

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

## **“USO DE SIG EN EL CAMBIO DE LA LÍNEA DEL LITORAL COSTERO DE LA CIUDAD DE TRUJILLO, EN EL PERIODO 1985 - 2022”**

**Tesis para optar al título profesional de:**

**Ingeniero Ambiental**

Forma: Artículo científico

**Autores:**

Estrella Alexandra Grados Gordillo

Victor Leonardo Sagastegui Castillo

**Asesor:**

Mg. Ing. Grant Ilich Ilaque Fernández

<https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Lima - Perú

**2023**

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>NEICER CAMPOS VASQUEZ</b>
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	<b>GRANT ILICH LLAQUE FERNÁNDEZ</b>
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	<b>ERICK HUMBERTO RABANAL CHÁVEZ</b>
	Nombre y Apellidos

## Informe de Similitud

### tesis

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1 %
2	PACIFIC PROTECCION INTEGRAL DE RECURSOS (PIR) SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "DIA del Proyecto Masificación de Uso de Gas Natural a Nivel Nacional - Concesión Norte - Redes de Distribución - Trujillo-IGA0004495", R.G.R. N° 228-2014-GRLL-GGR/GREMH, 2022 Publicación	1 %
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1 %
4	repository.eafit.edu.co Fuente de Internet	1 %
5	avances.pinar.cu Fuente de Internet	1 %
6	erp.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	1 %
7	idus.us.es Fuente de Internet	1 %

1 %

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 1%  
Excluir bibliografía Activo

### **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a Dios por cuidarme, brindarme sabiduría y fuerzas en todo momento. A mis padres, por su gran sacrificio y apoyo incondicional durante toda mi vida y que les estaré eternamente agradecido por su amor incondicional. Por último, a mis hermanos que son lo más preciado en mi vida, fuente de motivación en mi vida y para el cumplimiento de mis metas propuestas.

Sagástegui Castillo, Víctor Leonardo

El presente trabajo agradezco a Dios por haberme dado una maravillosa familia, quienes siempre han creído en mí, motivándome en todas mis caídas, enseñándome a superarme día a día, a tener humildad y sacrificarme por las cosas que amo. A todos ellos les dedico esta tesis, porque han formado en mí, una persona con ganas de superación y conseguir el triunfo en la vida. Gracias por ser un pilar fundamental en mi formación académica y por darme su amor de manera desinteresada.

Grados Gordillo, Estrella Alexandra

## **Agradecimiento**

Un sincero agradecimiento a todas las personas que nos brindaron apoyo durante nuestra vida universitaria, a la vez recordando siempre a nuestros padres por su constante apoyo.

También queremos agradecer de manera muy especial a nuestra asesora M.Sc. Lujan Rojas, Jessica Marleny por brindarnos sus vastos conocimientos y ser nuestra guía durante el desarrollo del presente trabajo. Finalmente, agradecemos a la Universidad Privada del Norte por formar buenos profesionales con valores éticos.

Los autores.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>JURADO EVALUADOR</b> .....	<b>2</b>
<b>Informe de Similitud</b> .....	<b>3</b>
<b>Dedicatoria</b> .....	<b>4</b>
<b>Agradecimiento</b> .....	<b>5</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO</b> .....	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>8</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b> .....	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO IIIV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....	<b>28</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>32</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla I Detalles de las imágenes Landsat para la digitalización de la costa.....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla II Fórmulas algebraicas MNDWI para las imágenes satélites Landsat .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla III Transectos usados para las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche, Salaverry .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla IV Clasificación de la línea de costa basada en la tasa de cambio (EPR) de las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry, del litoral de la ciudad de Trujillo.....</b>	<b>25</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Fig. 1 Diagrama de flujo de la metodología. ....</b>	<b>18</b>
<b>Fig. 2 Líneas costeras de los años 1985, 1991, 2000, 2004, 2007, 2017, 2019 y 2021 del litoral de la Ciudad de Trujillo.....</b>	<b>20</b>
<b>Fig. 3 Cambios de la línea de costa del año 1985 al 2021 de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry en el litoral de la ciudad de Trujillo.....</b>	<b>22</b>
<b>Fig. 4 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Huanchaco de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021. ....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 5 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Víctor Larco de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021. ....</b>	<b>23</b>
<b>Fig. 6 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Moche de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021. ....</b>	<b>24</b>
<b>Fig. 7 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Salaverry de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021. ....</b>	<b>24</b>
<b>Fig. 8 Cambios de la línea de costa a causa del molón retenedor en el litoral de la ciudad de Trujillo. ....</b>	<b>26</b>
<b>Fig. 9 Cambios de la línea de costa a causa del fenómeno de El Niño en el año 2017. ....</b>	<b>27</b>

## RESUMEN

El litoral costero de la ciudad de Trujillo se encuentra en constante dinámica y se ve reflejado como erosión y acreción en sus distintas playas a través de los años. Por ello, el objetivo fue analizar el cambio de la línea del litoral costero de la ciudad de Trujillo con SIG. Se emplearon imágenes satelitales Landsat TM, ETM+ y OLI TIRS durante el periodo 1985 al 2022, se digitalizó la línea de costa con MNDWI y para el análisis de línea de costa se empleó la herramienta DSAS, así como estadísticas de NSM (movimiento neto) y EPR (tasa de cambio). Como resultados, se obtuvo que el distrito de Víctor Larco Herrera (playa Buenos Aires) tuvo mayor retroceso de la línea de costa con -129.07 m a una tasa de -3.59 m/año clasificándose como zona con erosión moderada, por otro lado, en el distrito de Salaverry (playas El Frente y Salaverry Norte y Sur) se identificó un aumento en su línea de costa de 621.87 m con una tasa de 17.20 m/año clasificándose como zona con acreción muy alta. Se concluye que las construcciones duras y fenómenos naturales como El Fenómeno del Niño costero tienen cierta influencia con las modificaciones del litoral.

**PALABRAS CLAVES:** Cambio de línea de costa, DSAS, Erosión costera, MNDWI, Playas.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Las líneas costeras, con el paso del tiempo, son amenazadas por sus distintas variaciones; actualmente, esta problemática toma relevancia en los últimos años debido a que ocasiona efectos negativos. Tales como: cambios en la línea costera, impactos en las zonas urbanas, pérdidas y alteración de ecosistemas terrestres y marinos; lo cual afecta la actividad turística y parte de la economía por daño en los paisajes [1][2][3][4][5].

Esta, depende mucho de la temporalidad y debido a que no los perfiles de las playas [6]. Entonces, la erosión costera, es la desintegración y deslizamiento de los sedimentos de las playas e influye desfavorablemente en la formación de ecosistemas existentes en sus bordes, originando el retroceso de la línea costera [7][8]. Ante ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO] y el Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo [GTIS] [9], mencionan que “un aumento del nivel del mar asociado con el cambio climático incrementa la erosión costera y el retroceso de la costa”. Por otro lado, la acreción es la acumulación de sedimentos la cual es importante para el crecimiento y desarrollo de las playas costeras [10]. Por consiguiente, el cambio de la línea de costa puede clasificarse en erosión muy alta, alta erosión, erosión moderada, estable, acreción, acreción moderada, alta acumulación y acreción muy alta [11][12].

