# VARIACIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA EN LA ZONA SUR DEL PUERTO DE SALAVERRY USANDO IMÁGENES DEL SATÉLITE LANDSAT, PERIODO 1979-2020

## COASTAL LINE DYNAMICS IN THE SOUTHERN AREA OF SALAVERRY PORT ANALYZED WITH LANDSAT SATELLITE IMAGERY (1979-2020)

*Luis Escudero*[1] *Han Xu*[1]


### RESUMEN

*Escudero, L. & Xu, H. (2024). Variación de la línea de costa en la zona sur del puerto de Salaverry usando imágenes del satélite Landsat, periodo 1979-2020. Inf Inst Mar Perú, 51(3), 236-244.-* Utilizando imágenes del satélite de la serie Landsat para el periodo 1979 al 2020, se estimó la variación de la línea de costa, volumen de arena retenida en la zona sur del puerto de Salaverry, con imágenes cada cinco años. A partir de la reflectancia, se calcula el Índice Diferencial de Agua Normalizada (NDWI), que es utilizado para estimar los cambios en la dinámica de la línea costera, los resultados nos muestran que la línea de costa se ha extendido 607.405 m por arenamiento, con promedio de 75.926 m cada 5 años, el área alcanzó un total de 3434 km$^2$ hasta el 2020 y volumen total acumulado de 9.129 x 10$^6$m$^3$. Las condiciones ambientales frente a esta zona son básicamente de aguas costeras frías de la corriente de Humboldt, con la TSM que varía de 14,23 °C a 26,79 °C y el viento superficial de 1,92 m s$^{-1}$ a 7,17 m s$^{-1}$, con dirección principal hacia el nor-oeste. Se pudo observar que, a mayor intensidad del viento el desplazamiento de la línea de costa es mayor.

Palabras clave: línea de costa, volumen acumulado, Landsat, Salaverry, Perú


### ABSTRACT

*Escudero, L. & Xu, H. (2024). Coastal line dynamics in the southern area of Salaverry Port analyzed with Landsat satellite imagery (1979-2020). Inf Inst Mar Peru, 51(3), 236-244.-* This study utilized Landsat satellite imagery from 1979 to 2020 to estimate changes in the coastline and the volume of sand accumulated in the southern area of Salaverry Port, with assessments conducted every five years. The Normalized Difference Water Index (NDWI) was calculated using reflectance data to evaluate shifts in coastal dynamics. The findings reveal that the coastline has advanced by 607,405 meters due to sediment accretion, with an average extension of 75,926 meters per five-year period. By 2020, the affected area covered 3434 km², with a cumulative volume of 9.129 x 10$^6$m$^3$ of sediment. Environmental conditions in this area are characterized by the cold coastal waters of the Humboldt Current, with sea surface temperatures (SST) ranging from 14.23 ° C to 26.79 °C and wind speeds between 1.92 m s$^{-1}$ and 7.17 m s$^{-1}$, predominantly directed towards the northwest. The analysis shows that increased wind intensity correlates with greater shoreline displacement.

Keywords: coastline, accumulated volume, Landsat, Salaverry, Peru

## 1. INTRODUCCIÓN

La línea costera es una de las zonas más dinámicas, frágiles y complejas del planeta. La evolución morfológica de la línea de costa se produce por diversos motivos: oscilaciones climáticas como el oleaje, corrientes, mareas, vientos, entre otros, y por procesos continentales como erosión y sedimentación (Alonso Villalobos *et al*., 2009). El monitoreo dinámico de la línea de costa es crucialmente importante, ya que proporciona información esencial para comprender la respuesta costera al cambio climático contemporáneo y los impactos humanos (Jones *et al*., 2009).

Desde la edificación del puerto de Salaverry en l960, enfrenta problemas de arenamiento por lo que necesitaba ser dragado constantemente, motivo por el cual se construyó el rompeolas principal de 1.300 m de largo y 10 m de ancho que generó una zona de abrigo de 70 hectáreas de aguas tranquilas en el terminal portuario de Salaverry y que permite evitar el efecto de grandes olas (Santa María Jiménez, 2020). Posteriormente, en 1973, el primer molo retenedor de área de 130 metros fue construido en el cabezo del rompeolas para reducir la velocidad de la corriente marina y la intensidad de transporte de sedimentos. A partir de la década de los 80, se vienen levantando tramos retenedores por la Empresa Nacional de Puertos S. A. (ENAPU). Sin embargo, desde el inicio del siglo XXI, varios estudios científicos mostraron que el molón retenedor genera una erosión costera y afecta a las playas ubicadas al norte de Salaverry (Leon & Correa, 2006; Bocanegra Garcia *et al*., 2020).

