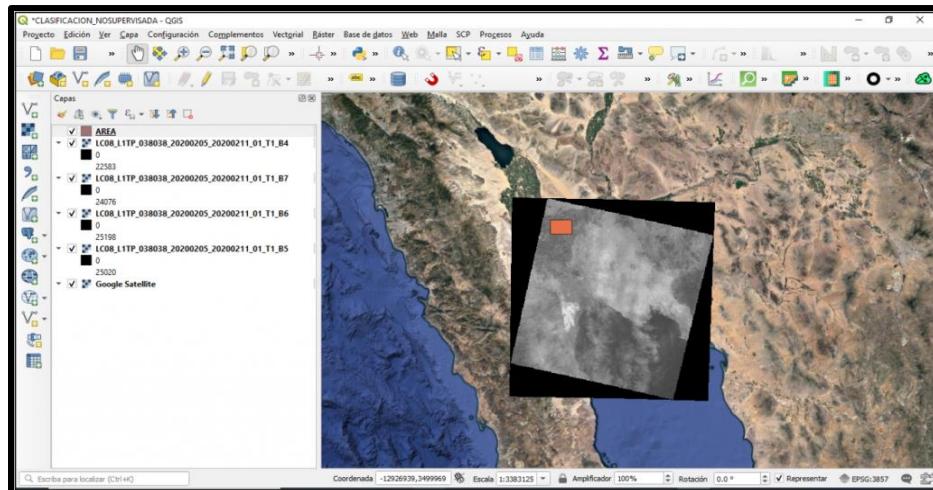
La clasificación no supervisada, es una forma de clasificación basada en píxeles y es esencialmente una clasificación automatizada por computadora. El usuario especifica el número de clases espectrales, las cuales se crean únicamente en función de la información numérica de los datos.

Este método es bastante rápido y fácil de ejecutar, no se requiere un conocimiento previo extenso del área, pero se debe poder identificar la clasificación. Las clases se crean basándose en información espectral, por lo que no son tan subjetivas como la interpretación visual manual.

La desventaja es que las clases espectrales no siempre corresponden a clases informativas. El usuario también tiene que dedicar tiempo a interpretar y etiquetar las clases siguiendo la

clasificación. Las propiedades espectrales de las clases también pueden cambiar con el tiempo, por lo que no siempre se puede usar la misma información de clase al pasar de una imagen a otra.

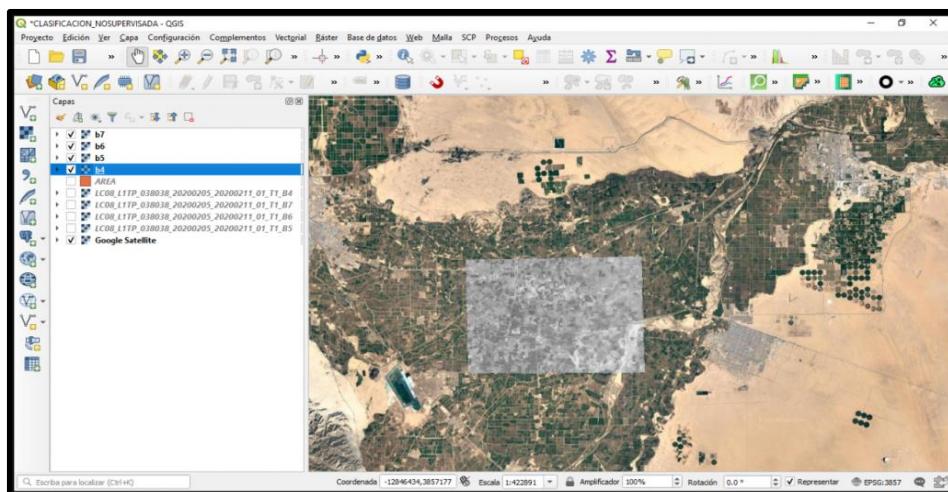
Imagen 17 Clasificación no supervisada



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Lo siguiente a realizar será la edición de la imagen y descarga en base al área de interés, se repite el mismo proceso con cada una de las bandas.

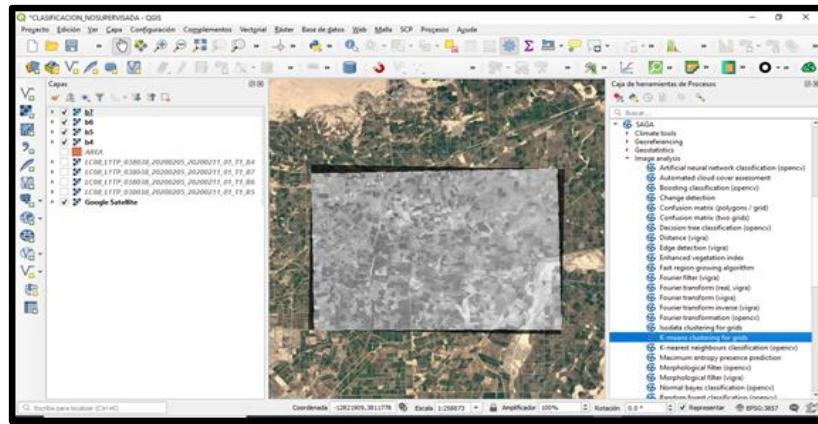
Imagen 18 Imágenes satelitales en el área de interés.



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

La clasificación no supervisada del área, se realiza con la herramienta de K-means clustering for Grids de SAGA. Se accede desde la caja de herramientas del menú Procesos/Caja de herramientas/ Saga/Image analysis/K-means clustering for grids.

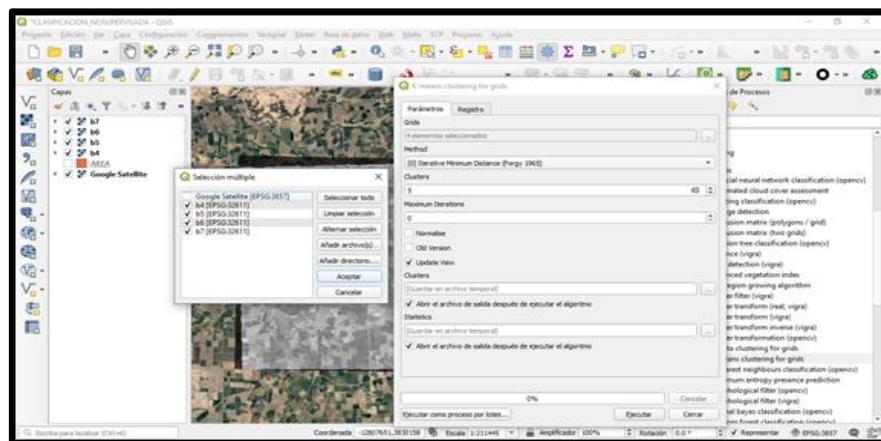
Imagen 19 Imagen Satelital en desarrollo



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Se accede a los datos, en “Grids” y se cargan las cuatro bandas de la imagen satelital recortada. En “Method” se selecciona el acceso denominado “Iterative Minimum Distance”, con este método se busca agrupar los centroides que se distribuyen inicialmente de forma aleatoria, por lo que este método es de los más adecuado a la hora de la clasificación de la vegetación. En “clusters”, seleccionamos el número de clases que se requiere generar, para este caso se han seleccionado cinco (05) clases, las demás opciones las dejamos por defecto. Cabe señalar que este método también permite obtener las estadísticas de los resultados.

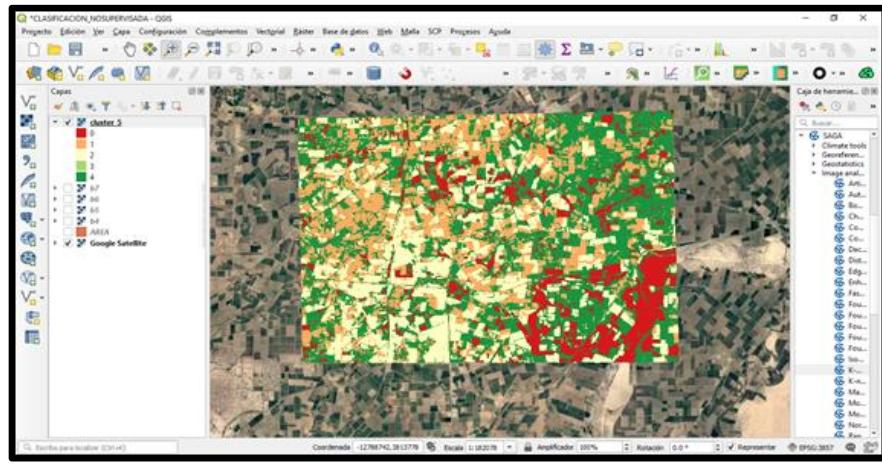
Imagen 20 Selección de clases



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Se pone en marcha el proceso, cuyo tiempo de ejecución es variable, en concordancia al tamaño del área a procesar. Una vez obtenido el resultado, se pueden modificar las opciones de visualización, de simbología de los resultados y analizar los resultados obtenidos.

Imagen 21 Resultado



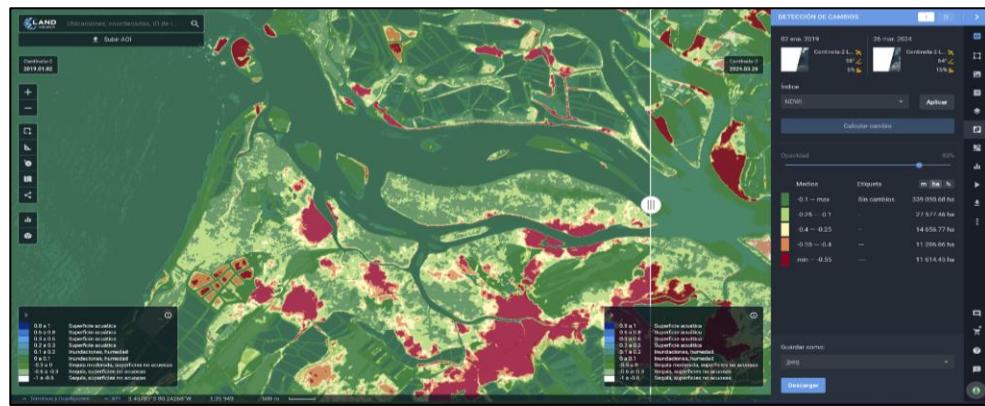
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

La clasificación no supervisada puede resultar de gran utilidad cuando no se disponen de datos de campo o como paso previo a una clasificación supervisada.

Detección de Cambios

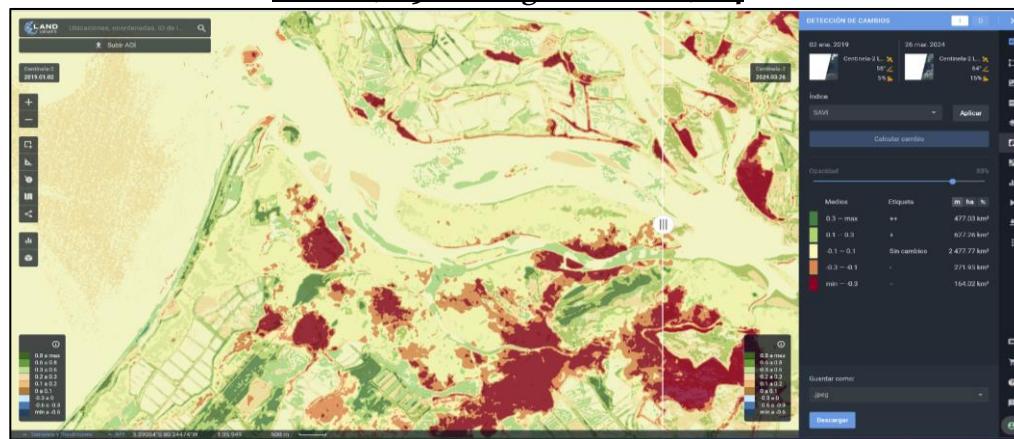
Las catástrofes naturales como tornados, incendios forestales, tsunamis, inundaciones o erupciones volcánicas son imposibles de prevenir, pero un seguimiento exhaustivo de cualquier mínimo cambio puede ayudar a mitigar las pérdidas. EOSDA Land Viewer puede proporcionar una visión de esto con la herramienta de detección de cambios de un área de interés para diferentes fechas.

Imagen 22 Mapa de detección de Cambios



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – LAND VIEWER

Imagen 23 Detección de Cambios – Índice de Deforestación, comparativa imagen enero 2,019 vs imagen marzo 2,024



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - LAND VIEWER

NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada)

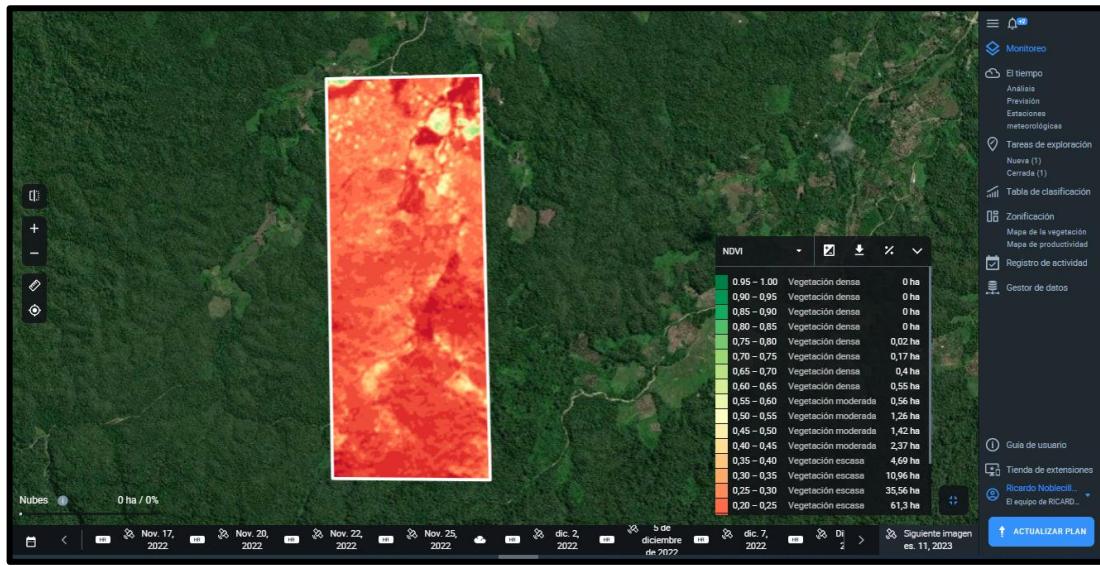
Explicado de la forma más sencilla posible, el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) mide el verdor y la densidad de la vegetación captada en una imagen de satélite. La vegetación sana tiene una curva de reflectancia espectral muy característica de la que se puede sacar partido calculando la diferencia entre dos bandas: la del rojo visible y la del infrarrojo cercano. El NDVI es esa diferencia expresada numéricamente entre -1 y 1.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Imagen 24 Características espectrales



Fuente:

ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - LAND VIEWER

Detección de cambios con el índice NDVI

El NDVI de un cultivo o una planta calculado regularmente durante distintos períodos de tiempo puede revelar mucho sobre los cambios en sus condiciones. En otras palabras, Se puede utilizar el NDVI para estimar la salud de las plantas a distancia.

La caída en los valores también puede corresponder a cambios normales, como el momento de la cosecha, por lo que el NDVI debe contrastarse con otros datos disponibles. La interpretación correcta de los valores del NDVI puede ayudar a los agricultores a obtener un mayor y más saludable rendimiento, ahorrar dinero en fertilizantes y cuidar mejor del medio ambiente.

Cómo calcular el NDVI

El NDVI se calcula a partir de imágenes de satélite y de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR-RED}) / (\text{NIR+RED})$$

Donde:

NIR: Luz reflejada en el espectro del infrarrojo cercano.

RED: Luz reflejada en el rango rojo del espectro

De acuerdo con la fórmula del NDVI, la densidad de la vegetación (NDVI) en un punto determinado de la imagen es igual a la diferencia de las intensidades de luz reflejada en el rango rojo e infrarrojo dividida por la suma de estas intensidades.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Rango del Índice NDVI

Este índice está definido por valores que van de -1,0 a 1,0, donde los valores negativos están formados principalmente por nubes, agua y nieve, y los valores cercanos a cero están formados principalmente por rocas y suelo descubierto.

Los valores muy pequeños (0,1 o menos) de la función NDVI corresponden a áreas sin rocas, arena o nieve.

Los valores moderados (de 0,2 a 0,3) representan arbustos y praderas, mientras que los valores grandes (de 0,6 a 0,8) indican bosques templados y tropicales.