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son herramientas ideales para la toma de decisiones y son empleados para diversas problemáticas [13][14][15]; permiten trabajar en un área o territorio a través del almacenamiento, procesamiento y análisis de la información [16]. Así también, la herramienta Digital Shoreline Analysis System (DSAS) es una extensión desarrollada por el Servicio Geológico de Estados Unidos [USGS] y se

emplea con el software de ArcGis para calcular estadísticas de tasa de cambio de las costas [17]. En esta investigación se utilizaron las siguientes herramientas estadísticas: Net Shoreline Movement (NSM) que muestra la distancia en que varió la línea de costa más antigua con la más nueva, lo que representa como distancia total, el cual se mide en metros y el End Point Rate (EPR) que se calcula al dividir la distancia entre la línea de costa más reciente y la más antigua entre el tiempo transcurrido entre los años estudiados, midiéndose en metros/año [18].

La investigación emplea técnicas de teledetección y SIG, donde se tiene en cuenta aspectos como la temporalidad, el tipo de imágenes satelitales y zonas de estudio. Los resultados obtenidos en el trabajo poseen un impacto social, dado que existe un porcentaje de población que se ve afectada, por lo tanto, se expone cuáles son las zonas más críticas que necesitan un tipo de solución urgente y de esta forma contribuir a los resultados del “Decenio de las Naciones Unidas de las ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible” con el ODS 11, que indica lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resiliente y sostenibles [19]. Así mismo, la información encontrada tendrá un impacto en la comunidad científica que de acuerdo al ODS 13 menciona adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, sirviendo de base para futuras investigaciones [19]; por último, temas como este, con una gran problemática y que no son muy estudiados, se volverán más relevantes y con mayor apoyo. Es idóneo realizar la investigación a partir de la siguiente pregunta: ¿De qué manera el uso de SIG permite analizar el cambio de la línea del litoral costero de la ciudad de Trujillo, en el periodo 1985 - 2022?

Ante ello, el presente trabajo tuvo como objetivo analizar el cambio de la línea del litoral costero de la ciudad de Trujillo con SIG. Cabe mencionar que se establecieron como

objetivos específicos: Hallar el movimiento neto (NSM) y la tasa de cambio (EPR) de las playas de los Distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry; Clasificar los procesos de cambio de línea de costa basada en la tasa de cambio (EPR) de las playas de los Distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry; Describir las causas que provocan el cambio de línea costera del litoral.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La investigación es de enfoque cuantitativo y diseño no experimental; retrospectivo y longitudinal, debido a que se recopilan datos en distintos puntos en el tiempo para identificar cambios y consecuencias [20]. Es observacional y descriptivo ya que la finalidad es estudiar y analizar al detalle los fenómenos que se dan en las costas [21].

Las muestras son: las playas de los Distritos de Huanchaco (Huanchaco y Huanchaquito), Víctor Larco Herrera (Buenos Aires), Moche (Las Delicias y Acapulco) y Salaverry (La Frente, Salaverry Norte y Sur), ya que en los últimos años se ha evidenciado una evolución notable en su línea costera [22].

Para determinar la muestra se establecieron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

a. Criterio de inclusión: Se consideró netamente las playas de la ciudad de Trujillo, de los distritos antes mencionados, dado que estos están vinculados a la problemática de erosión.

b. Criterio de exclusión: No se consideraron quebradas, estuarios, y ríos. Además, se tomó en consideración solamente los distritos costeros de Trujillo que limitan con el Océano Pacífico.

Esta investigación, usó técnicas de observación de campo no experimental. Los instrumentos que se utilizaron en su versión libre fueron los softwares ArcGis 10.4.1, QGIS 3.22.12 y la herramienta DSAS v.5.

Las imágenes satelitales fueron extraídas del portal USGS Science For a Changing World – Earth Explore (Servicio Geológico de Estados Unidos), donde se procedió a la recopilación y descarga de distintas imágenes satelitales Landsat (TM, ETM+ y OLI), durante periodos de tiempos desiguales para cubrir un período de 36 años entre 1985 al 2021, tal como se muestra en la Tabla I. Estas imágenes satelitales se descargaron en consideración a un porcentaje menor al 30% de nubosidad y tomadas durante la estación de verano (diciembre a marzo) para evitar errores radiométricos y atmosféricos.

**Tabla I**

*Detalles de las imágenes Landsat para la digitalización de la costa*

SATÉLITES	SENSOR	FECHA DE ADQUISICIÓN	BANDAS	RESOLUCIÓN (METROS)
LANDSAT 5	TM	1985/01/24	2(Green)	30x30
		1991/03/14	5(Medium IR)	
LANDSAT 7	ETM+	2000/02/27	2(Green)	30x30
		2004/01/23	5(SWIR	30x30
		2007/12/31	1)	
LANDSAT 8	OLI	2017/03/05	3(Green)	30x30
		2019/03/11	6(SWIR	30x30
		2021/01/11	1)	30x30

A partir de ello, se hicieron las correcciones atmosféricas en el programa QGIS 3.22.12, posterior a ello, se hizo el preprocesamiento de las imágenes satelitales trabajados en el software ArcGIS – ArcMap en su versión libre 10.4.1, donde se georreferenciaron con el Datum WGS84, UTM (Universal Transverse Mercator) Zona 17S.

Posterior a ello, con Landsat 5 y Landsat 7, se trabajó con la banda 2 (Green) y la banda 5 (NIR) y para Landsat 8 con las bandas 3 (Green) y banda 6 (Swir 1) (Tabla II), desde

la Add Data a la tabla de contenido, luego se creó un shapefile que abarque el área de estudio con el nombre “Litoral costero Trujillo”, que luego con la herramienta “clip” ubicada en ArcToolbox < Data Management Tools < Raster < Raster Processing, este nos permitió delimitar el área de estudio sin disminuir la calidad de la imagen.

Así mismo, se usó el Índice de Agua de Diferencia Normalizada (MNDWI) por [24], el cual es el más adecuado para el mapeo de cuerpos de agua. Luego, con la herramienta “Raster Calculator” en ArcToolbox < Spatial Analyst Tool < Map Algebra y se empleó la expresión algebraica “Math (Float)” (Tabla II). También, para una mejor visualización se eligió un color característico desde “Select Color Ramp”.