1 Instituto del Mar del Perú (IMARPE)-DGIHSA-Área Funcional de Sensoramiento Remoto, Av. Argentina 2245-Callao, Lima-Perú, E-mail: lescudero@imarpe.gob.pe

Diversos estudios muestran que, imágenes de satélite de la serie Landsat permiten la detección de cambios interanuales y decadales para áreas geográficas de playas (Morton & Speed, 1998; Pardo Pascual *et al*., 2008) y es potencialmente la mejor fuente de datos satelitales para monitorear la dinámica de la costa a gran escala (Li & Gong, 2016). Estos estudios, se basan en el cálculo del índice del agua usando imágenes de Landsat, para el monitoreo de la dinámica del cambio de línea costera (El Kafrawy *et al*., 2017; Wicaksono *et al*., 2019).

El objetivo de este trabajo, es calcular los cambios de la línea de costa y estimar el volumen de arena retenido desde 1979 hasta el 2020 con intervalos de cinco años, vinculando el índice del agua con la serie de imágenes de satélite Landsat para ese periodo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

**Área de estudio:** comprende la zona costera en el sur del puerto de Salaverry, al lado del terminal marítimo de Salaverry, entre las latitudes 8°14'S y 8°16'S, las longitudes 78°59'W y 78°57'W (Fig. 1). El periodo de estudio, para los parámetros ambientales considera desde 1981 hasta 2022; mientras que se utilizaron nueve imágenes satelitales que abarcó desde 1979 hasta 2020.

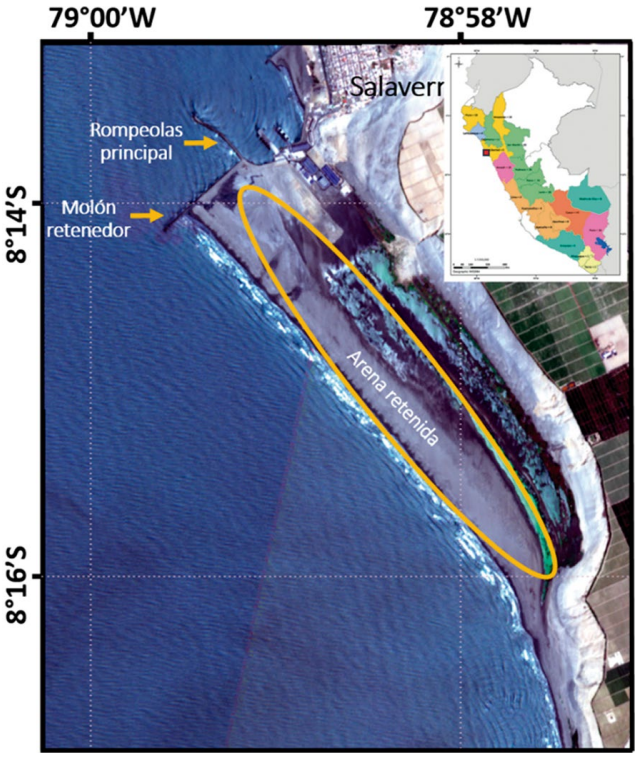


Figura 1.- Imagen RGB Sentinel-2 de 2 de diciembre, 2022, sur del puerto de Salaverry

**Datos del satélite:** se utilizaron nueve imágenes de satélite de la serie Landsat (Landsat-2, 5, 7 y 8) de la colección 2, con frecuencia de cada cinco años durante el periodo de estudio (Tabla 1), la fuente corresponde a la *United States Geological Survey (USGS)- Global Visualization Viewer (GloVis)* https://glovis.usgs.gov/app, se consideró una cobertura nubosa menor de 5%. En la Tabla 2 se muestran las diferentes características espectrales, resolución espacial y radiométrica de los sensores utilizados. Para el cálculo de volumen de arena acumulada se utilizó los datos batimétricos del modelo *Digital Elevation Model* (DEM), ETOPO 2022 que tiene una resolución espacial de 15 segundos de arco (aproximadamente 450 m) https://www.ncei.noaa.gov/maps/grid-extract/