EOSDA Crop Monitoring utiliza con éxito esta escala para mostrar a los agricultores los segmentos de sus campos que tienen una vegetación densa, moderada o escasa en un momento dado.

Saturación del NDVI

Existen ciertas limitaciones bien conocidas en el uso del índice NDVI que no deben ser ignoradas. En concreto, se produce un fenómeno a veces llamado “saturación” cuando la cantidad de pigmentos de las hojas alcanza un punto crítico, lo que disminuye la sensibilidad del NDVI.

Como la reflectancia en la banda NIR sigue aumentando en las últimas etapas de desarrollo del cultivo, la luz roja (RED) sigue siendo absorbida. En otras palabras, el valor NIR sigue aumentando, pero el valor RED se mantiene igual. Como resultado, los valores NDVI se convierten en indicadores menos fiables de la salud de los cultivos.

Para solucionar este problema, EOSDA Crop Monitoring ofrece otros índices de vegetación que pueden compararse entre sí para ayudar a los usuarios a llegar a una conclusión más objetiva sobre el estado de la vegetación.

El NDVI en teledetección

El NDVI es probablemente uno de los índices de teledetección más comunes que existen. Sus aplicaciones prácticas son increíblemente diversas, entre ellas el cuantificar las existencias forestales y ser utilizado como indicador de la sequía. Entre sus otros usos se encuentran la previsión de zonas de incendio y los mapas de desertificación.

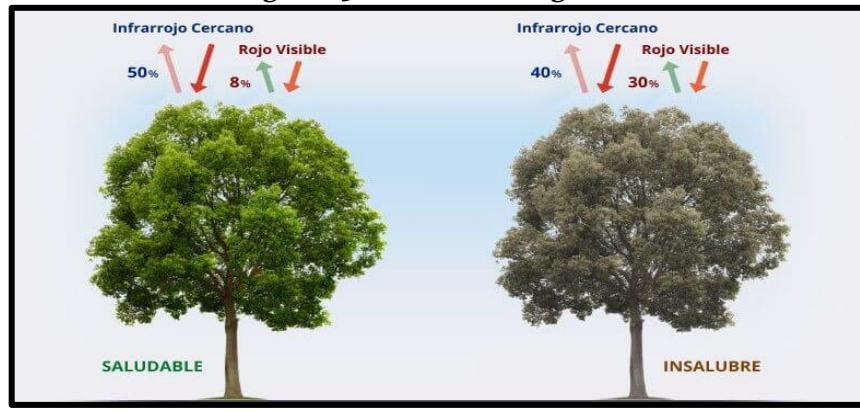
Las plataformas de agricultura de precisión, como EOSDA Crop Monitoring, aprovechan el NDVI para guiar a los exploradores de cultivos a las zonas con problemas del campo y mejorar la precisión de la aplicación de fertilizantes y el riego, entre otras actividades de tratamiento del campo. El NDVI es el índice preferible para el Monitoreo global de la vegetación, ya que ayuda a compensar los cambios en las condiciones de iluminación, la pendiente de la superficie, la exposición y otros factores externos.

NDVI en la agricultura

La clorofila (un pigmento indicador de la salud) absorbe fuertemente la luz visible y la estructura celular de las hojas refleja fuertemente la luz del infrarrojo cercano. Cuando la

planta se deshidrata, enferma, padece una enfermedad, etc., la capa esponjosa se deteriora y la planta absorbe más luz del infrarrojo cercano, en lugar de reflejarla. Así, la observación de cómo cambia la luz NIR en comparación con la luz roja proporciona una indicación precisa de la presencia de clorofila, que se correlaciona con la salud de la planta.

Imagen 25 Salud de la vegetación



El Índice NDVI En EOSDA Crop Monitoring

EOSDA Crop Monitoring es una herramienta perfecta para la Monitoreo de la salud de los cultivos a distancia utilizando el NDVI y otros índices de vegetación, para lo cual se añade todos los campos al sistema, se personaliza la configuración del NDVI y se inicia la recepción de notificaciones.

EOSDA Crop Monitoring realiza un control de los cambios en el NDVI de los campos individuales a lo largo de la temporada, lo que permite consultar el historial de productividad de los campos de hasta 07 años anteriores, se puede monitorear tanto los patrones de rotación de los cultivos como los índices de vegetación actuales, con la ayuda de gráficos sencillos, la plataforma visualiza diferentes tipos de datos, incluyendo los índices de vegetación, la temperatura, la tasa de precipitación, las etapas de crecimiento, el clima histórico, entre otros.

Otra característica importante de EOSDA Crop Monitoring basada en los valores del NDVI es la de zonificación, ya que permite crear mapas especiales para la aplicación de tasa variable de semillas y fertilizantes. Este índice ayuda a determinar las zonas con productividad débil y fuerte en todo el campo, medidas durante largos períodos de tiempo: mapas de productividad (para la siembra y los fertilizantes de potasio y fósforo). El NDVI también se utiliza para medir las variaciones en las necesidades del cultivo de fertilizante de nitrógeno en todo el campo con los mapas de vegetación.

La forma en que el NDVI ayuda a los exploradores en EOSDA Crop Monitoring es básicamente guiándolos a las áreas con problemas dentro de los campos. Se puede ahorrar mucho tiempo y recursos proporcionando a los exploradores la geolocalización exacta de dichas zonas en el

campo. La versión móvil de la plataforma ofrece mapas sin conexión, informes en línea y un sistema de notificaciones automático.

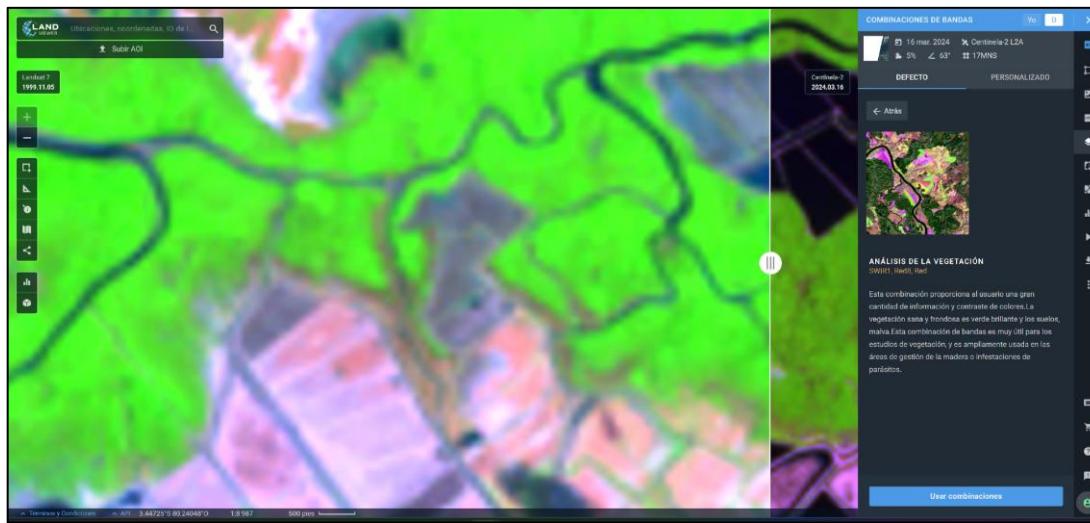
DETECCION DE CAMBIOS: ANÁLISIS DE LA VEGETACIÓN

SWIR1, Red8, Red

Esta combinación proporciona al usuario una gran cantidad de información y contraste de colores. La vegetación sana y frondosa es verde brillante y los suelos, malva. Esta combinación de bandas es muy útil para los estudios de vegetación, y es ampliamente usada en las áreas de gestión de la madera o infestaciones de parásitos.

Esta combinación de bandas espectrales se ha usado para estimar y definir las áreas de manglar degradadas, producto de la sedimentación y arrastre de sólidos continua que se depositan en esas zonas.

Imagen 26 Salud de la vegetación



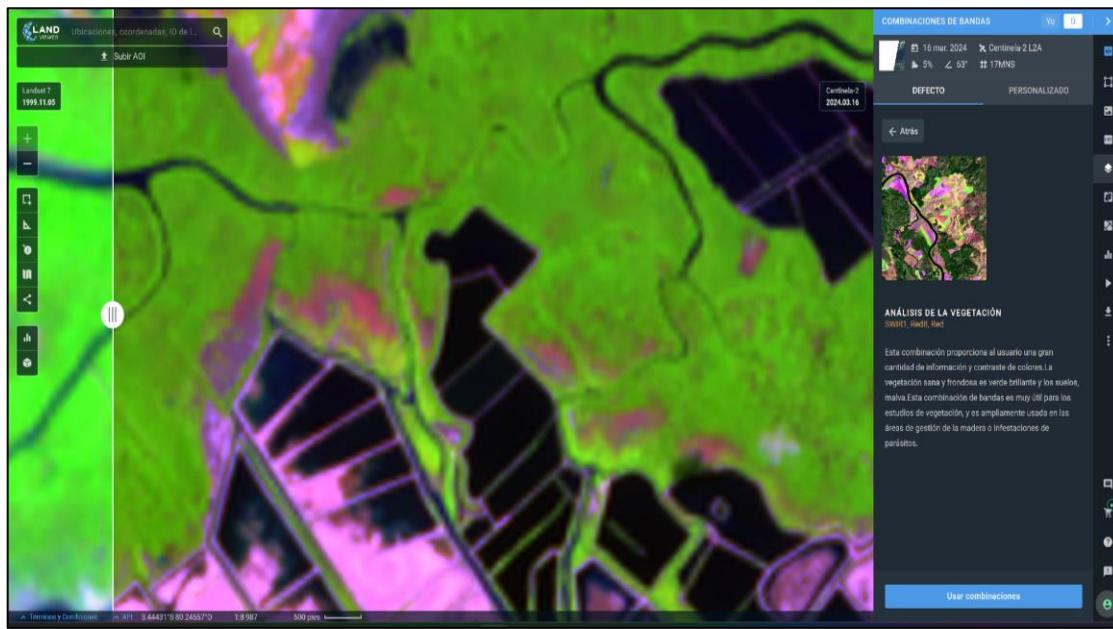
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - LAND VIEWER



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Imagen 27 Salud de la vegetación



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - LAND VIEWER

V. RESULTADOS

El presente análisis pone énfasis en el ámbito de las áreas del Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes, incluyendo la zona de amortiguamiento, donde se demuestra visiblemente una fuerte sedimentación en un espacio evaluado de 41 años (1,983 – 2,024).

5.1 SEDIMENTACIÓN EN DESEMBOLCADERA RÍO ZARUMILLA (ECOSISTEMA MANGLAR)

En el análisis realizado con imágenes de satélite desde el año 1,983 de las constelaciones de satélites Landsat (30m), Sentinel (10m) y Planet (3m), se ha realizado una evaluación, seguimiento y cuantificación del proceso (aumento) de sedimentación ocasionado por el arrastre de sólidos en las avenidas importantes del río Zarumilla en los períodos lluviosos anuales y en los fenómenos del niño y eventos importantes presentados en la región 1,983, 1,998, 2,012, 2017, 2,023.

Para esto se ha usado también diferentes combinaciones de bandas (índices espectrales), que permiten visualizar mejor determinados patrones, como los sedimentos; entre los cuales se usó:

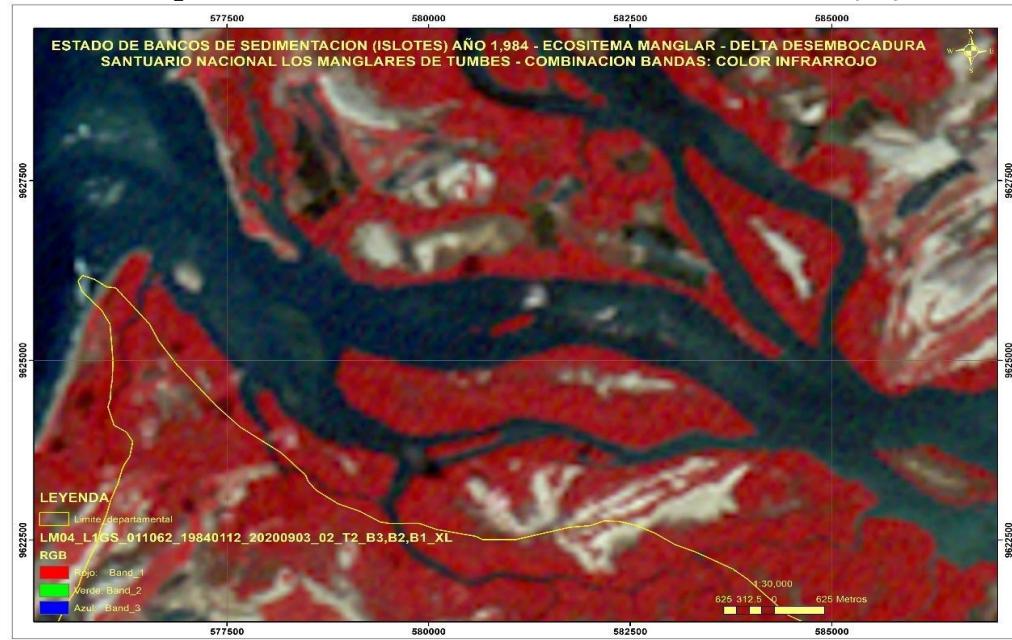
COMBINACION DE BANDAS:

- Color Natural
- Color Infrarrojo

- Análisis de Vegetación
- NDVI
- SAVI

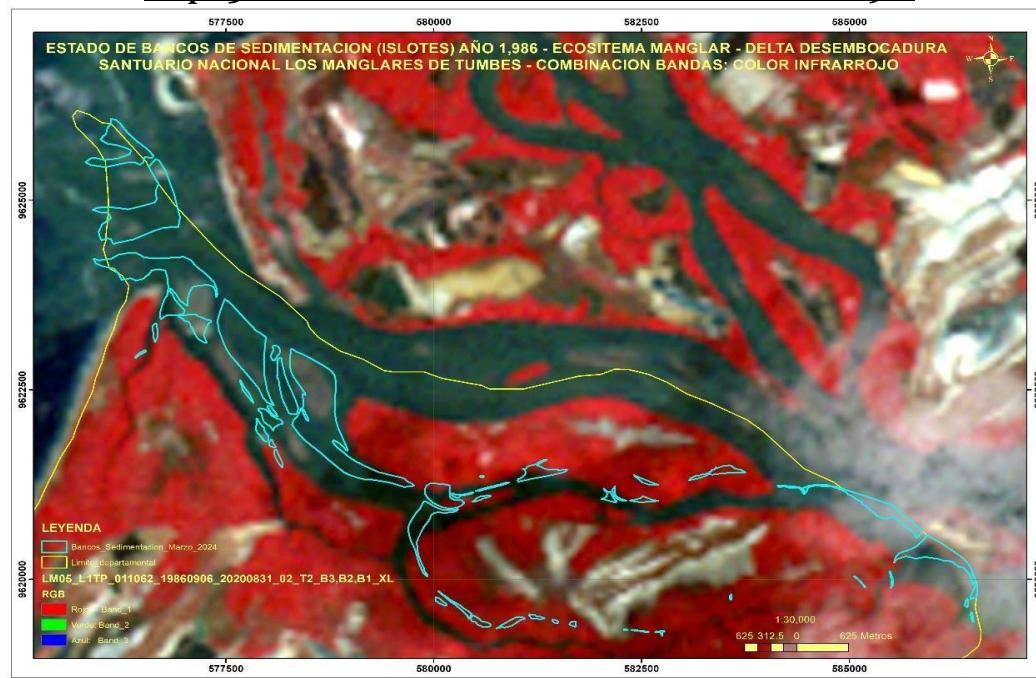
A continuación, se muestran imágenes del proceso de evaluación y procesamiento de las imágenes de satélite trabajadas.