**Tabla II**

*Fórmulas algebraicas MNDWI para las imágenes satélites Landsat*

SATÉLITE		FORMULA MNDWI
Landsat 5 TM	Float(Banda 2-Banda	MNDWI=GREEN-
Landsat 7 ETM+	5/(Banda 2+Banda 5)	NIR/GREEN+NIR
Landsat 8 OLI	Float(Banda 3-Banda	MNDWI=GREEN-
	6)/(Banda 3+Banda 6)	SWIR1/GREEN+ SWIR1

Una vez obtenido ello, se realizó una Clasificación No Supervisada para poder diferenciar el tipo de cobertura, la cual se crea de manera automática desde ArcToolbox < Spatial Analyst Tools < Multivariate < Iso Cluster Unsupervised Classification. Y con ello la reclasificación del raster ubicado también en Spatial Analyst Tools < Reclass < Reclassify.

Luego, se convirtió el ráster a polígono para visualizar mejor la línea de costa, esta herramienta está ubicada en ArcCatalog < Toolboxes < System Toolboxes < Conversion

Tools < From Raster < Raster to Polygon.

Para la delimitación y digitalización de la línea de costa se crearon shapefiles para cada año de estudio, en ArcCatalog, click derecho en el archivo de salida, luego click en “new” y seleccionar “shapefile” con tipo de característica “Polyline” y con el Datum WGS84, UTM 17S. Finalmente, en la barra “Editor”, click en “Start Editing” y en “create features” donde se seleccionó la línea de costa; una vez culminado click en “Stop Editing” y “Save Edits”.

Posteriormente, para el análisis de línea de costa y el cálculo de la tasa de cambio, se utilizó la extensión Digital Shoreline Analysis System - DSAS (Versión 5.0) con los métodos de medidas de distancia y estadísticas para calcular la tasa de variación (EPR) y el movimiento neto de la costa (NSM). Para esto, se creó un Personal Geodatabase con el nombre “DSAS” y dos Feature Class de “Baseline” y “Shoreline” en el ArcCatalog, click derecho en el archivo “DSAS”, “Personal Geodatabase” y nuevamente click derecho en “new” luego “Feature Class” con tipo de entidades almacenadas “Polygon Features” y con Datum WGS84, UTM 17S, por último, se completó la tabla de “descripción de los campos de atributo de transecto de tasa generados por el Sistema digital de análisis de costas (DSAS)”.

Después, en la tabla de contenido se creó un “buffer” con una unidad lineal de 150 metros que sirvió como base para crear nuestra línea del “Baseline” y un “merge” de todas las líneas digitalizadas para el “Shoreline” en click Geoprocessing, ya con todo los datos requeridos se completaron en la “Configuración de la línea base, línea de costa y metadatos” para luego generar los transectos en “Cast Transect” con distancia de línea base 1000, espacio de transectos 100 y distancia de suavizado 500, con un total de 566 transectos y para

distinguir la erosión de la acreción se eligió una rampa de color desde “Symbology”. Donde anaranjado y rojo es erosión y verde es acreción. Asimismo, con los transectos generados se calcularon las estadísticas y seleccionaron los parámetros a estudiar, los cuales fueron “EPR” y el “NSM” como nuevos shapes. Ante ello, para obtener datos más exactos del litoral se cortaron los transectos por playas, tal como se muestra en la Tabla III.

Por último, todos los pasos mencionados se resumen en la Fig. 1.

**Tabla III**

*Transectos usados para las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche, Salaverry*

<b>DISTRITOS (PLAYAS)</b>	<b>ORDEN DE TRANSECTOS ESTUDIADOS</b>	<b>TOTAL, DE TRANSECTOS</b>
Víctor Larco Herrera (Buenos Aires)	338 al 308	30
Huanchaco (Huanchaco y Huanchaquito)	119 al 59	59
Moche (Las Delicias, Acapulco)	273 al 245	28
Salaverry (El Frente, Salaverry Norte y Sur)	211 al 131	80

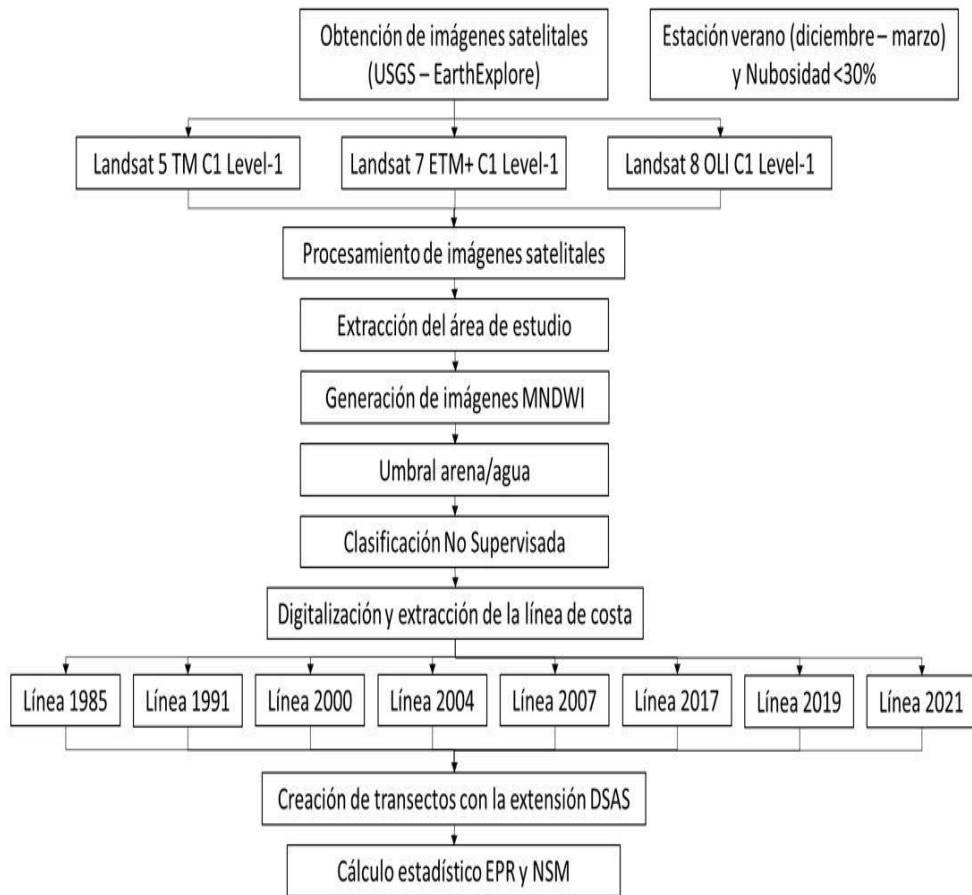


Fig. 1 Diagrama de flujo de la metodología.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

Para analizar el cambio de la línea del litoral costero de la Ciudad de Trujillo, se trabajó con el software ArcMap 10.4.1; el cual permitió analizar las líneas de costa de los años 1985, 1991, 2000, 2004, 2007, 2017, 2019 y 2021 del litoral, evidenciándose que en el año 2017 existió un mayor retroceso de dicha línea, tal como se indica en la fig. 2.



Fig. 2 Líneas costeras de los años 1985, 1991, 2000, 2004, 2007, 2017, 2019 y 2021 del litoral de la Ciudad de Trujillo.

Para hallar las playas con mayores modificaciones de la línea costera durante los últimos 36 años en el litoral de la ciudad de Trujillo, se trabajó con la herramienta DSAS v.5; y sus estadísticas como EPR y NSM, las cual permitieron hallar el movimiento neto en metros y tasas de cambio en metros/año de las playas del litoral, con coloración en los transectos como el anaranjado y rojo para erosión; y acreción con colores como el verde (fig. 3), donde se evidencia que existe un retroceso de línea costera en las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera y Moche (fig. 4; fig. 5; fig. 6; fig. 7). Por otro lado, en las playas de Salaverry se encontró un aumento de dicha línea, tal como lo representa la fig. 7.

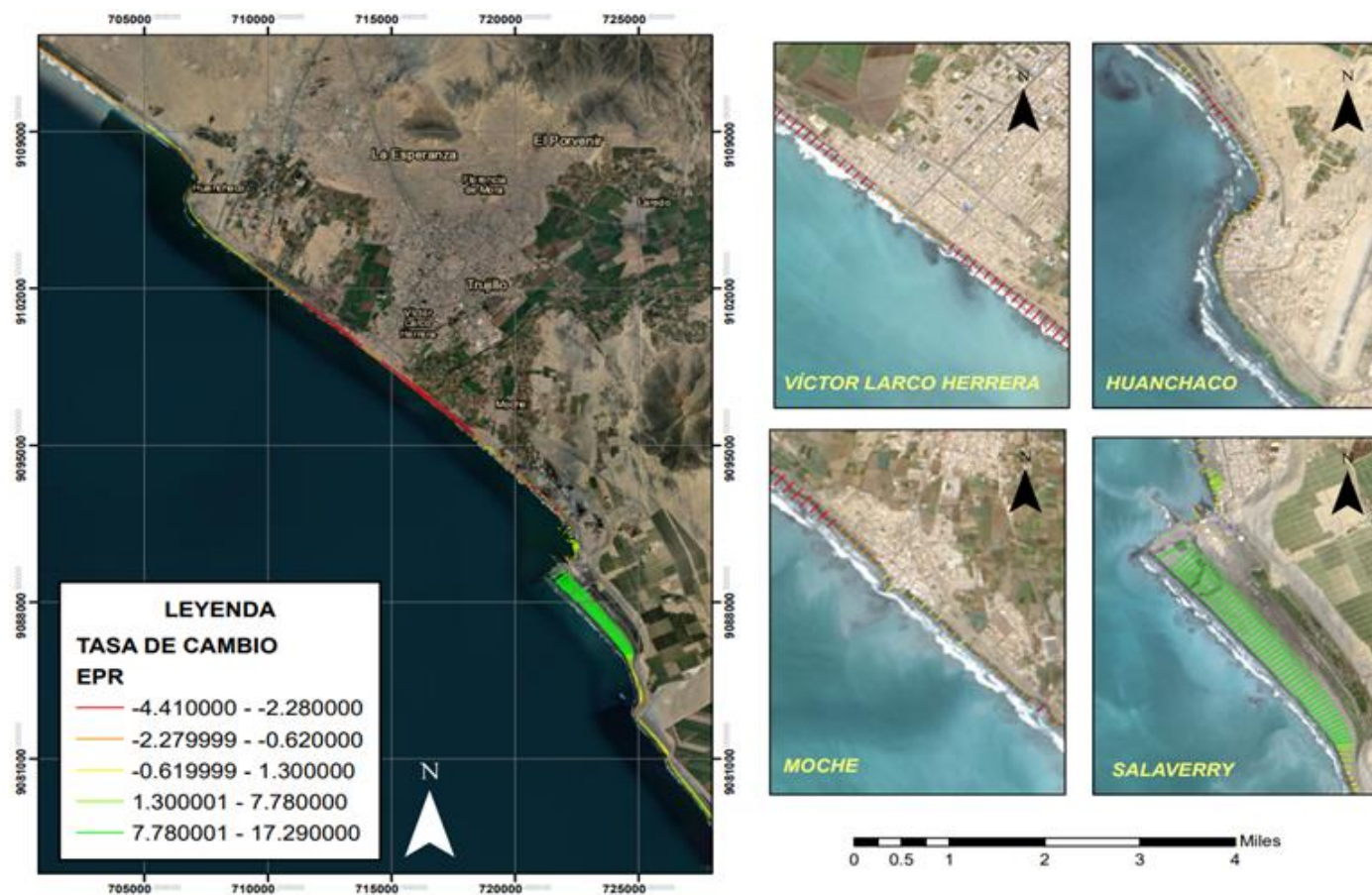


Fig. 3 Cambios de la línea de costa del año 1985 al 2021 de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry en el litoral de la ciudad de Trujillo.

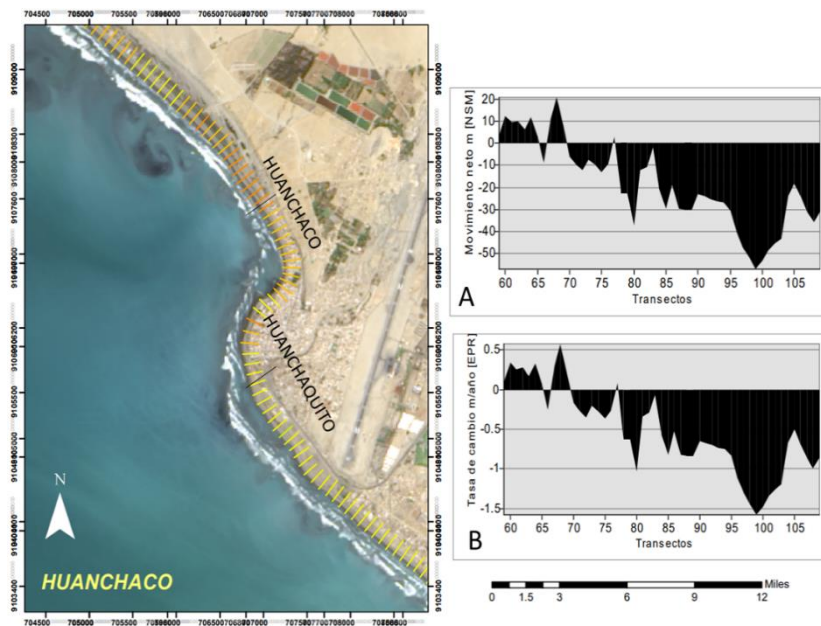


Fig. 4 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Huanchaco de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021.