Mapa 2 Estado de los bancos de sedimentación año 1984



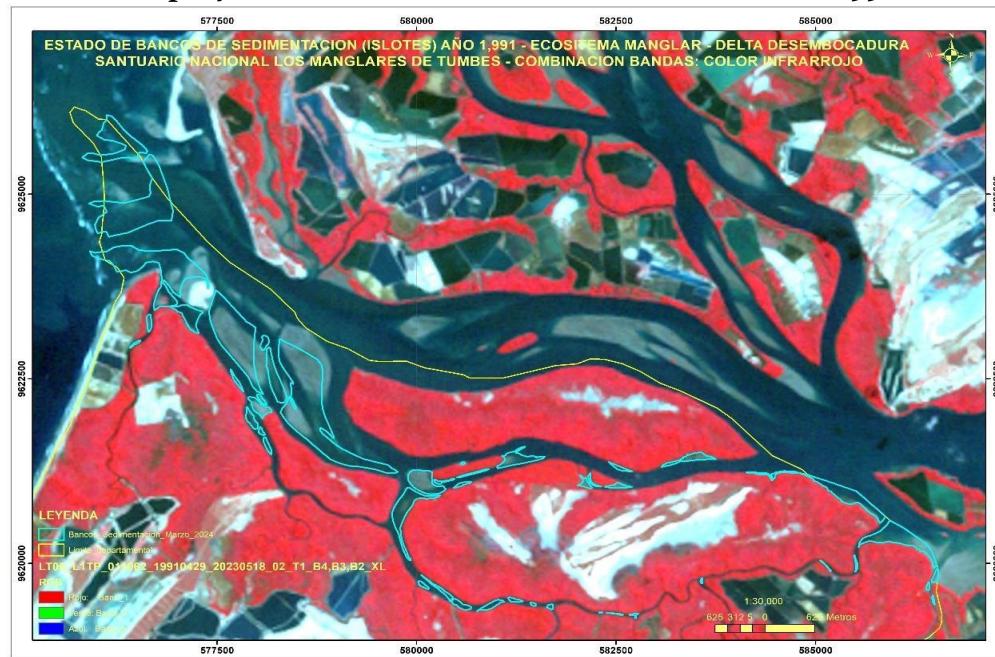
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - ARCGIS 10.8

Mapa 3 Estado de los bancos de sedimentación año 1986



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - ARCGIS 10.8

Mapa 4 Estado de los bancos de sedimentación año 1991



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 5 Estado de los bancos de sedimentación año 1996



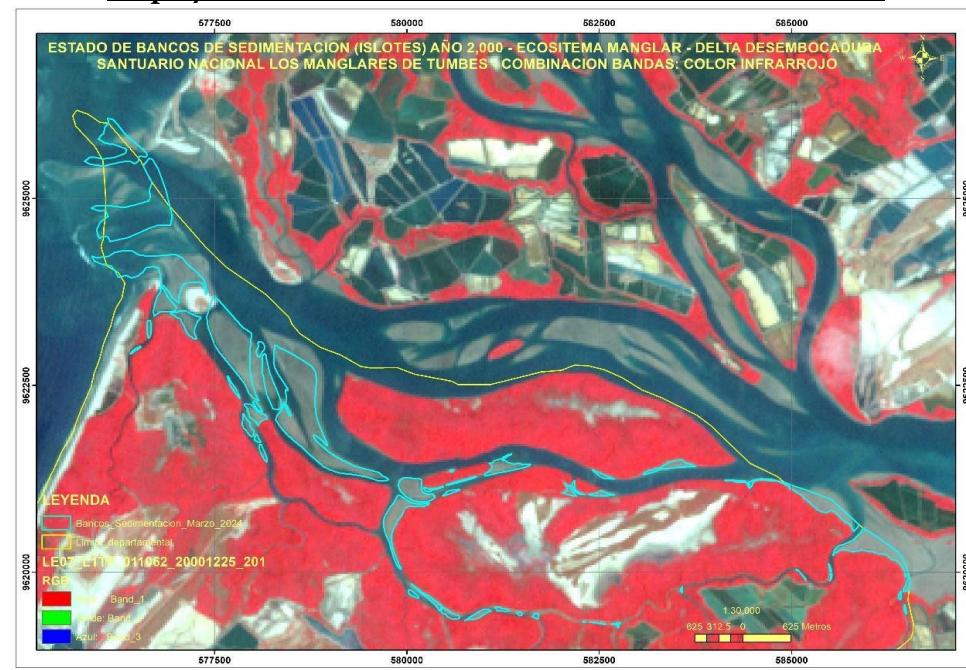
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 6 Estado de los bancos de sedimentación año 1999



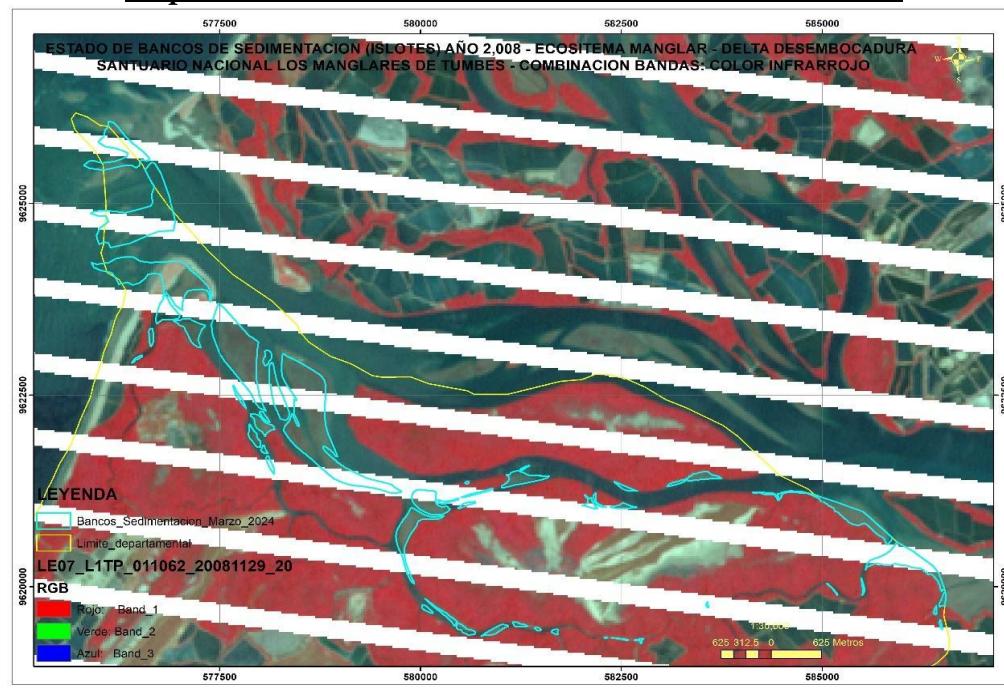
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 7 Estado de los bancos de sedimentación año 2000



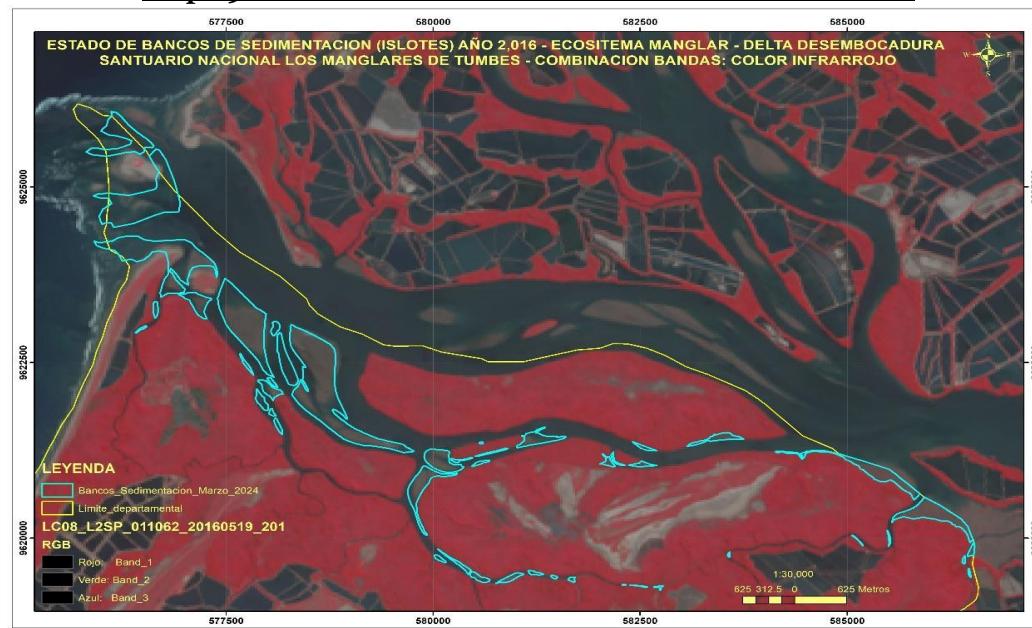
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 8 Estado de los bancos de sedimentación año 2008



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 9 Estado de los bancos de sedimentación año 2016



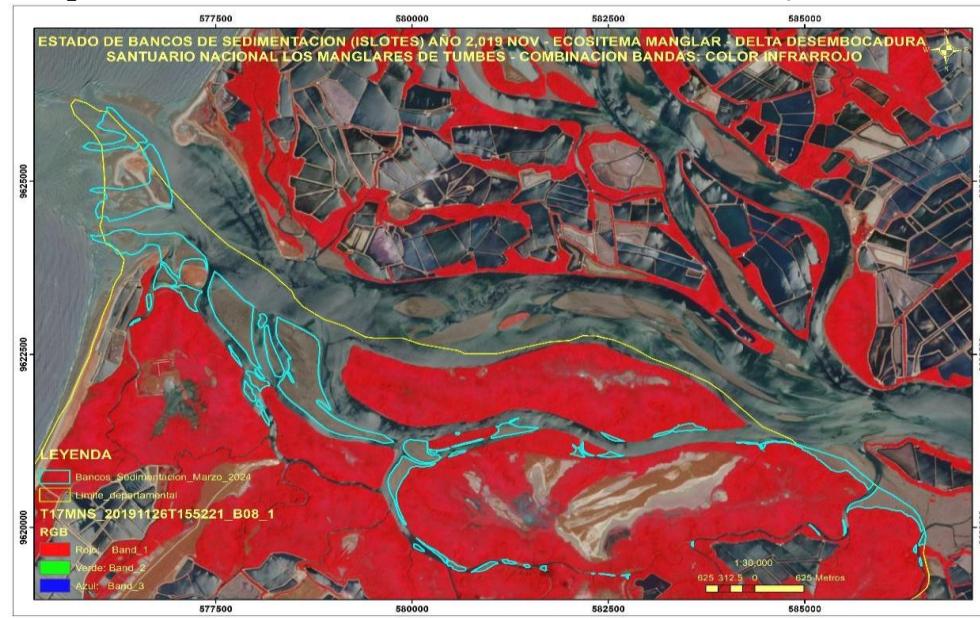
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 10 Estado de los bancos de sedimentación año 2019 (abril)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 11 Estado de los bancos de sedimentación año 2019 (noviembre)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 12 Estado de los bancos de sedimentación año 2022 (noviembre)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 13 Estado de los bancos de sedimentación año 2023



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 14 Estado de los bancos de sedimentación año 2023 (enero)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 15 Estado de los bancos de sedimentación año 2024 (marzo)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

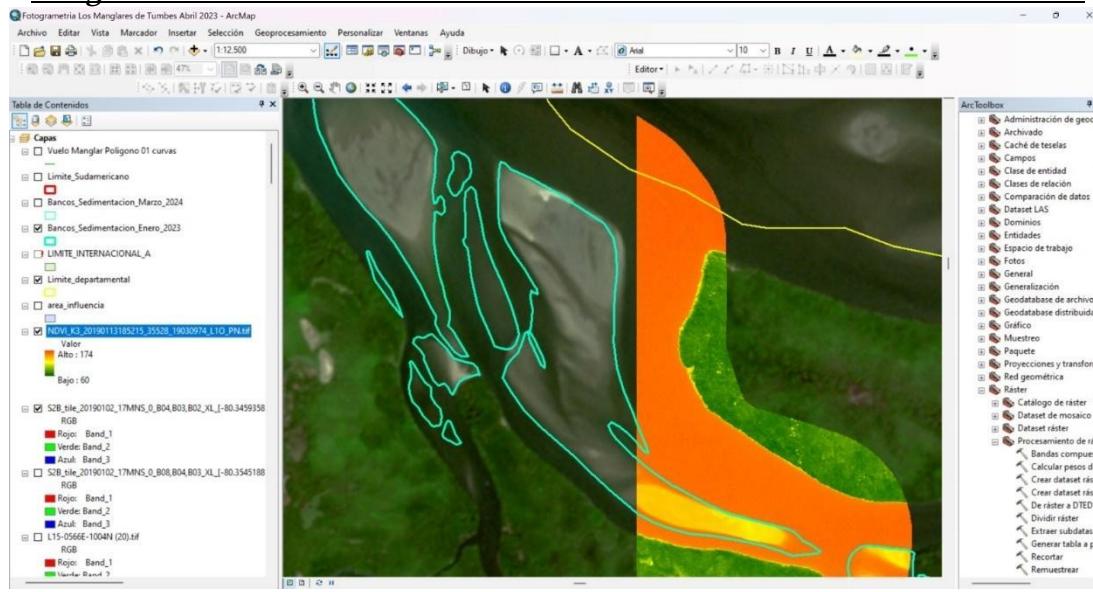
5.2. DEL ANÁLISIS DE LA IMAGEN DE ALTA RESOLUCIÓN (0.5 M/PXL).

Se adquirió un polígono de una imagen de alta resolución mediante la membresía EOS DATA ANALYTICS, que permite adquirir imágenes de alta resolución a diferentes constelaciones de satélites, que para este trabajo se adquirió una imagen del satélite KOMPSAT-3 de fecha 14 de enero del 2,019 de 0.5m m/pixel, con las siguientes características detalladas a continuación:

Esta imagen nos sirvió para evaluar a detalle los campos de sedimentos visualizados en las imágenes de satélite Landsat de 30m de resolución, así como las imágenes Sentinel 2 de 15m resolución y las imágenes Planet de 3m resolución, con esta imagen se pudo procesar la clasificación supervisada y definir a exactitud los cuerpos de sedimentos en el agua y sus características a tener en cuenta para su cuantificación.

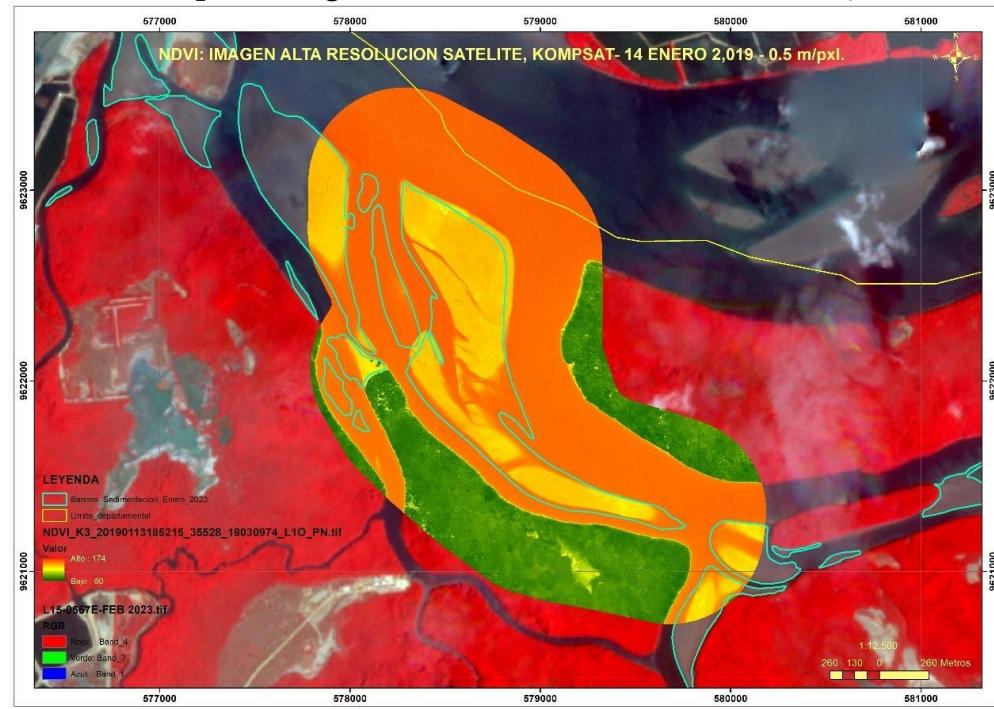
El NDVI de esta imagen nos sirvió también para definir más a exactitud estos cuerpos de sedimentos en el agua, evaluando los índices espectrales de este tipo de material (arenas y sedimentos) y cuantificar a través de clasificación de cuerpos el área y volumen de los sedimentos.