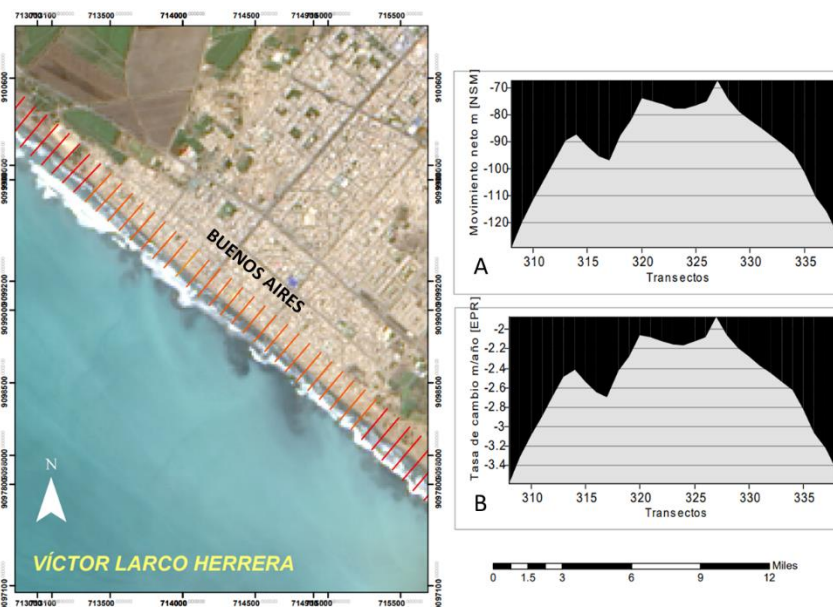


Fig. 5 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Víctor Larco de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021.

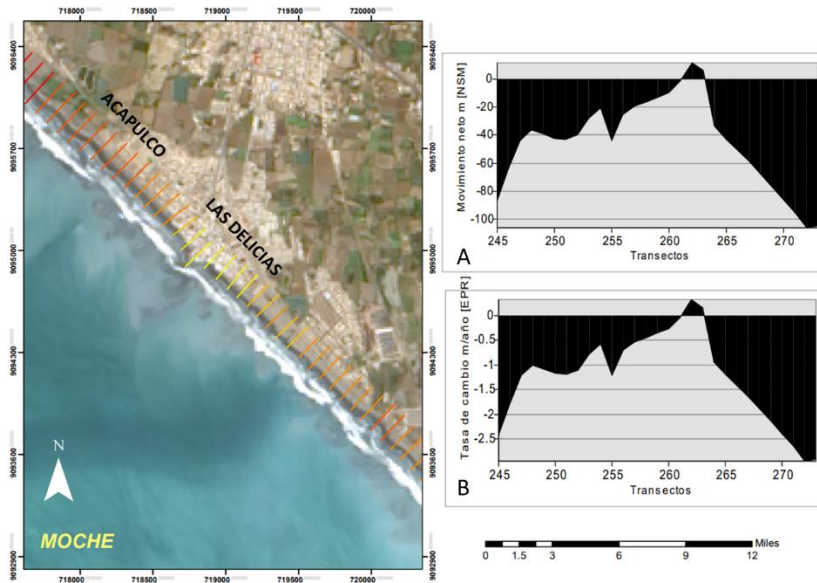


Fig. 6 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Moche de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021.

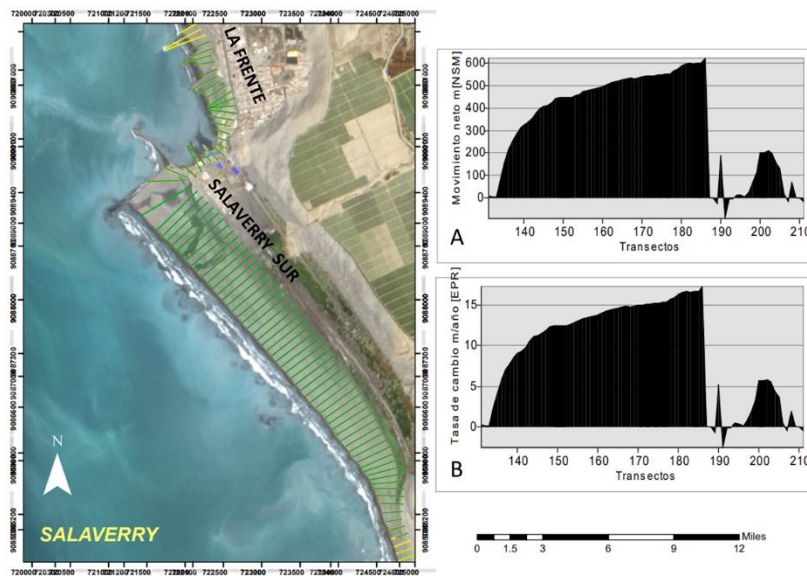


Fig. 7 Movimiento neto y tasa anual de cambio de la línea de costa de Salaverry de la ciudad de Trujillo en el periodo de 1985 al 2021.

Se realizó una clasificación de las líneas costeras de las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry del litoral de la ciudad de Trujillo acorde a la tasa de cambio de EPR.

**Tabla IV**

*Clasificación de la línea de costa basada en la tasa de cambio (EPR) de las playas de los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry, del litoral de la ciudad de Trujillo*

<b>CLASE</b>	<b>RANGO EPR (M/AÑO)</b>	<b>CLASIFICACIÓN DE LÍNEA DE COSTA</b>	<b>PLAYAS</b>
1	<-15	Erosión muy alta	-
2	<-5 a -15	Erosión alta	-
3	< -2 a -5	Erosión moderada	Víctor Larco (Buenos Aires) Moche (Las Delicias y Acapulco)
4		Estable	Huanchaco (Huanchaco y Huanchaquito)
5	>2 a 5	Acreción moderada	-
6	>5 a <15	Acreción alta	-
7	>15	Acreción muy alta	Salaverry (El Frente y Salaverry Norte y Sur)

Por otro lado, se identificaron causas ante la problemática que enfrenta el litoral, y una gran relación entre la acción antropogénica y erosión, por presencia de estructuras duras, tal como se observa en la fig. 8. Así también, se muestra relación entre erosión y fenómenos naturales, y se tiene en cuenta la línea del año del 2017 el cual fue protagonista de muchos perjuicios del litoral en ese periodo, tal como se evidencia en la fig. 9.



Fig. 8 Cambios de la línea de costa a causa del molón retenedor en el litoral de la ciudad de Trujillo.

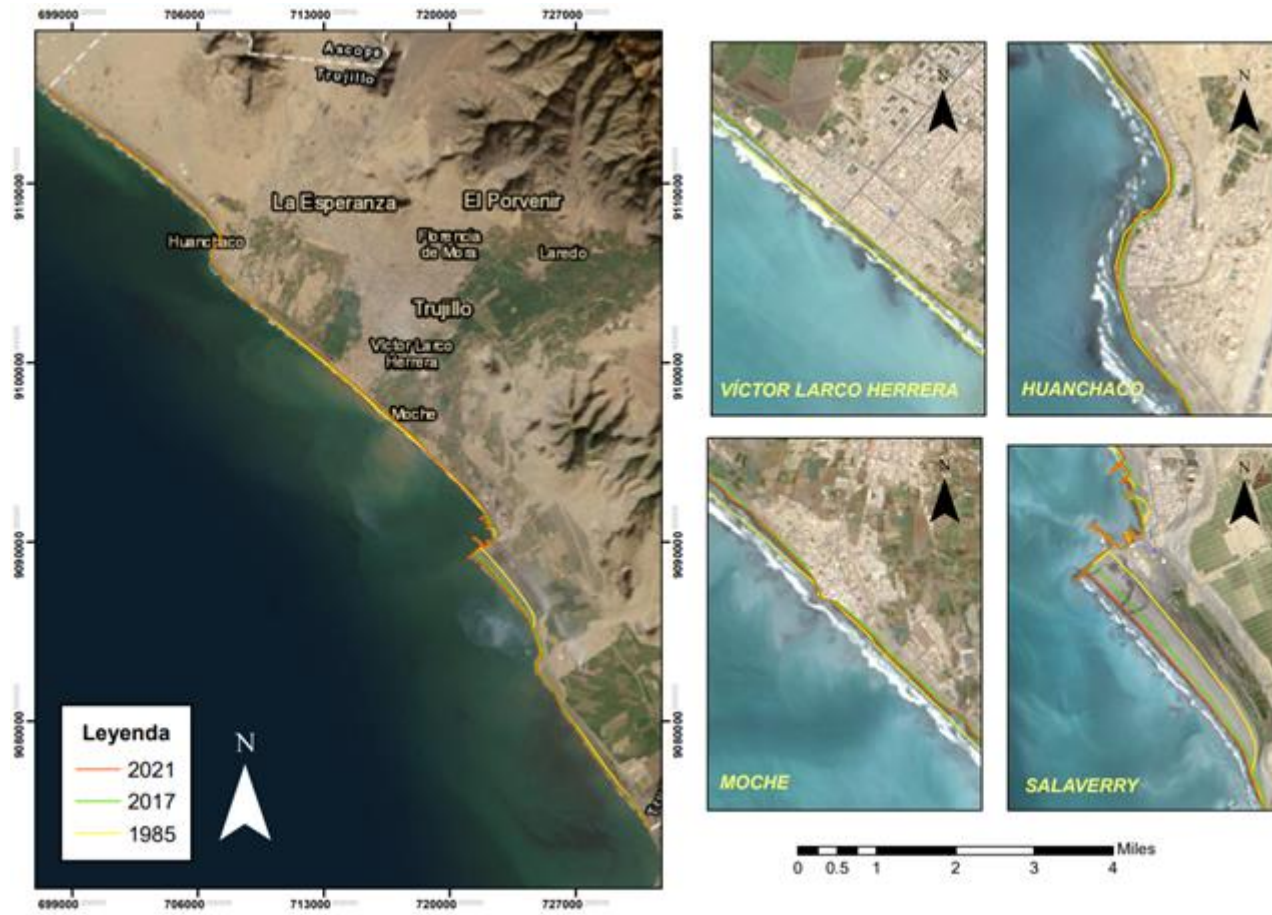


Fig. 9 Cambios de la línea de costa a causa del fenómeno de El Niño en el año 2017.

## CAPÍTULO IIIV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La línea de costa enfrenta constantes variaciones asociadas a las acciones naturales y antropogénicas. Ante ello, [9], menciona que el retroceso de la línea de costa es entendido como erosión costera; así mismo, [12], define la erosión costera como el desplazamiento de los sedimentos costeros a causas del comportamiento del mar y por la intervención de la mano del hombre. Estas, generan la pérdida de playas, impactos en los ecosistemas terrestres, acuáticos y consecuencias negativas en las comunidades [1].

Es por ello, que se planteó como objetivo general analizar el cambio de la línea del litoral costero de la ciudad de Trujillo con SIG, debido a que las playas del norte están en constante variación.

Con la aplicación de los SIG y el MNDWI se pudo visualizar y analizar de mejor manera el umbral de los cuerpos de agua representados por píxeles positivos y los de cuerpo de tierra por píxeles negativos, los cuales permitieron digitalizar la línea de costa de manera automática. Ante ello, [25] mencionan que los SIG son herramientas ideales para la evaluación y el mapeo espacial de problemas costeros. De igual modo, [26] quienes trabajaron la metodología del MNDWI, afirman que este método mejora las características del agua e ignora características distintas en las fuentes de imagen, y que la banda SWIR1 es superior al resto de índices espectrales para la detección de características de agua. Así también, [27] utilizaron MNDWI dado que la banda de onda infrarrojas que son absorbidas por el agua y luego reflejadas por la vegetación y/o suelo, además, menciona que este índice tiene menos margen de error para estudios de la costa.

En el litoral de la ciudad de Trujillo se halló que el distrito de Víctor Larco Herrera

(playa Buenos Aires) tuvo un mayor movimiento neto de erosión de -129.07 m con una tasa de -3.59 m/año; en la fig. 5 se evidencia que todos los transectos son de color rojo lo cual representa erosión en todo el litoral, así mismo esto se representa en la fig. 5A y 5B los cuales son de valores negativos; también este resultado es clasificado con un tipo de erosión moderado (Tabla IV) al igual que las playas del distrito de Moche (Las Delicias y Acapulco) con -106.06 m con una tasa de -2.95 m/año tal y como se evidencia (fig. 6).

Por otro lado, las playas del distrito de Huanchaco (Huanchaco y Huanchaquito) presentó un retroceso de -56.96 m con una tasa de -1.58 m/año y se evidencia en los transectos la presencia de color amarillo (fig. 4), el cual se clasifica como una línea costera estable (Tabla IV). Por último, las playas del distrito de Salaverry (El Frente, Salaverry Norte y Sur) presentó una sedimentación de 621.87 m con una tasa de 17.29 m/año y donde predominó el color verde en los transectos (fig. 7), y son representados en las figuras 7A y 7B ya que tienden a ser positivas. Ante ello, el MINAM [Ministerio del Ambiente] [28] en su reporte de monitoreo de las variaciones de la línea de costa a nivel nacional realizado en el periodo 2016 al 2021, obtuvieron una distancia de -4.80 m y una tasa de -2.71 m/año en la playa de Buenos Aires. Por ello, los resultados obtenidos tendrían concordancia para el distrito de Víctor Larco Herrera dado que el MINAM trabajó en un periodo después de la construcción del muro rompeolas el cual mantiene la erosión. Además, que se trabajó con un periodo mayor de años.

Resaltar, que en el mismo reporte del 2019 del MINAM, se evidenció un estudio para la playa Las Delicias donde se obtuvo una tasa de -3.21 m/año para el distrito de Moche, ante ello, cabe resaltar que para el presente estudio se tomaron las dos playas como una, en la cual la playa Acapulco mostró datos de acreción, lo cual reduce los datos obtenidos de erosión.