Imagen 28 Detalle del análisis de la combinación de bandas NDVI en ArcGis

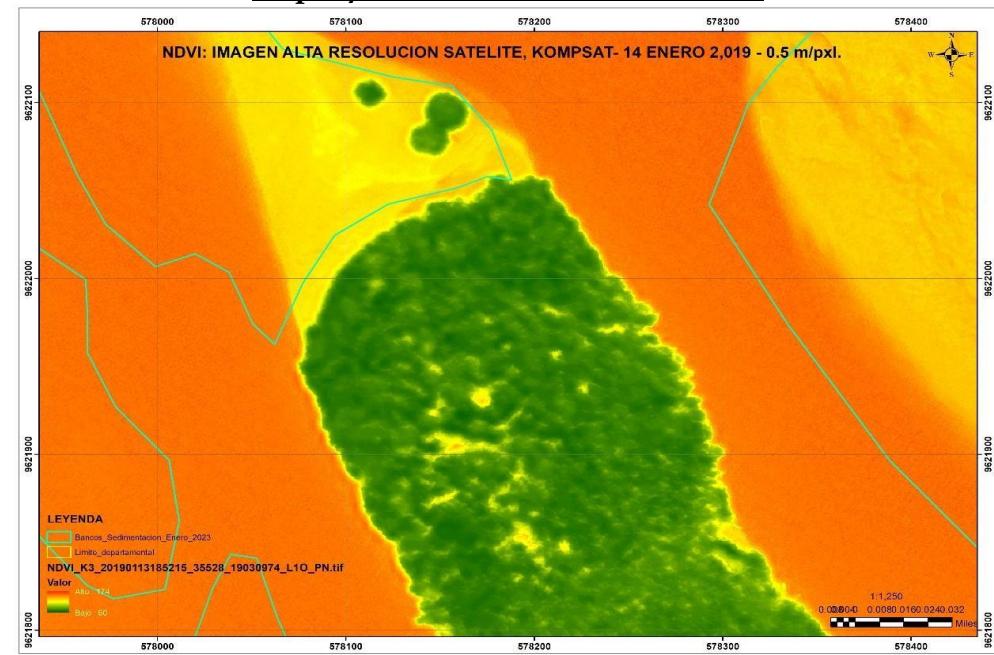


Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

Así mismo el NDVI de imagen de alta resolución sirve de manera más precisa para evaluar el estado de la masa arbórea (mangle), poder diferenciar los manglares frondosos de gran tamaño, su estado vegetativo de desarrollo, áreas degradadas y hasta áreas deforestadas donde el manglar no prospera.

Mapa 16 Imagen del satélite KOMPSAT – enero 2019

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Mapa 17 Detalle del análisis de NDVI

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Se observa a detalle la masa arbórea del mangle y los espacios vacíos donde este ha sufrido la degradación o muerte, permite evaluar el estado de salud de los árboles así como las áreas limpias, desiertas.

5.3. FOTOGRAFÍA (VUELO RPAS) REALIZADA.

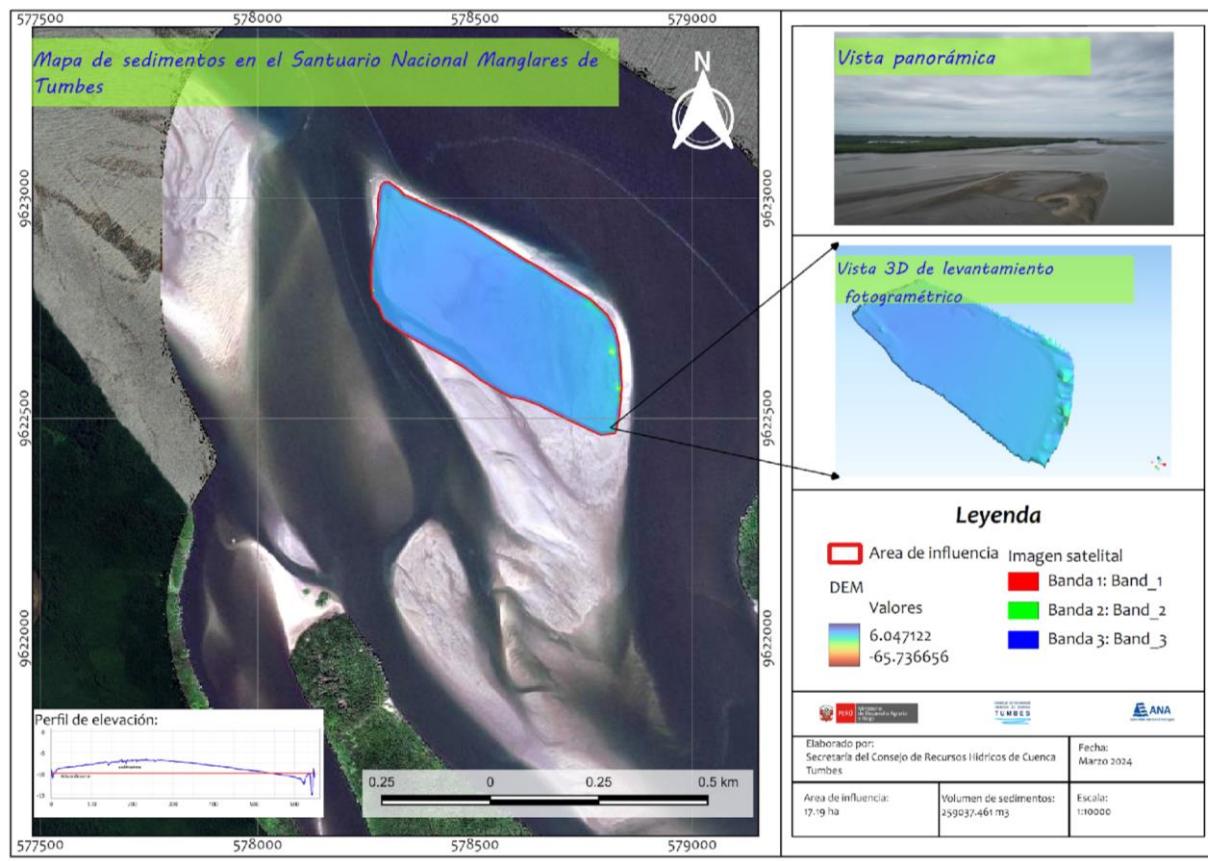
Se realizó el procesamiento de gabinete de la data del vuelo RPAS en el polígono definido de uno de los bancos de sedimentos a fin de poder calcular el volumen de sedimentos por espacio (área) la cual posterior sirvió para escalar al área total de bancos de sedimentos en el ecosistema manglar, específico en el Santuario Nacional Los Manglares de Tumbes y en el delta del río Zarumilla (desembocadura al mar).

Mapa 18 Orto mosaico del levantamiento fotogramétrico



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

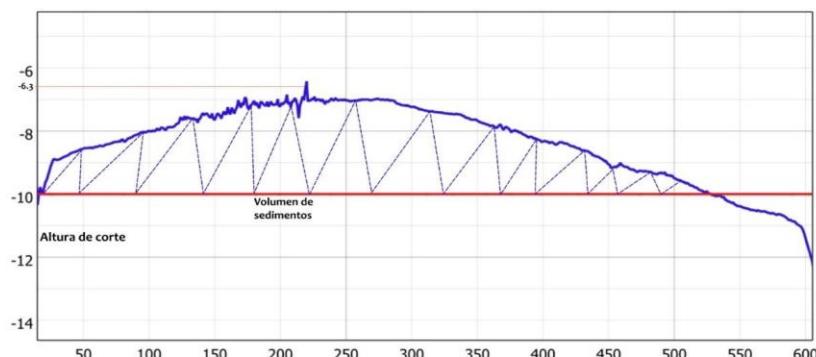
Mapa 19 Mapa de sedimentos en el SNLMT



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) - QGIS

Imagen 29 Corte transversal de una sección del área obtenida fotogramétricamente

Perfil de elevación:



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA)

5.4. ESTIMACIÓN FINAL (M2) DEL ÁREA DE BANCOS DE SEDIMENTOS EVALUADOS.

Con todas las herramientas y datos evaluados se realizó un cálculo del área de bancos de sedimentos evaluados que se han formado producto de la alta sedimentación que ha traído en los últimos 10 años sobre todo el cauce del río Zarumilla, así mismo el agua que discurre por el cauce del río Tumbes todo el año y que viene cargado con un alto contenido de sedimentos todo el año, producto de la deforestación de la parte alta y media de la cuenca del río Puyango -Tumbes; cauce también por el movimiento de las mareas y corrientes que los sedimentos se transporten hasta la desembocadura del río Zarumilla favoreciendo el proceso de sedimentación del ecosistema manglar y la formación de estos bancos de sedimentos identificados.

Se realizó utilizando imágenes de satélite de la mejor resolución (3 m/pxl); o2 evaluaciones finales espacio - temporales con un tiempo importante de 01 año o2 meses para poder visualizar y evaluar cómo avanza la formación de estos bancos de sedimentos.

Mapa 20 evaluación del área de bancos de sedimentos en enero del 2023.



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego**Tabla 1 Área de los polígonos evaluados Enero 2023**

FID	Shape	Área (m ²)	FID	Shape	Área (m ²)
0	Polígono01	131682.999	19	Polígono020	3229.83817
1	Polígono02	155442.739	20	Polígono021	10883.0933
2	Polígono03	9319.36508	21	Polígono022	289863.756
3	Polígono04	2725.55989	22	Polígono023	61992.3115
4	Polígono05	2195.06487	23	Polígono024	4674.06849
5	Polígono06	8488.48024	24	Polígono025	21466.2168
6	Polígono07	6594.64525	25	Polígono026	36598.4155
7	Polígono08	13284.7418	26	Polígono027	367394.118
8	Polígono09	15934.0666	27	Polígono028	14357.9476
9	Polígono10	759.331366	28	Polígono029	80391.5558
10	Polígono11	485.875818	29	Polígono030	706892.795
11	Polígono12	3709.15105	30	Polígono031	6578.81545
12	Polígono13	358.843684	31	Polígono032	5242.26099
13	Polígono14	4650.0219	32	Polígono033	93851.6242
14	Polígono15	6754.67581	33	Polígono034	112044.705
15	Polígono16	2123.81986	34	Polígono035	60294.1394
16	Polígono17	3196.20095	Área Total (m ²) =		2285377.59
17	Polígono18	5629.73656	Área Total (Km ²) =		2.28537759
18	Polígono19	36286.6149	Área Total (Hectáreas) =		228.537759

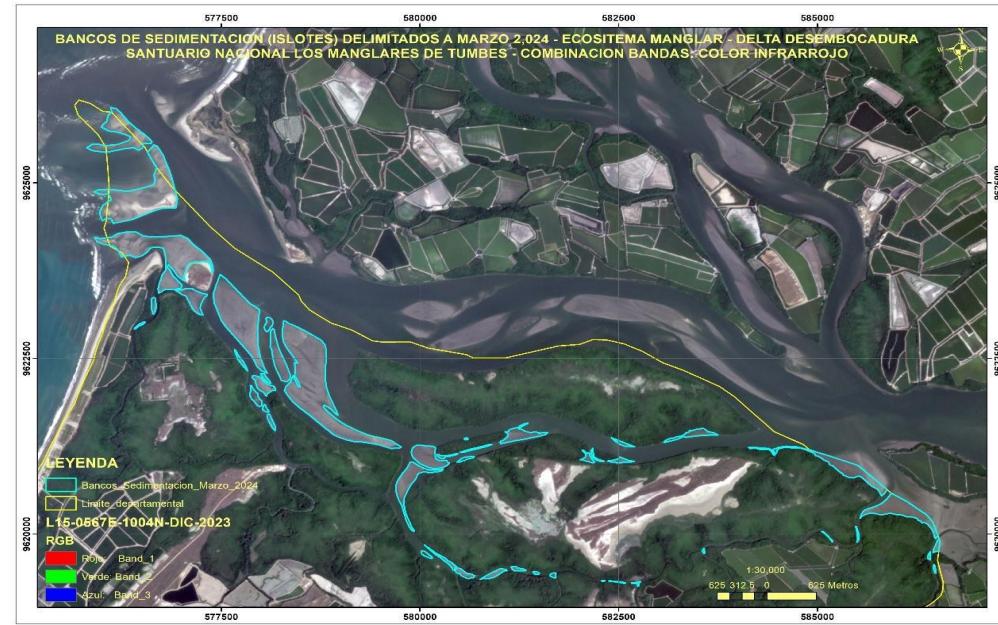
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Mapa 21 evaluación del área de bancos de sedimentos en marzo del 2024.



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Tabla 2 Área de los polígonos evaluados 2024

FID	Shape	Área (m ²)	FID	Shape	Área (m ²)
0	Polígono01	131682.999	25	Polígono026	60294.1394
1	Polígono02	155442.739	26	Polígono027	11845.3025
2	Polígono03	9319.36508	27	Polígono028	11458.6225
3	Polígono04	2725.55989	28	Polígono029	4816.36512
4	Polígono05	2195.06487	29	Polígono030	8720.0336
5	Polígono06	8488.48024	30	Polígono031	5543.26427
6	Polígono07	6594.64525	31	Polígono032	5963.33457
7	Polígono08	13284.7418	32	Polígono033	9611.28593
8	Polígono09	15934.0666	33	Polígono034	387578.625
9	Polígono10	358.843684	34	Polígono035	445350.894
10	Polígono11	2123.81986	35	Polígono036	461072.348
11	Polígono12	3196.20095	36	Polígono037	188723.074
12	Polígono13	36286.6149	37	Polígono038	1083.64196
13	Polígono14	3229.83817	38	Polígono039	16832.2767



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

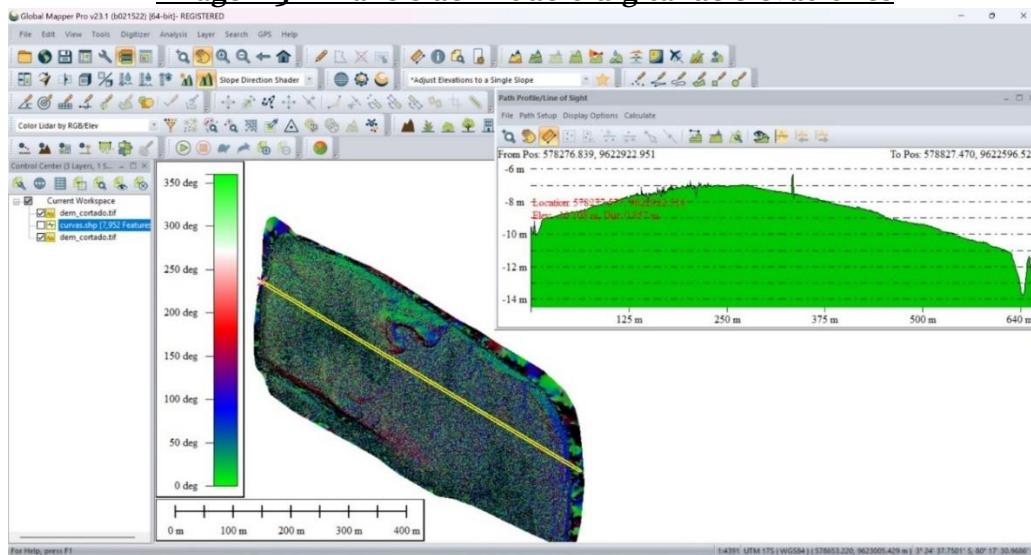
14	Polígono15	10883.0933	39	Polígono40	6518.47979
15	Polígono16	61992.3115	40	Polígono41	2196.22903
16	Polígono17	4674.06849	41	Polígono42	3918.56079
17	Polígono18	21466.2168	42	Polígono43	1745.89708
18	Polígono19	14357.9476	43	Polígono44	1145.62197
19	Polígono20	80391.5558	44	Polígono45	1257.95956
20	Polígono21	706892.795	45	Polígono46	6317.13683
21	Polígono22	6578.81545	46	Polígono47	35313.5841
22	Polígono23	5242.26099		Área Total (m ²) =	3186545.05
23	Polígono24	93851.6242		Área Total (Km ²) =	3.18654505
24	Polígono25	112044.705		Área Total (Hectáreas)=	318.654505

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

5.5. CÁLCULO FINAL DEL VOLUMEN ESTIMADO (M³) DE BANCOS DE SEDIMENTOS FORMADOS EN UN ESPACIO EVALUADO DE 40 AÑOS (1.983 – 2.023).