De igual forma, en el reporte del MINAM, el distrito de Salaverry Sur en la parte donde se encuentra ubicado el molón retenedor de arena, calcularon un promedio 299.33 m y una tasa de acreción de 8.5 m/año en temporada de verano e invierno, caso que en nuestro estudio las imágenes satelitales obtenidas fueron en la estación de verano (diciembre – marzo).

En cuanto a las causas naturales de erosión, la línea del año 2017 comparada con los otros años, fue la que presentó mayor retroceso en los distritos de Huanchaco, Víctor Larco Herrera, Moche y Salaverry Norte (fig. 9). En este año, se presentó el Fenómeno El Niño, el cual trajo consigo corrientes oceánicas con temperaturas altas, el cual causó evaporación del mar hacía la atmósfera, esto genera fuertes lluvias que luego desencadenó en huacos debido a la activación y colapso de las quebradas que desembocan en el mar, lo que aumentó el nivel del mar entre 15 y 40 cm [29]. El INGEMMET [Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico] [30], asegura que el fenómeno de El Niño por medio de sus intensas lluvias activo las quebradas en la ciudad de Trujillo, las cuales parte de ello discurrieron por el valle de Moche disponiéndose al océano pacífico. Los autores, [31], en su investigación afirmaron que el fenómeno El Niño tiene un fuerte impacto en el aumento del nivel del mar, que, en conjunto con otros fenómenos naturales aceleran la erosión en las costas, como por ejemplo eventos como ciclones, tormentas, etc. Así también, otra causa natural es el calentamiento global el cual genera el derretimiento de los glaciares por el aumento de temperatura, el cual provoca el ascenso del nivel del mar y perjudica las zonas costeras.

Por otro lado, otra causa que genera el cambio de línea de costa es la intervención de la mano del hombre mediante estructuras duras la cual es denominada acción antropogénica, (fig. 6), se aprecia la sedimentación en el molón retenedor ubicado en la

parte Salaverry Sur y en parte de las construcciones de Salaverry Norte. Estas estructuras retienen los sedimentos los cuales deberían ser transportados naturalmente por las corrientes marinas y al no ser así este afecta la inestabilidad en las costas, ante ello, [32], afirman que la alteración de sedimentos genera cambios en las costas, y causa procesos de erosión o acreción en las playas; [33], en su trabajo atribuyen que durante el periodo 1976 y 1977 fechas donde se modificó el terminal de Salaverry y provocó una tasa de erosión de 3.2 m/año hacía el norte de Moche, de allí empezó a afectar el distrito de Victor Larco Herrera; luego de ello, en 1995 la construcción de un espigón en Moche junto con un rompeolas, produjo un avance de línea de 20 m a una tasa de 10 m/año. También, [34], mencionan que debido a un rompeolas ubicado a 300 m de la playa este presentó una alta tasa de acreción de 170,29 m<sup>2</sup>/año.

Se recomienda a las autoridades, un análisis documental del estado del litoral costero de la ciudad de Trujillo; considerando mayores estudios que pueden influir (en el cambio de la línea de costa) como la relación con el cambio climático, los niveles del mar (marea), el uso de los suelos, y la presencia que tienen las construcciones antropogénicas, para así obtener una mayor comprensión en la gestión de las costas y evitar amenazas en sus ecosistemas costeras. También, se considera que el aporte que brindará esta investigación servirá como una base para la realización de futuras investigaciones referentes a la erosión en las costas, además, incentivar a tener conocimiento sobre el impacto de las acciones antropogénicas en el litoral. Cabe mencionar, que la investigación presentó las siguientes limitaciones, no contar con imágenes satelitales que tengan mejor resolución espacial para una mayor precisión en los resultados.

## REFERENCIAS

- [1] G. M. Boretto, S. Rouzaut, M. Cioccale, S. Gordillo y Y. Benitez, "Dinámica costera y antropización en playas uruguayas. Un análisis integrado para su conservación", *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, vol. 35, no. 3, pp. 291-306, 2018 [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22201/cgeo.20072902e.2018.3.865>.
- [2] C. A. Bocanegra y B. A. Veneros, "La variación de la línea de costa causa de impacto en el ámbito ambiental, social y económico en la pesca del Caballito de Totorá", *Universidad Y Sociedad*, vol. 12, no. 4, pp. 218-222, 2020 [En Línea]. Disponible en: <https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/1639>.
- [3] J. A. Cooper, M. C. Connor y S. McIvor, "Coastal defences versus coastal ecosystems: A regional appraisal", *Marine Policy*, vol. 11, no.0, pp. 102332, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.02.021>.
- [4] I. Cinelli, G. Anfuso, S. Privitera y E. Pranzini, "An overview on railway impacts on coastal environment and beach tourism in Sicily (Italy)," *Sustainability*, vol. 13, no. 13, pp. 7068, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3390/su13137068>.
- [5] J. D. Vélez, G. L. Betancurth-Montes y J. E. Cañón-Barriga, "Erosion and progradation in the atrato river delta: a spatiotemporal analysis with google earth engine", *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 0, no. 99, pp. 83-98, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.17533/udea.redin.20200688>.
- [6] G. Barrantes y L. Sandoval, "Cambios en la línea de costa en el Caribe Sur de Costa Rica durante el periodo 2005-2016", *Revista de Ciencias Ambientales*, vol. 55, no. 2, pp. 105-134, 2021 [En Línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15359/rca.55-2>.

- [7] M. A. Cifuentes, L. V. Rosero y J. Josephraj-Selvaraj, "Detección de cambios de la línea costera al Norte del Distrito de Buenaventura mediante el uso de sensores remotos", *Investigaciones Marinas y Costeras – INVEMAR*, vol. 46, no. 1, pp. 137-152, 2017 [En Línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0122-97612017000100137&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612017000100137&lng=en&tlng=es).
- [8] J. A. Martín, F. X. Roig, A. Rodríguez, M. Mir, G. X. Pons y B. Gelabert, "La erosión histórica de la playa de Sa Ràpita (S. Mallorca)", *Investigaciones Geográficas*, vol. 0, no. 66, pp. 135-154, 2016 [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.14198/INGEO2016.66.08>.
- [9] J. Ojeda, "Métodos para el cálculo de la erosión costera", *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, vol. 30, no. 0, pp. 103-118, 2001. [En Línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11441/73717>.
- [10] N. M. Jara, "Influencia de la erosión costera en la actividad turística del balneario de Huanchaco", tesis de bachiller, Facultad de Ciencias Sociales, UNT, Trujillo, Perú, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/5687> [Accedido: 28-agos-2022]
- [11] L. Montanarella, D. Pnnock, N. McKenzie, S. Kazem, J. Alegre, A. AlShankiti, D. Arrouays, M. Aulakh, M. Badraoui, I. Baptista, H. Black, M. Camps, V. Chude, E. Sheikh, D. Espinosa, J. Hempel, C. Roberto, S. Hong, P. Krasilnikov, T. Mamo, M. de Lourdes, J. Sobocká, M. Taboada, P. Vijarnsorn, K. Yagi, M. Yemefack, G. Lin, "Estado Mundial del Recurso Suelo - Resumen Técnico". Roma, Italia: AMS, 2015 [En línea]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i5126s/i5126s.pdf>. [Accedido 18-jun-2022]