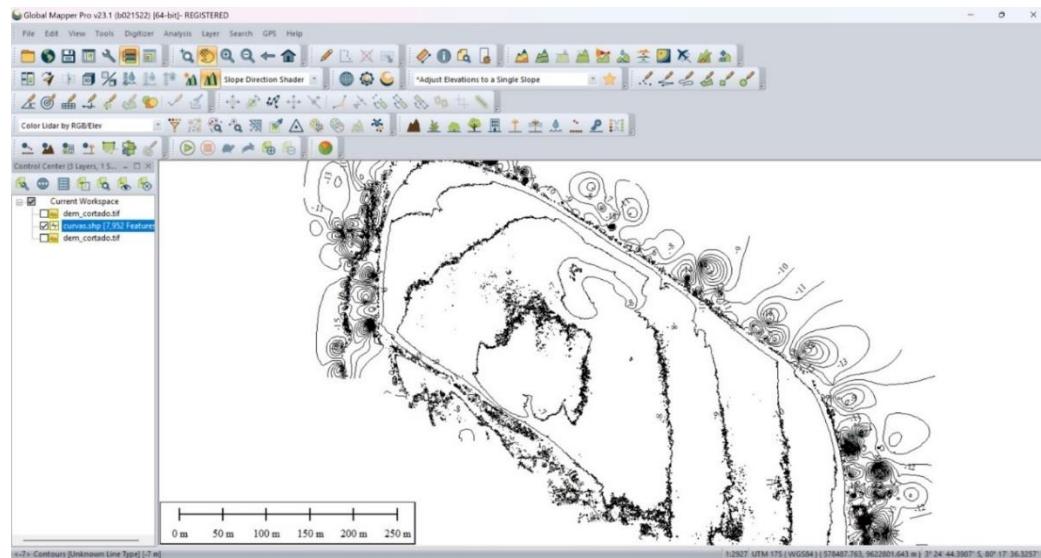
Para esto se usó los datos del levantamiento fotogramétrico del Drone, se procesó la data y se realizó el cálculo del volumen de sedimentos del polígono definido para el estudio.

Imagen 30 Análisis del modelo digital de elevaciones



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

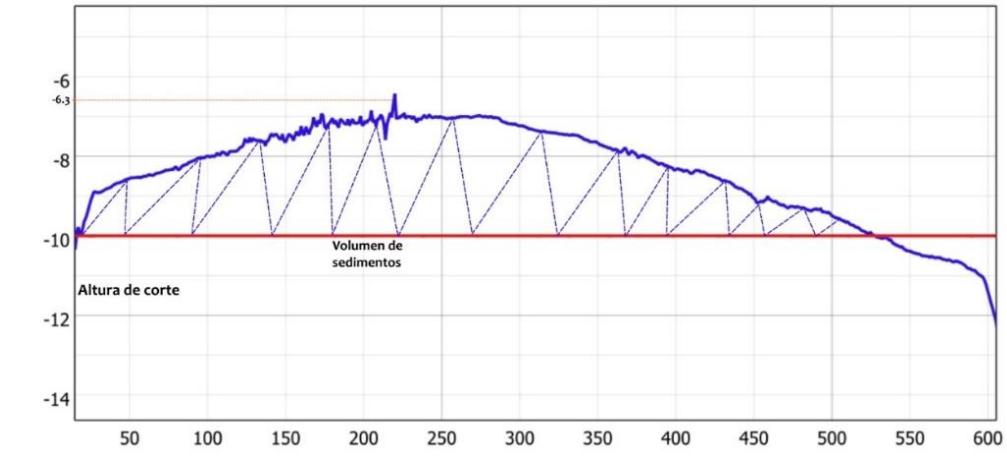
Imagen 31 Cotas del área



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Se ha realizado el cálculo dando un rango de 2.0 metros promedio desde la cota del espejo de agua del mismo día del levantamiento hacia el fondo para calcular un perfil definido como se visualiza en el plano siguiente.

Imagen 32 Perfil de elevación



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego
VOLUMEN (M3) DE SEDIMENTOS CALCULADO EN POLÍGONO ESTUDIADO.

C

Area Poligono Drone (m2)		Volumen Poligono Drone (m3)
171,988.51	=	259,037.46
2,285,377.59	=	3,442,081.16
Area Poligonos Enero 2023 (m2)		Volumen Poligonos Enero 2023 (m3)

Mapa 22 Bancos de sedimentos enero 2023.


Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

Area Poligono Drone (m2)		Volumen Poligono Drone (m3)
171,988.51	=	259,037.46
3,186,545.05	=	4,799,358.63
Area Poligonos Marzo 2024 (m2)		Volumen Poligonos Marzo 2024 (m3)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego**Mapa 23 Bancos de sedimentos marzo 2024.**

Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – ARCGIS 10.8

COMPARATIVO DE VOLUMEN (M₃) DE SEDIMENTOS CALCULADO EN POLÍGONO ESTUDIADO.

El estadio nacional del Perú tiene una capacidad en volumen total aproximada de 620,000 m₃, por lo que comparándolo con el volumen de sedimentos encontrado tanto en el año 2023 y 2024 tendríamos que:

- 1.- En el caso de volumen total de sedimentos a enero del 2,023 tendríamos,

Estadio Nacional		Volumen (m ₃)
01	=	620,000.00
5.55	=	3,442,081.16
Estadios Nacionales		Volumen (m₃)



PERÚ

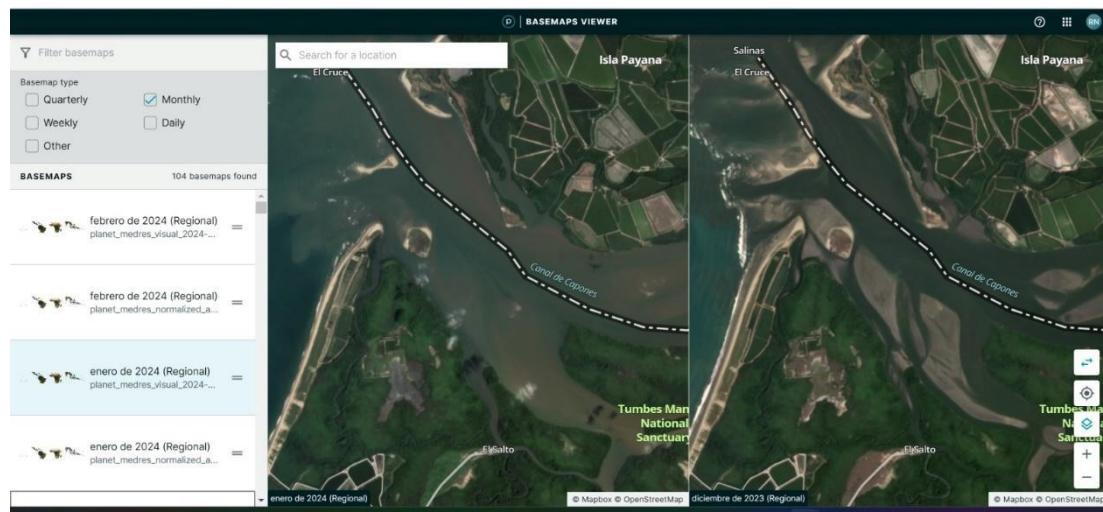
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

2.- En el caso de volumen total de sedimentos a marzo del 2,024 tendríamos,

Estadio Nacional		Volumen (m3)
01	=	620,000.00
7.74	=	4,799,358.63
Estadios Nacionales		Volumen (m3)

COMPARATIVO DE ESTADO DE DELTA RÍO ZARUMILLA (DESEMBOCADURA), PLEAMAR VS BAJA MAR.

Imagen 33 Delta rio Zarumilla (Pleamar - foto izquierda) - (Bajamar - foto derecha)



En la imagen se observa en la foto satelital de la izquierda captada en máxima pleamar los pocos canales de aguas profundas que quedan producto de los grandes bancos de sedimentos depositados y donde se podría navegar sin dificultad y en la foto satelital de la derecha captada a máxima bajamar los bancos de sedimentos a plenitud que limitan los canales navegables y que limitan las zonas por donde navegar, incluso en los canales con agua el fondo de estero es demasiado seco y las embarcaciones podrían encallar con facilidad.

El martes, 12 de diciembre de 2023, amaneció en **Tumbes** a las 6:06:03 am y la puesta de sol fue a las 6:25:36 pm. En el gráfico de pleamar y bajamar, podemos observar que la primera pleamar fue a las 3:43 am y la siguiente pleamar a las 4:37 pm. La primera bajamar fue a las 10:22 am y la siguiente bajamar a las 10:45 pm.

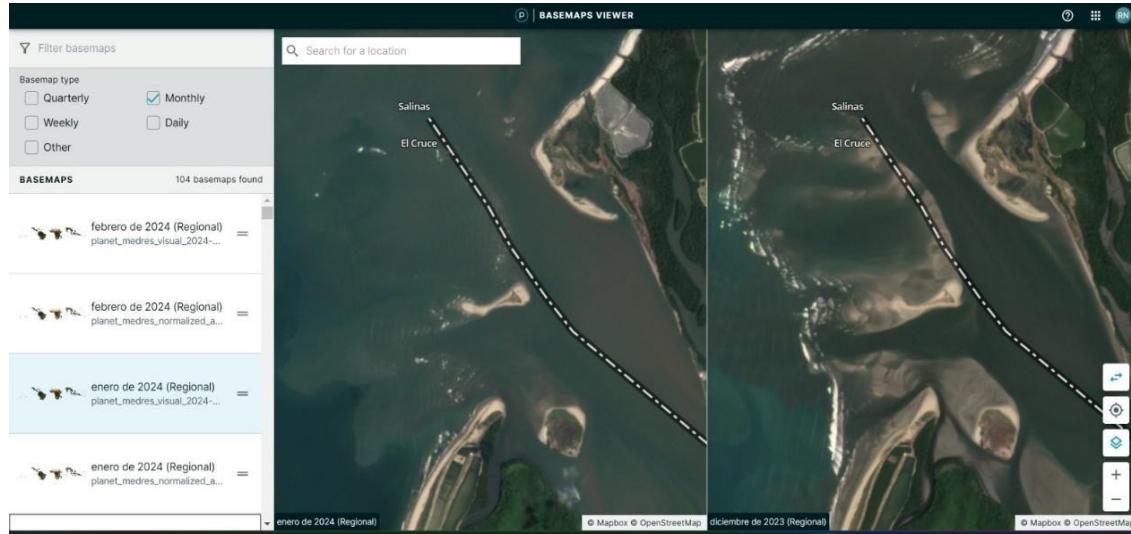
El viernes, 12 de enero de 2024, amaneció en **Tumbes** a las 6:21:01 am y la puesta de sol fue a las 6:39:40 pm. En el gráfico de pleamar y bajamar, podemos observar que la primera pleamar fue a las 4:56 am y la siguiente pleamar a las 5:48 pm. La única bajamar del día fue a las 11:30 am.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

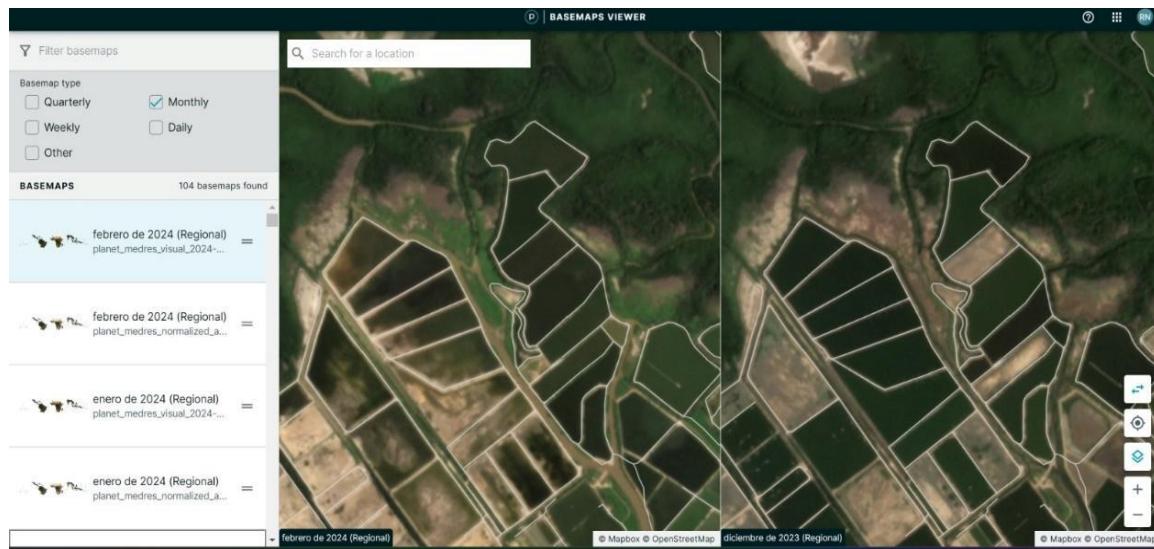
Imagen 34 Delta río Zarumilla (Pleamar – foto izquierda) – (Bajamar – foto derecha)



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Planet Explorer

OTRAS AFFECTACIONES IDENTIFICADAS A LA FLORA (DEGRADACION Y MUERTE DE MANGLE) PRODUCTO DE LA SEDIMENTACION.

Imagen 35 comparativos de imágenes con degradación y muerte de mangle por sedimentos



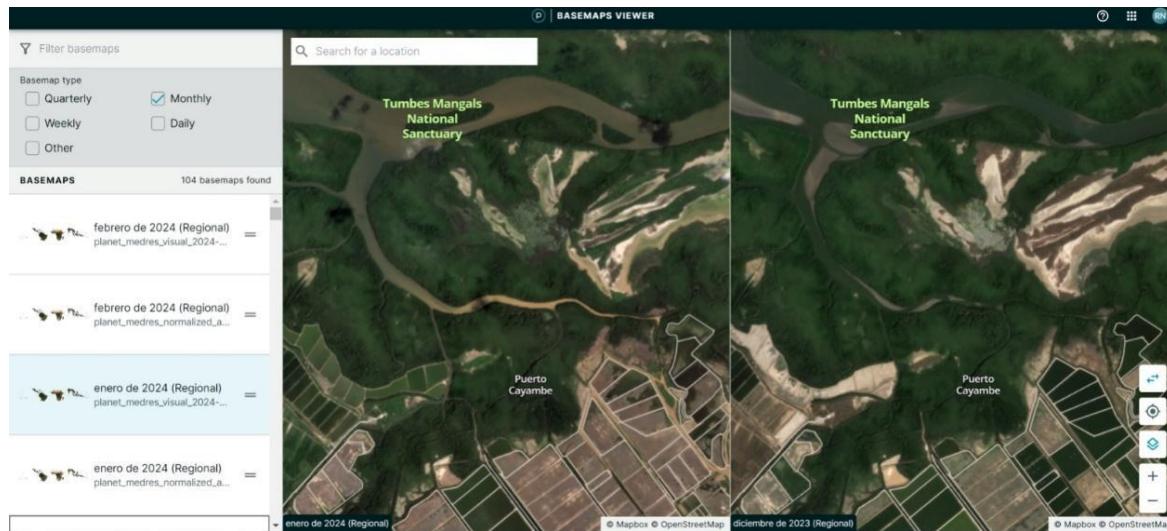
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Planet Explorer



PERÚ

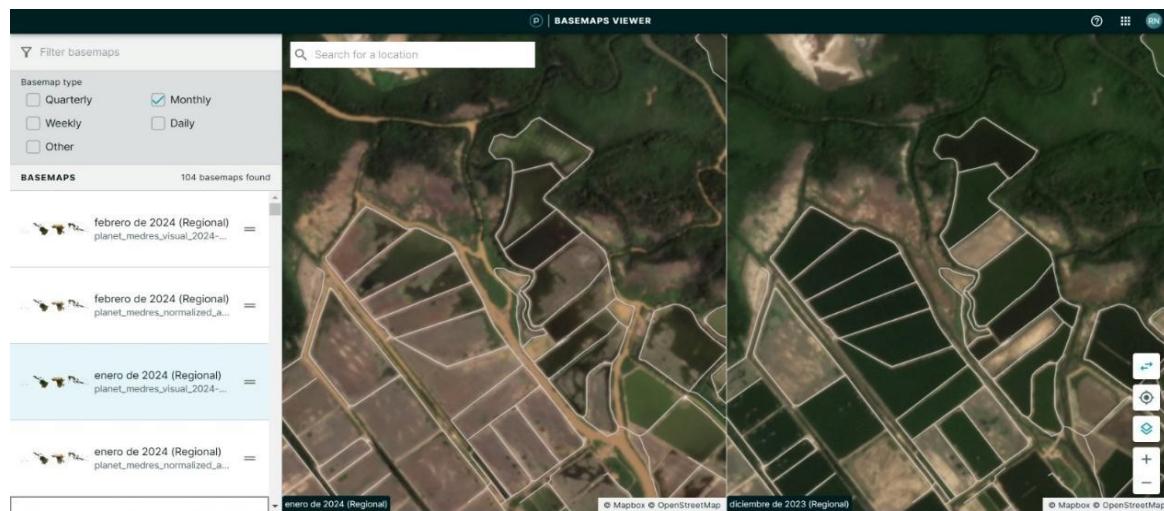
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Imagen 36 comparativos de imágenes con degradación y muerte de mangle por sedimentos



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Planet Explorer

Imagen 37 comparativos de imágenes con degradación y muerte de mangle por sedimentos



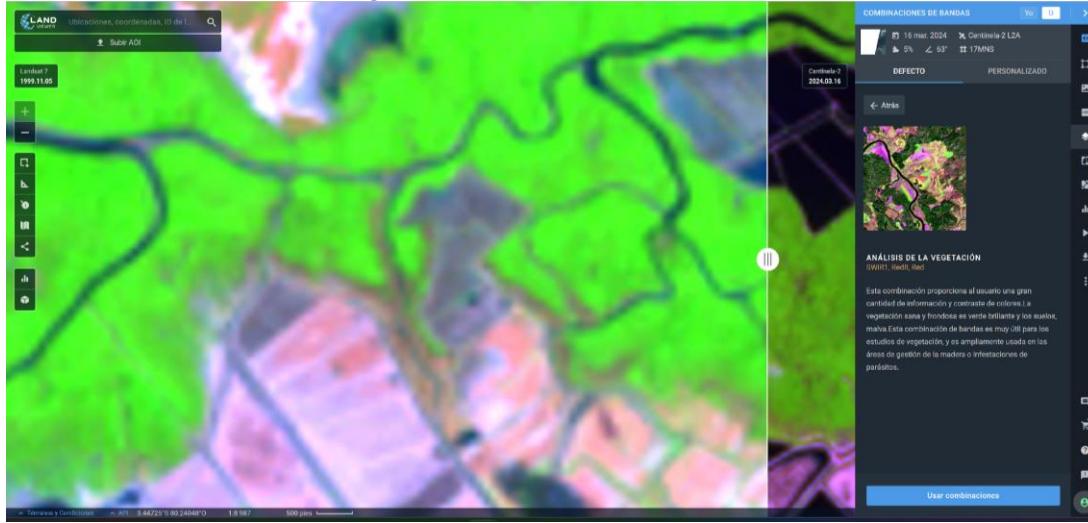
Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – Planet Explorer



PERÚ

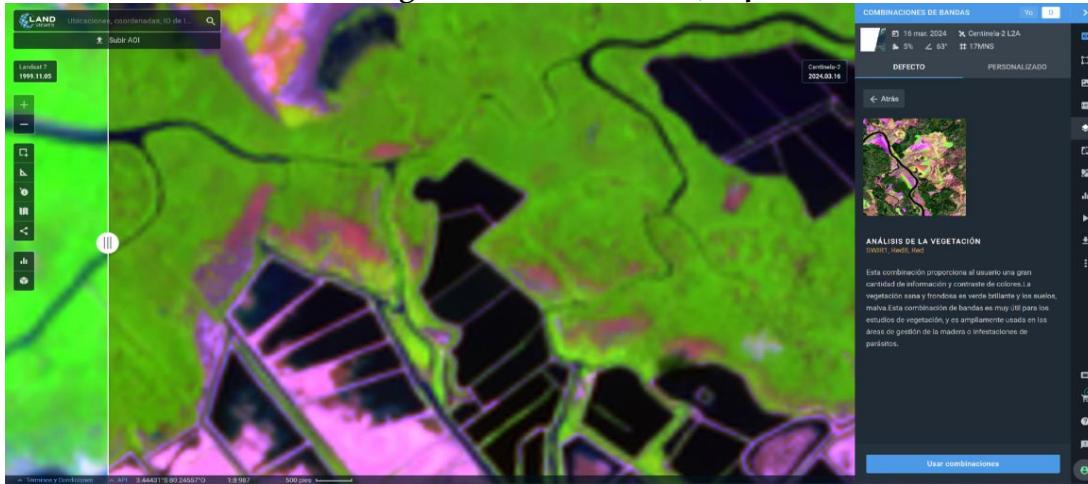
Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

**Imagen 38 Detección de Cambios, degradación – muerte de Mangle por sedimentos –
Imagen satélite – Noviembre 1,999.**



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – LANDVIEWER

**Imagen 39 Detección de Cambios, degradación – muerte de Mangle por sedimentos –
Imagen satélite – Marzo 2,024.**



Fuente: ST CRHC Tumbes- Autoridad Nacional del Agua (ANA) – LANDVIEWER



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

VI. MALAS PRACTICAS EN LA EJECUCION DE INTERVENCIONES EN LOS RÍOS - CASO RÍO ZARUMILLA.

Una de las principales causas de la sedimentación del ecosistema manglar en los últimos años, se puede explicar por la ejecución de intervenciones relacionadas a las defensas del río Zarumilla con diques y defensas ribereñas, es así, que algunas unidades ejecutoras han aportado en reducir la vulnerabilidad de las cuencas, pero a la vez han contribuido con la sedimentación del ecosistema Manglar.

Durante el lapso de recuperación post fenómeno del Niño Costero 2,017, a fin de reducir los estragos que produjo a las diferentes actividades económicas, en especial a la agricultura, a la infraestructura pública y privada y al serio deterioro por erosión y colmatación de cauces de ríos y quebradas, el estado Peruano a través del Programa Subsectorial de Irrigaciones (PSI)³, realizó la descolmatación en algunos cauces de ríos y quebradas de los departamentos de la zona norte para mejorar y rehabilitar los cauces deteriorados por el mencionado fenómeno y como preparación para el año lluvioso siguiente.

Es en ese contexto, uno de los ríos priorizados en el departamento de Tumbes, fue el río Zarumilla, con la finalidad de descolmatar 10 Km de cauce, distribuidos en 04 tramos críticos (Aguas Verdes y Papayal), pero según ficha técnica, solo se consideró la eliminación del 20% del material descolmataido (removido) y con el resto de material (80%) se realizó el refuerzo en la margen izquierda y la conformación de diques a pedido de los agricultores, dicha acción tenía por finalidad proteger los predios agrícolas de la erosión, sin notar, que de igual forma, durante los periodos lluviosos, se erosionan y pierden grandes cantidades de tierra que viajan con el caudal de agua del río hasta la desembocadura, agudizando el problema de sedimentación presentado en el Manglar.

En la siguiente imagen se visualizan extractos de la ficha técnica y el presupuesto donde se considera la partida de eliminación de material excedente en un 20%, esta práctica es recurrente la mayoría de intervenciones de descolmatación en cauces, en algunas otras ni siquiera se considera.

³ Entre el periodo noviembre y diciembre 2,017 y los primeros 02 meses del año 2,018 (enero y febrero)



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Imagen 4040 Des colmatación Río Zarumilla (Ficha Técnica)

Fichas Referenciales de Descolmatación de Ríos

ACTIVIDAD DE PREVENCIÓN: DESCOLMATACIÓN DEL RÍO ZARUMILLA

A. GENERALIDADES

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes del Proyecto

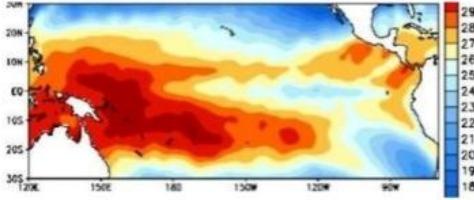
Desde hace muchos siglos, periódicamente la mayoría del territorio peruano está expuesto a inundaciones en los meses de diciembre a abril. Históricamente Tumbes, Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima e Ica han sido las regiones más afectadas con mayor severidad y frecuencia.

En el año 1982/1983 la precipitación en Piura fue anormalmente excesiva (llovío 36 veces más de lo usual en un año medio) un evento de esta magnitud, tendría un período de retorno de 450 años. En la estación de Chilaco del río Chira, se registró 3 362 mm de precipitación (en años normales sólo se registra 120 mm) y en la Estación Chulucanas en río Piura, se registró 4 121 mm (en un año normal se registra 230mm).

El Fenómeno "El Niño" 1997-1998, causó daños similares al Niño 1982/1983. Las pérdidas directas fueron del orden de US \$ 2,000 millones, de los cuales US \$ 1,024 millones (51.2%) correspondieron a los sectores Agricultura, Vivienda, Transporte y Comunicaciones. En el análisis no se incluyeron pérdidas personales, pérdidas de empleo ni enfermedades, es decir, las pérdidas indirectas y sus consecuencias.

A diferencia de los años con Niño, la inusual alta precipitación en la zona costera norte y centro del Perú y como consecuencia de ello la activación de quebradas normalmente secas, ocurrido entre enero y abril del 2017, se debió al calentamiento del mar Pacífico, como resultado de las ondas Kelvin (ondas calientes) que llegaron de las costas del Pacífico oeste y la ausencia de los vientos fríos del anticiclón del pacífico sur que normalmente se desplazan de sur a norte. La elevación de la temperatura de las aguas marinas (en la zona litoral centro) fue de hasta 2°C por encima del promedio normal y en el litoral norte (Tumbes, Piura y Lambayeque), donde si se registró el efecto de un Niño moderado, el calentamiento fue de hasta 5°C por encima del promedio normal.

Finalmente aunque con prudencia, es necesario tener en cuenta lo expresado por el científico peruano, Jorge Marriquie Prieto, experto en análisis remoto satelital, quien advirtió en entrevista concedida desde Utah (EEUU) donde se desempeña profesionalmente, que se está formando en el Pacífico Sur una gigantesca masa de agua caliente de 31 grados de temperatura, de 1600 km de longitud, 450 m de profundidad que armaría a las costas peruanas en agosto 2017, su impacto hidroclimático dice que sería más devastador que el ocurrido el 2017. Esta masa de agua caliente se inicia en las profundidades de los mares Bismarck, Salomón y Coral, en cuyas profundidades habría más 5000 mini volcanes, generadores de las ondas Kelvin.



Autoridad Nacional del Agua – DEPHM | Página | 1

Fichas Referenciales de Descolmatación de Ríos

Por lo expuesto el gobierno ha decidido realizar inversiones importantes en la ejecución de actividades y obras de "Prevención y reconstrucción con cambios" que permita a futuro minimizar los daños a la infraestructura, a las actividades económicas, lograr ciudades más seguras y buena calidad de vida

1.2 Área de influencia

El proyecto de Reconstrucción con cambios incluye: actividades de prevención y obras de reconstrucción de la infraestructura hidráulica dañada o destruida por la lluvia, huecos y caudales extraordinarios ocurrida durante los primeros 3 meses del año 2017, rehabilitación con cambios de la red vial nacional dañada y reasentamiento de la población que habita áreas de alto riesgo no mitigables, rehabilitación de escuelas, hospitales y postas medicas afectadas.

1.3 Los departamentos que sufrieron los daños mencionados son:

- Tumbes.
- Piura
- Lambayeque
- La Libertad
- Ancash
- Lima
- Ica
- Huancavelica
- Cajamarca

2. ETAPAS DEL PROYECTO DE RECONSTRUCCIÓN CON CAMBIOS Y ACCIONES PROGRAMADAS

(i) **Acciones de prevención (a ejecutarse de Mayo a Diciembre 2017)** con el propósito de mitigar los daños que podrían ocurrir el 2018 por la probable ocurrencia de lluvias y caudales extraordinarias, como lo ocurrido de enero a abril del 2017. Estas acciones (descolmatar cauces, reforzar-rehabilitar diques dañados, limpieza de la red de drenaje principal y reasentamiento de la población que habita áreas de alto riesgo no mitigables) están destinadas a mejorar temporalmente la capacidad de los cauces.

(ii) **Obras de Reconstrucción (a ejecutarse del 2018-2021)**, incluye: restar y mejorar las obras de encauzamiento y protección de las márgenes de los ríos, proteger diques existentes, desvío de cauces, estabilización de laderas, muros de control de la velocidad y transporte de sólidos en cauces, construcción de pozas de limitación de caudales máximos, rehabilitar la infraestructura hidráulica con cambios para reducir probabilidad de daños.

(iii) **Obras nuevas (a ejecutarse del 2019-2021)**. Presas para regular caudales, asegurar la transitabilidad de la red de transporte terrestre, Estabilización de quebradas y taludes, mitigación de huecos, Drenaje pluvial urbano, protección-reforzamiento de la cimentación de los puentes teniendo en cuenta criterios hidrológicos, hidráulica fluvial, erosión y sedimentación de los cauces.

Autoridad Nacional del Agua – DEPHM | Página | 2

5. CAUCES PRIORIZADOS PARA EJECUTAR LOS TRABAJOS DE PREVENCIÓN

Como primera etapa de la ejecución del Proyecto de Reconstrucción con cambios, se ha priorizado las actividades de prevención en 16 ríos y quebradas que se muestran en el cuadro adjunto, en una fase siguiente se realizarán trabajos similares en otros cauces que así lo requieran.

Cauces priorizados para ejecutar los trabajos de prevención

Región	Cauce	Longitud de río o quebrada (Km)
Tumbes	Río Tumbes	47
	Río Zarumilla	10
Piura	Río Chira	31
	Río Piura	126
Lambayeque	Río La leche	65
	Río Olmos	14
La Libertad	Río Zaña	36
	Río Chicama	30
Ancash	Río Virú	24
	Río Casma	20
Lima	Río Lacramera	12.5
	Río Huarmey	6.2
Ica	Quebrada Huaycoloro-Rímac	5.5
	Quebrada Cansas	10.70
	Río Matigente	18
Total		473

PLANILLA GENERAL DE METRADOS

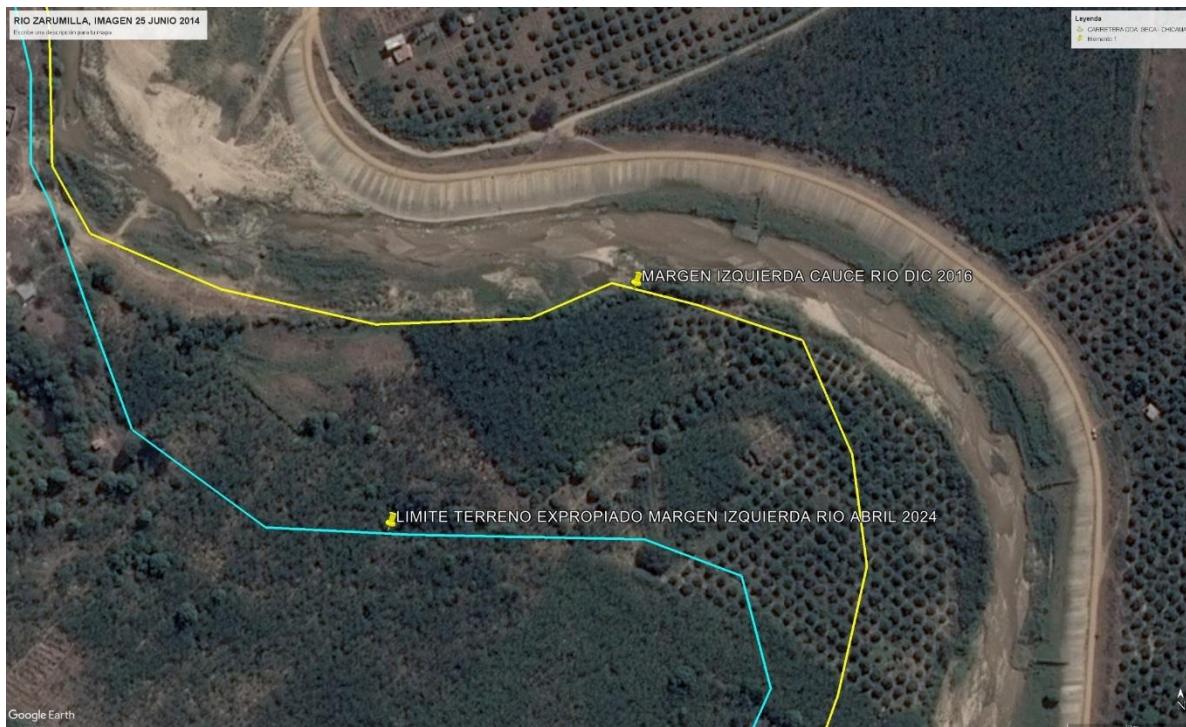
Proyecto : LIMPIEZA Y DESCOLMATAZION RIO ZARUMILLA
Ubicación : Distrito: Pampal, Agua Verde - Provincia: Zarumilla - Región: Tumbes
Fecha : Junio del 2017

Fuente: ALA TUMBES

Ítem	Descripción	Unid.	Nro veces	Dimensiones (m)			Parcial	Total
				Largo	Ancho	Altura		
1.00	LIMPIEZA Y DESCOLMATAZION CAUCE NATURAL, RIO (L= 720 ML)							
1.01	TRABAJOS PRELIMINAR	gb						1.00
31.01.01	CASETA DE GUARDIA Y ALMACEN	gb						1.00
31.01.02	Carte de guardia y almacén		1.00					1.00
31.01.03	Carte de identificación de la Obra			2.00				2.00
31.01.04	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION MAQUINARIA PESADA	gb						19.00
31.01.04	Movilización de maquinaria pesada	km	19.00					19.00
31.01.04	HABILITACION DE CAMINO DE ACCESO	km						1.00
31.01.05	REPARACION DEL TRAZO	km						9.72
31.01.06	Descomplimiento de cauce	km						9.72
31.01.06	CONTROL TOPOGRAFICO	km						9.72
31.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
31.02.01	DESCOLMATAZION CAUCE RIO - MATERIAL SECO ARENOZO	m3						1.374.400,00
31.02.01	Tramo 1 del km 0+000 al km 3+720		1.00	3.720,00	120,00	1.00		446.400,00
31.02.01	Tramo 2 del km 6+400 al km 7+140		1.00	1.000,00	160,00	1.50		270.000,00
31.02.01	Tramo 3 del km 14+400 al km 11+440		1.00	3.000,00	120,00	1.00		360.000,00
31.02.01	Tramo 4 del km 12+500 al km 14+600		1.00	2.000,00	100,00	1.50		300.000,00
31.02.02	CONFORMACION DE BORDO C/ MATERIAL DE CORTE	m3						1.101.120,00
31.02.02	Conformación de bordo		2.00	9.720,00	110,00	4.36		1.101.120,00
31.02.03	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3						275.280,00
	Se considera el 20% del volumen 31.02.01A							

Luego de la mencionada intervención, los diques quedaron conformados con gran cantidad de material suelto, casi en su totalidad eran arenas finas y gruesas con algo de limos y arcillas, durante las crecientes del año 2018, todo ese material fue arrastrado aguas abajo.