[12] L. García, "Clima marítimo, procesos de erosión/acreción y amenazas/vulnerabilidades por erosión: caso de estudio de la barrera costera de Puerto Velero," tesis de maestría, Departamento del Atlántico, Uninorte, Barranquilla, Colombia, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10584/10837> [Accedido: 16-oct-2022]

[13] U. Natesan, A. Pathasarathy, R. Vishnunath, E. Jeba y V. Ferrer, "Monitoring longterm shoreline changes along Tamil Nadu, India using geospatial techniques", ScienceDirect, vol. 4, no. 0, pp. 325-332, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/325-332>. 10.1016/j.aqpro.2015.02.044.

[14] Cespedes, T. V. C., Alvarez, S. M. G., Rojas, J. M. L., Fernández, G. I. L., & Puscan, M. W. V. (2022). Use of geographic information systems in the loss of forest coverage in the amazon. A systematic review between the years 2010-2020. Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.126 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).

[15] Medina, A. F. B., Fernández, G. I. L., Puscan, M. W. V., & Rojas, J. M. L. (2022). Application of geospatial analysis for soil classification in la libertad region, peru. 2020. Paper presented at the Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.121 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).

[16] Tomosada, P., Shigeo, E., Rojas, J. M. L., & Fernández, G. I. L. (2022). Application of geographic information systems to the study of risk and prevention of forest fires innatural protected areas of cuzco. Paper presented at the Proceedings of the

LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology,  
2022-July doi:10.18687/LACCEI2022.1.1.129 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com).

[17] M. Arancibia, "El uso de los sistemas de información geográfica -SIG- en la planificación estratégica de los recursos energéticos," *Polis*, vol. 7, no. 20, pp. 227-238, 2008 [En Línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-65682008000100012>.

[18] Science For a Changing World, "USGS - Woods Hole Coastal and Marine Science Center", 2018. [Online]. Available: <https://www.usgs.gov/centers/whcmssc/science/digital-shoreline-analysis-system-dsas> [Accedido: 24-jun-2022]

[19] E. Himmelstoss, R. Henderson, M. Kratzmann y A. Farris. (2018). "Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide", U.S.G.S, Reston, VA. [Online]. Available: <https://doi.org/10.3133/ofr20181179> [Accedido: 17- may-2022]

[20] R. Hernández, C. Fernández y M. Baptista, "Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo". México: McGraw-Hill Interamericana, 2014 [En línea]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>. [Accedido 21- may-2022]

[21] M. Alto, J. López y A. Benavente, "Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología," *Anales de Psicología / Annals of Psychology*, vol. 29, no. 3, pp. 1038–1059, 2013 [En Línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>.

[22] R. Hernández y C. Mendoza, *Metodología de la investigación: las rutas:*

cuantitativa, cualitativa y mixta. Mc Graw Hill educación, 2018 [En Línea]. Disponible en: <http://repositorio.uasb.edu.bo/handle/54000/1292>.

[23] C. A. Bocanegra, B. Veneros y Z. G. Culquichicón, “Environmental Impacts on the Littoral Coastal Strip by Anthropic Action in the City of Trujillo, Perú”, *Enfoque UTE*, vol. 12, no. 1, pp. 59-73, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.655>.

[24] H. Xu, “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery (2006)”, *International Journal of Remote Sensing*, vol. 27, pp. 3025-3033, 2017. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/01431160600589179>.

[25] P. P. C. Aucelli, G. Di Paola, A. Rizzo y C. M. Roskopf, “Present day and future scenarios of coastal erosion and flooding processes along the Italian Adriatic coast: the case of Molise región”, *Environmental Earth Sciences*, vol. 77, no. 10, pp. 1-19, 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7535-y>.

[26] E. McAlliter, A. Pyo, A. Novellino, T. Dolphin, E. Medina – Lopez, “Multispectral satellite imagery and machine learning for the extraccion of shoreline indicators”, *Coastal Engineering*, vol. 174, no. 0, pp. 104102, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2022.104102>

[27] D. Nguyen, T. Duc, L. Pham, P. Thi, Nguyen Thi Diem Thuy, N. Ky, N. Thi, "Morphological change assessment from intertidal to river-dominated zones using multiple-satellite imagery: A case study of the Vietnamese Mekong Delta", *Regional Studies in Marine Science*, Vol.34, no. 0, pp. 101087, 2020. [Online]. Available:

<https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101087>.

[28] “Monitoreo de las variaciones de la línea de costa a nivel nacional”, MINAM, Perú, 2021 [En línea]. Disponible en: <https://geoservidor.minam.gob.pe/monitoreo-y-evaluacion/erosion-marina/>.

[29] C. Tavares y G. Rondón, “Estabilidad de la línea de costa frente al calentamiento global: análisis de sectores costeros en Tacna y Piura, Perú”, *Revista Geográfica*, vol. 154, pp. 157-178, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeo/article/view/334>.

[30] Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico, “INGEMMET - Evaluación por peligro de erosión marina en el balneario Las Delicias”, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.pe/ingemmet>.

[31] R. Lizano y G. Omar, “Erosión en las playas de Costa Rica, incluyendo la Isla del Coco”, *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales*, vol. 14, no. 27, pp. 6-27, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66627452001>.

[32] A. Merlotto, G. Bértola y F. Isla, “Riesgo de erosión costera de la provincia de Buenos Aires, Argentina”, *Revista Universitaria de Geografía*, vol. 26, no. 2, pp. 37-72, 2017 [En línea]. Disponible en: <http://ref.scielo.org/jzj3h6>.

[33] J. León y C. Tavares, “Quantification of Shoreline Change in Salaverry, Perú”, *Journal of Coastal Research*, vol. 39, no. 39, pp. 1013-1016, 2006. [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/262687278\\_Quantification\\_of\\_Shoreline\\_Change\\_in\\_Salaverry\\_Peru](https://www.researchgate.net/publication/262687278_Quantification_of_Shoreline_Change_in_Salaverry_Peru).

[34] R. Haron, M. Arif, F. Amri, M. Faiz Pa, N. Talib y E. Helmy, “Effect of Erosion

and Accretion on Beach Profile in Kuala Terengganu Coastal Areas”, IOP Conf. Ser.:  
Earth Environ. Sci. vol. 620, pp. 12008, 2021. [Online]. Available:  
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/620/1/012008>.