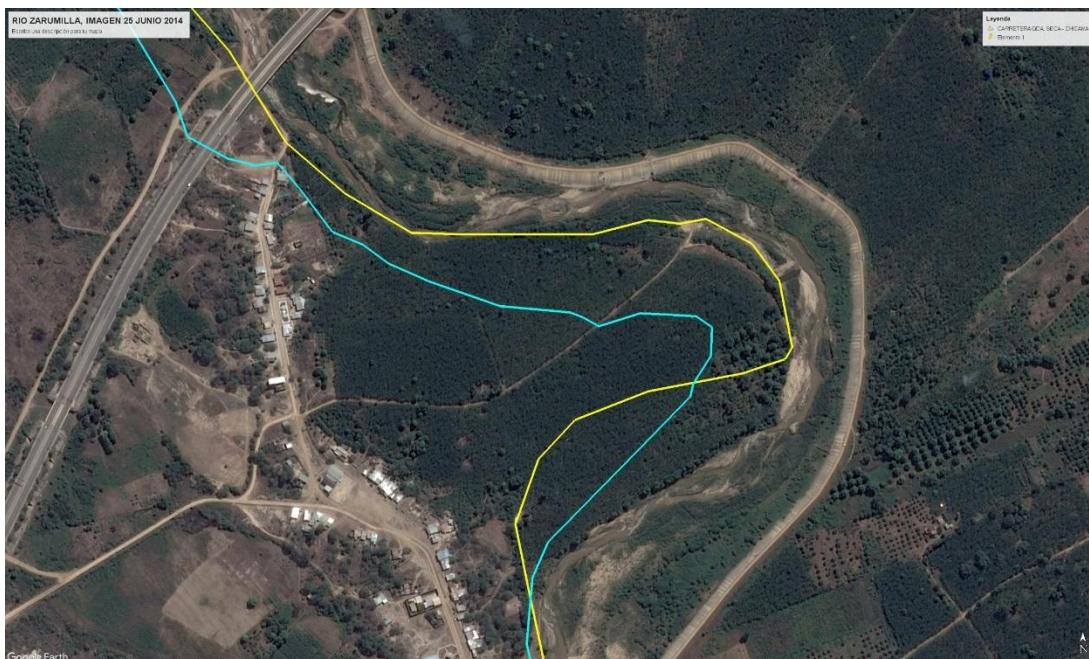
Imagen 41 Imagen de satélite 25 de junio del año 2,014



En esta imagen satelital del 25 de junio del año 2,014, se ha superpuesto de color amarillo, la margen izquierda del cauce del río del año 2,016 y así mismo, el trazo actual en color celeste se observa que la margen izquierda en el año 2,014 no tenía ninguna intervención.

Imagen 42 Imagen de satélite 16 de abril 2018

En esta imagen satelital del 16 de abril del año 2,018, se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del río del año 2,016 y así mismo el trazo actual en color celeste (2018), se observa que la margen izquierda en el año 2,018 ya había sido intervenida por el PSI, también se observa el dique conformado en la margen izquierda con el material del cauce a manera de defensa ribereña para evitar la erosión de suelo agrícola afectado durante el fenómeno del niño costero 2017.

Imagen 43 Imagen de satélite 25 de junio del año 2,014

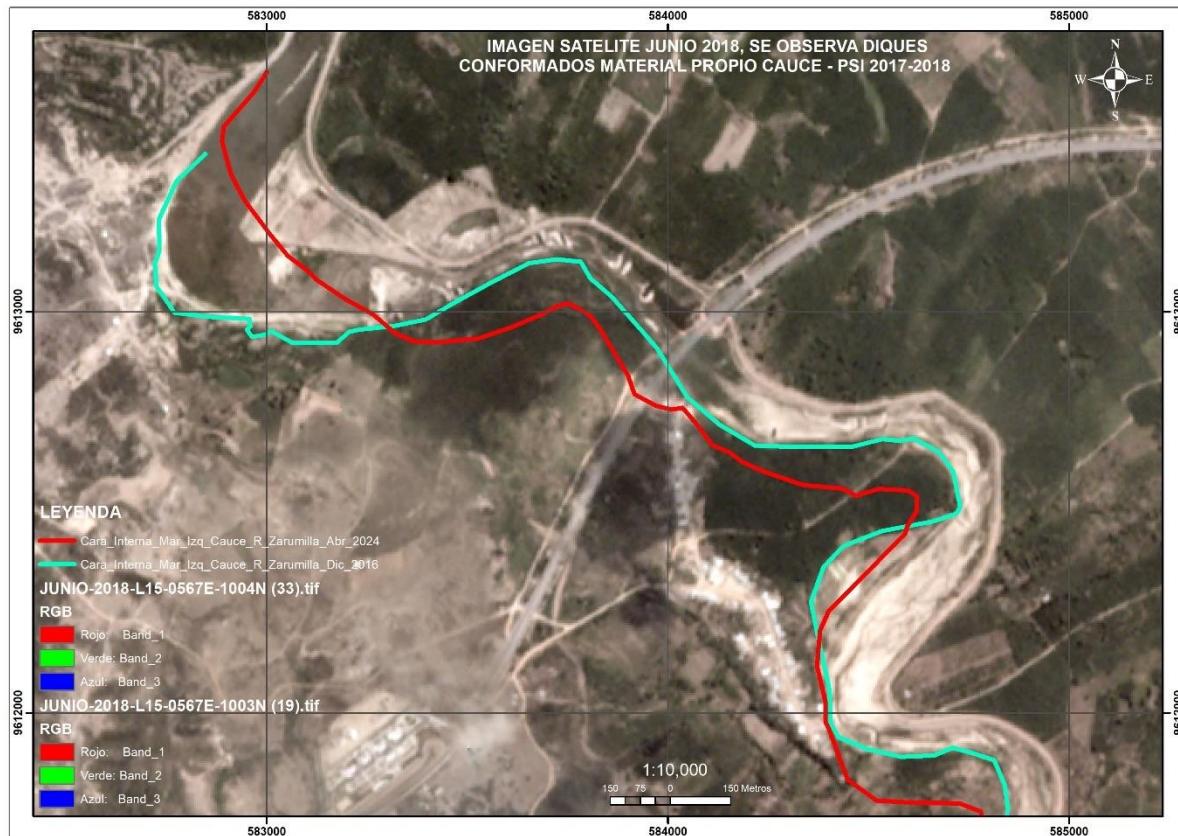
En esta imagen satélite del 25 de junio del año 2,014, se observa otro tramo del río, donde se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del año 2,016, así mismo, el trazo actual color celeste (2,024), también se observa que la margen izquierda en este año 2,014 todavía no había sido intervenida.

Imagen 44 Imagen de satélite 16 de abril del año 2,018



En esta imagen satélite del 16 de abril del año 2,018 se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del río del año 2,016 y así mismo el trazo actual en color celeste (2,024), se observa que la margen izquierda en el 2,018 ya había sido intervenida por el PSI, también se observa el dique conformado en la margen izquierda con el material del cauce a manera de defensa ribereña, se visualiza la erosión y afectación.

Imagen 45 Imagen de satélite de junio del año 2,018



En la imagen se aprecia el terreno y material removido en el cauce del río y diques conformados con el mismo en la margen izquierda entre los Sectores de: Pocitos – Puente Europa y El Canario I.

En julio del 2,020 Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes (PEBPT) inició la ejecución de la obra “Instalación del Servicio de Protección Contra las Inundaciones en las Localidades de la Palma, Canario II, Margen Izquierda del Rio Zarumilla (Prog. 0+120 - 11+550) en los Distritos de Papayal y Aguas Verdes, Provincia de Tumbes, Departamento de Tumbes”, antes de la construcción se expropió terreno agrícola superpuesto al nuevo trazo del eje de dique y a los caminos de mantenimiento al lado izquierdo de la cara seca del mismo.

Con esta intervención la caja hidráulica del río, fue ampliada entre 30 a 80 metros, ocasionando que gran cantidad de material, se remueva de los terrenos agrícolas hacia el cauce, quedando depositado dentro del mismo, el terreno fijo agrícola donde se habían construido los diques provisionales por el PSI, en lugar de ser eliminados en su totalidad, agudizando considerablemente la sedimentación en los últimos años; la culminación física de esta obra fue a fines de del año 2,021.

Imagen 46 Imagen de satélite 14 de marzo del año 2,020



En esta imagen de satélite del 14 de marzo del año 2,020 en el Sector Pocitos, se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del río del año 2,016 y así mismo muestra el trazo actual en color celeste, también se observa que la margen izquierda en ese año 2,020, todavía no había sido intervenida por el PEBPT, se visualiza el dique conformado con material propio por el PSI consolidado con vegetación.

Imagen 47 Imagen de satélite 20 de abril del año 2,022



En esta imagen satélite del 20 de abril del año 2,022 en el sector Pocitos, se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del río del año 2,016, así mismo, muestra el trazo actual con color celeste, también se observa la margen izquierda del año 2,022, intervenida por el PEBPT con defensas ribereñas para ello, gran cantidad de material removido había sido depositado en el cauce del río.

Imagen 48 Imagen de satélite 14 de marzo del año 2,020



En esta imagen satélite del 14 de marzo del año 2,020 en el Sector Puente Europa, se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del cauce del río del año 2,016, así mismo, muestra el trazo actual con color celeste, también se observa que en el año 2,020 todavía no había intervención por el PEBPT solo se visualiza el dique ejecutado por el PSI.

Imagen 49 Imagen de satélite 20 de abril del año 2,022



En esta imagen de satélite del 20 de abril del año 2,022 en el Sector Puente Europa, se ha superpuesto de color amarillo la margen izquierda del río del año 2,016, así mismo, el trazo actual en color celeste, también se observa la culminación de la obra ejecutada por parte del PEBPT (2022), se visualiza la gran cantidad de material depositado en el cauce del río Zarumilla.

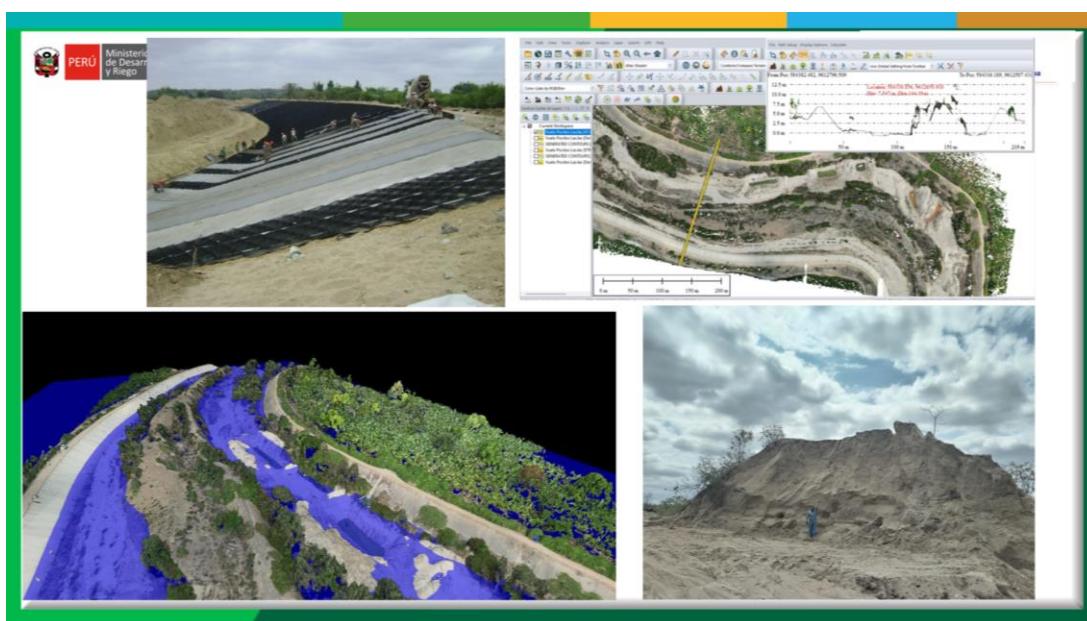
Estos trabajos y la no eliminación de material removido ocasionaron que el cauce del río se sedimentó fuertemente con columnas de tierra que alcanzaban hasta los 5:00 metros de altura, constituyendo un peligro para la estructura recién construida (al reducirse la capacidad de conducción de la misma), así como la gran cantidad de sedimentos arrastrados hasta la desembocadura.

Imagen 50 Imagen de satélite 01 de abril del año 2,022



En esta imagen del satélite Sentinel 2 del 01 de abril del año 2,022 (día de máxima avenida) en el sector desembocadura - ecosistema Manglar (Isla Matapalo), se observa la descarga de caudal del río con gran cantidad de material (color marrón), evidenciando el proceso de conformación de los bancos de arena evaluados en el presente informe.

Imagen 50 Imagen de la ejecución del proyecto de defensas ribereñas





PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Año 2,022 a fines en el mes de octubre, luego de haber culminado la ejecución de obra y construcción de diques de defensa con geomalla y concreto, se evidenció en el cauce, gran cantidad de tierra, por ello, se realizó un levantamiento fotogramétrico y un modelamiento hidráulico.

Imagen 51 Imagen de la ejecución del proyecto de defensas ribereñas



En el mes de febrero del año 2,023, días previos al inicio de las precipitaciones intensas del Fenómeno YAKU, se realizó nuevamente una visita de campo y la gran cantidad de sedimentos en el lecho del cauce seguían sin su remoción respectiva , grandes columnas de arenas (arcillas y limos) que luego con las precipitaciones, fueron arrastrados y depositados en el ecosistema Manglar, es allí donde se decide realizar la evaluación y la esquematización del presente informe.

VII. CONCLUSIONES:

Culminado el procesamiento de la data y evaluación se puede concluir lo siguiente,

1. El proceso de sedimentación del ecosistema manglar, específicamente en el delta del río Zarumilla (desembocadura) evaluado con herramientas SIG, Teledetección Satelital y Fotogrametría, para un periodo aproximado de 41 años (1,983 – 2,024), evidencia un volumen de material, comparable con el volumen de 8 estadios nacionales peruanos.
2. En los últimos 41 años la gran cantidad de sedimentos depositados en el cauce del río Zarumilla y el arrastre de estos sólidos disueltos en las avenidas importantes de caudal, ha favorecido el proceso de sedimentación del ANP - SNLMT.
3. La deforestación evaluada y cuantificada en la parte alta y media de la cuenca, como parte del diagnóstico para la conformación del Mecanismo Retribución por Servicios



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Ecosistémicos Hídricos (MERESE) Fondo para la gestión Integrada del Agua Tumbes (FONGIAT), ha sido en los últimos 40 años un promedio de 7,000 has. de bosques en la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Cerros de Amotape, de las cuales aproximadamente **4298.89 hectáreas**, constituyen zonas prioritarias de intervención con acciones de reforestación y recuperación urgente, esta falta de masa arbórea en la cabecera de cuenca ocasiona un gran arrastre de sólidos en periodos lluviosos, estos últimos tienen como destino final la desembocadura, contribuyendo a la sedimentación del Manglar.

4. Los sedimentos depositados en estos bancos se han estimado y calculado a enero del 2,023 en 3,442,081.16 m³, comparable en volumen a la capacidad de **5,55** estadios nacionales y al mes de marzo del 2024 en 4,799,358.63 m³. Comparable en volumen a la capacidad de **7.74** estadios nacionales. Esto indica un aumento en volumen de 1,357,277.47 m³, o el equivalente a **2.1** estadios nacionales en poco más de 01 año favorecido y potenciado con las precipitaciones presentadas durante el YAKU (2,023).
5. Este proceso de sedimentación en el delta del río Zarumilla, también es influenciado y favorecido por el Río Tumbes que transporta gran cantidad de sedimentos todo el año y que por movimiento de las corrientes de las aguas del mar son transportados hasta esta zona.
6. Se observa seria deforestación de mangle, afectando a la flora y por lo tanto a los habitat donde se desarrolla la fauna, siendo esencial el planteamiento de acciones estratégicas que contribuyan a solucionar esta problemática de manera urgente.
7. La Navegabilidad del ecosistema manglar se ha visto afectada por este proceso, dificultando el acceso durante la marea baja, así mismo en marea alta se hace difícil el acceso y navegabilidad por los cauces naturales del ecosistema, lo cual impacta drásticamente en actividades de ecoturismo y la extracción de productos hidrobiológicos⁴
8. El proceso se ve influenciado y se manifiesta con mayor incidencia en épocas de fenómenos del niño o periodos de lluvias intensas, las mareas ayudan a equilibrar el sistema, sin embargo, en los últimos años la gran cantidad de sedimentos depositados en el cauce y delta está dificultando la entrada y salida del agua de mar por diferencias de altura (pendientes), por lo que el movimiento de agua es muy lento agudizando el arrastre y depósitos de sedimentos en el fondo del cauce del río y los canales de marea.
9. El ecosistema manglar del SNLMT, se ve afectado directamente por la variabilidad climática, en esencia por el aumento en las precipitaciones durante un El Niño-Oscilación del Sur (ENSO), las cuales tienen repercusiones en la variación sedimentológica. Estos cambios, además, son promovidos y acelerados por malas

⁴ Servicios Ecosistémicos que brinda el manglar (alimento).



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

prácticas de manejo del cauce, cuenca baja y media, afectando la biodiversidad, abundancia y distribución de los organismos y el normal funcionamiento de las corrientes de marea, que hacen dinámico el funcionamiento de este importante ecosistema.

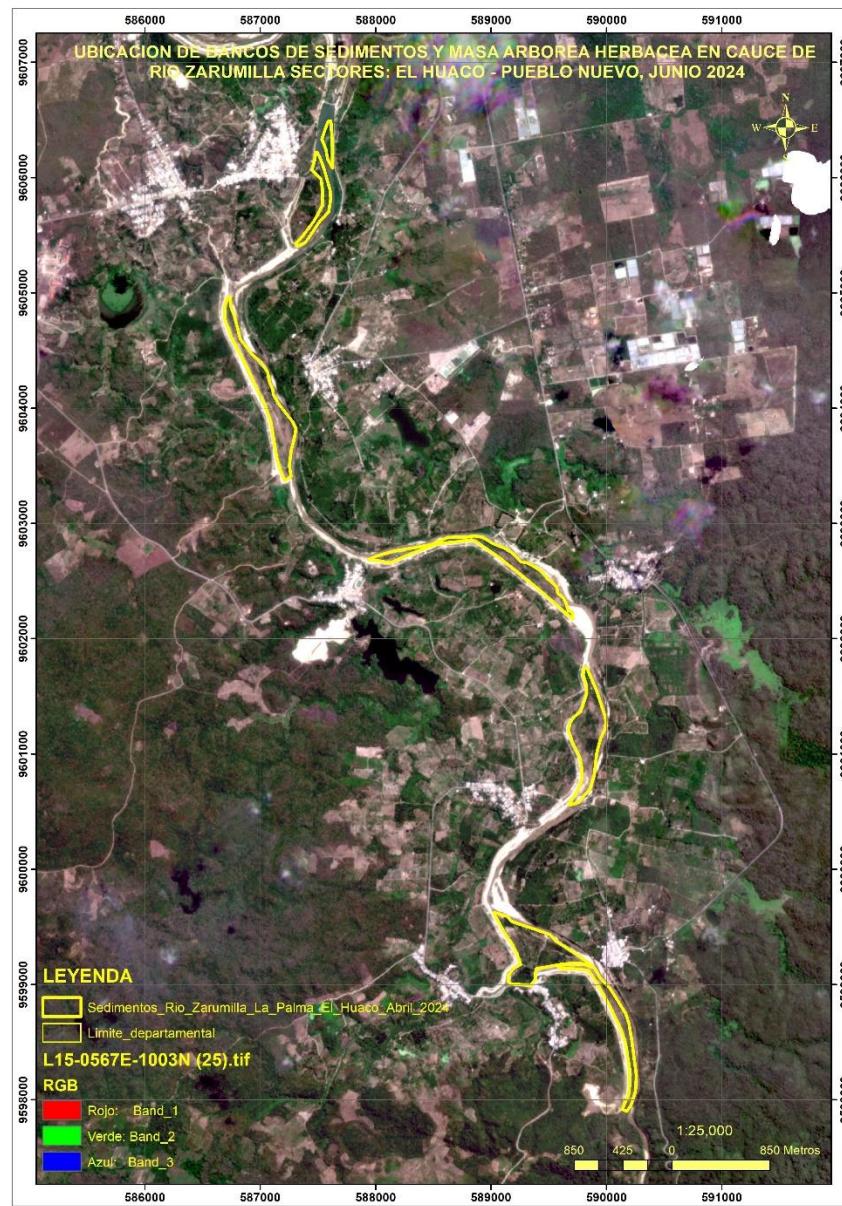
VIII. RECOMENDACIONES:

Mediante reunión de trabajo realizada el día 06 de mayo del 2,023 en las oficinas del Nodo de Información Hidrológica de la Secretaría Técnica del Consejo de Recursos Hídricos Cuenca Tumbes, donde participaron (Presencial y virtual) representantes de instituciones relacionadas a la problemática de sedimentación en el ecosistema manglar (Consorcio Manglares del Noroeste del Perú, Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes, Administración Local del Agua Tumbes, SERNANP-Parque Nacional Cerros de Amotape, SERNANP-Santuario Nacional los Manglares de Tumbes, Presidente de la Comisión Ejecutiva del Comité de Gestión del Santuario Nacional los Manglares de Tumbes).

Los mencionados representantes fueron convocados mediante Oficio Múltiple N° 0012-2024-ANA-AAA.JZ-ST. CRHC.TUMBES de fecha 30 de abril de 2024, por la Secretaría Técnica del Consejo de Cuenca Tumbes, y luego de la presentación del diagnóstico de sedimentación en el ecosistema manglar, se tomaron los siguientes acuerdos, que para efectos del presente estudio se tomaran como recomendaciones.

1. El Consejo de Recursos Hídricos Cuenca Tumbes y el Consorcio Manglares socializarán el diagnóstico elaborado, en el segundo trimestre del 2024 ante las instituciones competentes en el ámbito del ecosistema manglar y la gestión integrada de los recursos hídricos.
2. El Consejo de Recursos Hídricos Cuenca Tumbes, deberá socializar y promover acciones en el marco del proyecto Gestión Integrada de Cuencas Transfronterizas Zarumilla, Puyango-Tumbes, Catamayo-Chira (ANA), por ser una problemática de carácter binacional.
3. El Consejo de Recursos Hídricos Cuenca Tumbes de manera conjunta con aliados estratégicos, promoverá reuniones de coordinación para tomar las medidas correspondientes y promover iniciativas y alternativas preventivas de solución.
4. Luego de haber sido socializado el diagnóstico con los representantes de las instituciones, estos, a su vez, deberán encargar a las distintas áreas técnicas de sus entidades, a fin de que esta información se tome en cuenta como base para la elaboración de expedientes y futuros proyectos de construcción, así como el adecuado manejo del material excedente.
5. De no realizarse compromisos de las instituciones involucradas para descolmatar el tramo del cauce del río Zarumilla comprendido entre los sectores de El Huaco y Pueblo

Nuevo donde el Proyecto Especial Binacional Puyango Tumbes a culminado recientemente la ejecución de la Obra: “Creación Defensa Ribereña Margen Izquierda del Rio Zarumilla - Tramo Comprendido entre Pueblo Nuevo y la Bocatoma La Palma - Papayal - Zarumilla - Tumbes – CUI 2192835” y donde ha quedado depositado en el lecho de cauce gran cantidad de material suelto y en el cual a crecido abundante vegetación se corre el riesgo que en el próximo evento lluvioso febrero – mayo 2,025 se origine un gran caudal de avenida del rio y gran cantidad de sedimentos sean arrastrados y depositados nuevamente en el delta del rio Zarumilla (Ecosistema Manglar), contribuyendo aún más al problema de sedimentación de nuestro Parque Nacional Los Manglares de Tumbes.



IX. REGISTRO FOTOGRÁFICO:



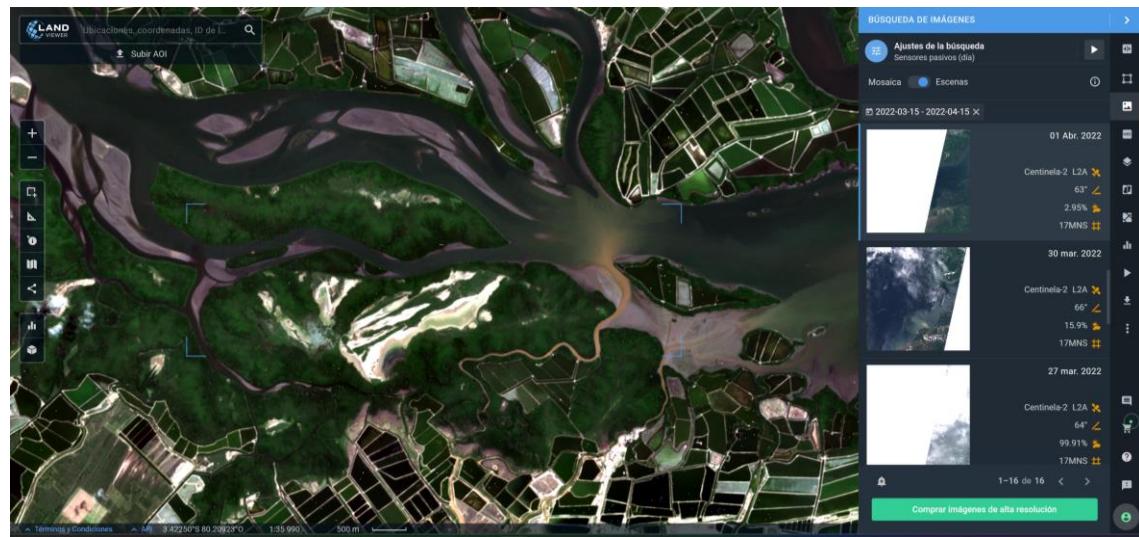
Punto de descarga de las aguas de río Zarumilla en el ecosistema manglar



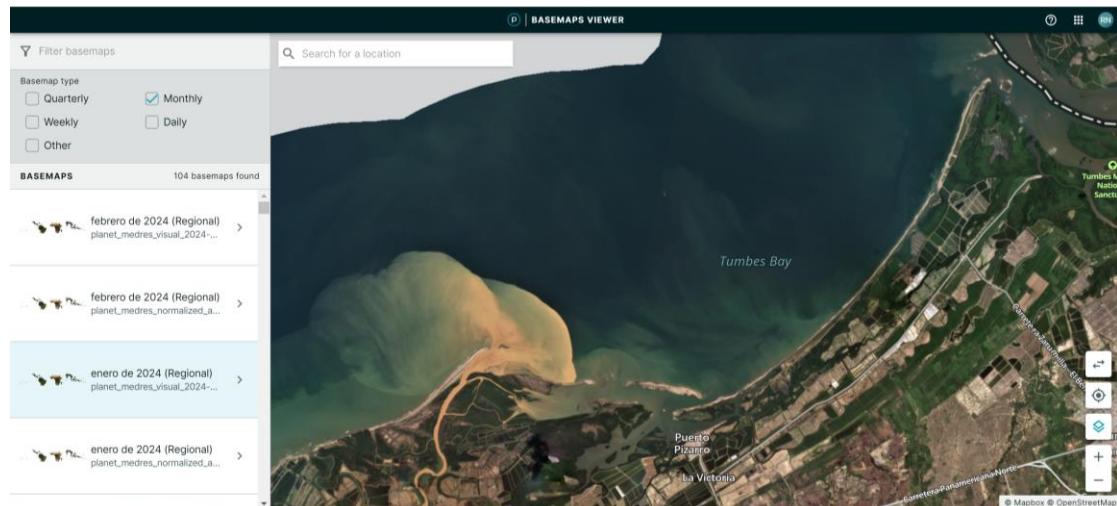
Fenómeno del Niño 1,998 se observa que en estos fenómenos es más intenso el arrastre de sedimentos por erosión hacia el ecosistema Manglar, agua con gran cantidad de sedimentos



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego

Descarga de cauce río Zarumilla ecosistema Manglar, agua con gran cantidad sedimentos



Descarga de cauce río Tumbes ecosistema Manglar, agua con gran cantidad sedimentos que por arrastre se mareas y corrientes son llevados y depositados en desembocadura río Zarumilla.



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Zona de depósito de sedimentos en el cauce del río Zarumilla



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Levantamiento Fotogramétrico en el cauce del río Zarumilla, Oct 2,021



Visita de campo con profesionales de la cooperación técnica internacional de los Países Bajos a la zona de depósito de sedimentos



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Bancos de sedimentos en el cauce del río Zarumilla



Trabajos de limpieza y descolmatación por la Autoridad Nacional del Agua



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Trabajos de limpieza y descolmatacion por la Autoridad Nacional del Agua



Vista aérea (Drone) del cauce del río Zarumilla después de la descolmatación



Vista aérea (Drone) del cauce del río Zarumilla después de la descolmatación



Preparativos – Plan de Vuelo de Drone para Levantamiento fotogramétrico en bancos de sedimentos depositados en el SNLMT

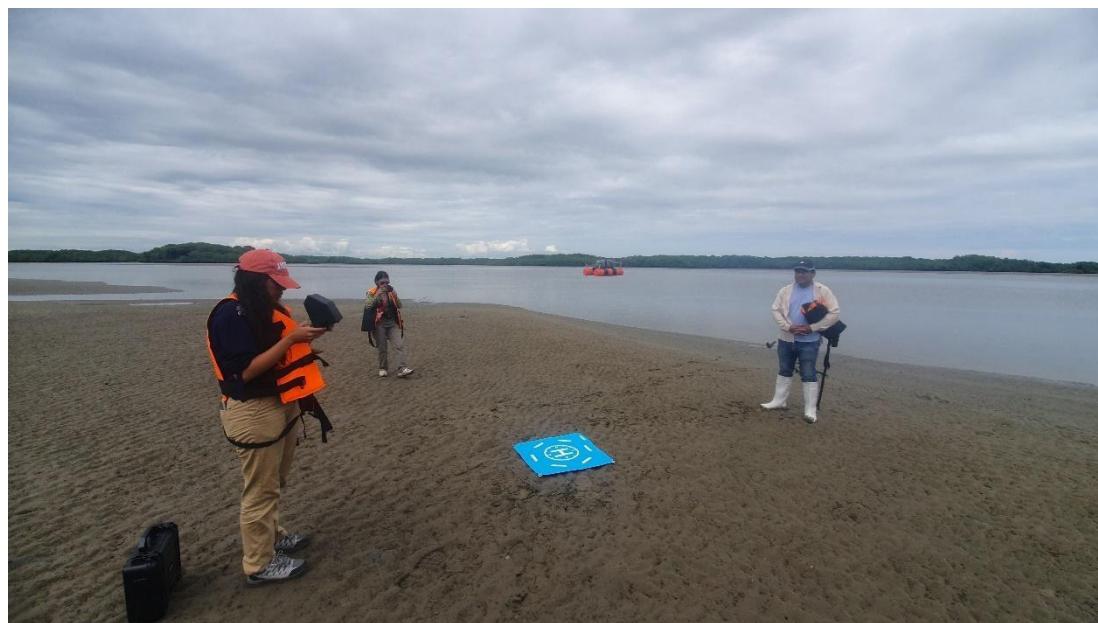


PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



Levantamiento fotogramétrico en bancos de sedimentos depositados en el SNLMT



Levantamiento fotogramétrico en bancos de sedimentos depositados en el SNLMT



Fotografía panorámica de SNLMT donde se visualizan los bancos de sedimentos



En la fotografía se visualiza la ubicación de salida del Dron y del manejo remoto