Tabla 1.- Fecha, hora y sensor de imágenes utilizadas

| Fecha barrido | Hora de barrido (Local) | Sensor/Satélite | Nubosidad |
|---|---|---|---|
| 1979-02-21 | 09:30:15 | MSS/Landsat-2 | |
| 1985-01-24 | 09:52:53 | TM/Landsat-5 | |
| 1990-04-28 | 09:42:39 | TM/Landsat-5 | |
| 1995-05-28 | 09:29:31 | TM/Landsat-5 | |
| 2000-12-27 | 10:12:57 | ETM+/Landsat-7 | < 5% |
| 2005-06-24 | 10:10:06 | TM/Landsat-5 | |
| 2010-02-14 | 10:13:25 | TM/Landsat-5 | |
| 2015-01-27 | 10:22:28 | OLI/Landsat-8 | |
| 2020-03-13 | 10:22:03 | OLI/Landsat-8 | |

**Metodología**. La imagen de satélite Landsat, es una matriz de números digitales (*Digital Number*, DN) almacenados en formato "TIF", los cuales, mediante una regresión lineal, se convierten a valores de reflectancia donde, los coeficientes de la conversión están en el archivo cabecero en formato ".txt". A partir de la reflectancia se calcula el Índice Diferencial de Agua Normalizada (*Normalized Difference Water Index*, NDWI) definido por McFeeters (1996) cuya fórmula se expresa en la ec. 1.

$$NDWI = \frac{R_V - R_{NIR}}{R_V + R_{NIR}} \quad \text{(ec. 1)}$$

Donde $R_V$ y $R_{NIR}$ son la reflectancia de las bandas verde e infrarrojo cercano, respectivamente.

Tabla 2.- Características espectrales de las bandas utilizadas.
(Fuente: https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions)

| Sensor/Satélite | Banda | Longitud de onda (μm) | Resolución espacial (m) | Resolución radiométrica |
|---|---|---|---|---|
| MSS/Landsat-2 | 4 – Costera - Aerosoles | 0,500 – 0,600 | 60 | 8 bits |
| | 5 – Azul | 0,600 – 0,700 | | |
| | 6 – Verde | 0,700 – 0,800 | | |
| | 7 – Rojo | 0,800 – 1,100 | | |
| TM/Landsat-5 | 1 – Azul | 0,450 – 0,520 | 30 | |
| | 2 – Verde | 0,520 – 0,600 | | |
| | 3 – Rojo | 0,630 – 0,690 | | |
| | 4 – Infrarrojo cercano | 0,760 – 0,900 | | |
| | 5 – Infrarrojo de onda corta 1 | 1,550 – 1,750 | | |
| | 7 – Infrarrojo de onda corta 2 | 2,080 – 2,350 | | |
| ETM+/Landsat-7 | 1 – Azul | 0,450 – 0,520 | | |
| | 2 – Verde | 0,520 – 0,600 | | |
| | 3 – Rojo | 0,630 – 0,690 | | |
| | 4 – Infrarrojo cercano | 0,770 – 0,900 | | |
| | 5 – Infrarrojo de onda corta 1 | 1,550 – 1,750 | | |
| | 7 – Infrarrojo de onda corta 2 | 2,090 – 2,350 | | |
| OLI/Landsat-8 | 1 – Costera - Aerosoles | 0,435 – 0,451 | | 16 bits |
| | 2 – Azul | 0,452 – 0,512 | | |
| | 3 – Verde | 0,533 – 0,590 | | |
| | 4 – Rojo | 0,636 – 0,673 | | |
| | 5 – Infrarrojo cercano | 0,851 – 0,879 | | |
| | 6 – Infrarrojo de onda corta 1 | 1,566 – 1,651 | | |
| | 7 – Infrarrojo de onda corta 2 | 2,107 – 2,294 | | |

Tabla 3.- Características de TSM, viento y altura significativa de oleaje

| Parámetro | Res. espacial | Res. temporal | Pos. pixel | Periodo |
|---|---|---|---|---|
| TSM-Ostia | 0,05° x 0,05° | El 15 de cada mes | [-78,925, -8,375] | 1981-2022 |
| Altura oleaje-ERA5 | 0,5° x 0,5° | mensual | [-79,000, -9,000] | 1979-2022 |
| Viento-ERA5 | 0,25° x 0,25° | mensual | [-79,250, -8,250] | 1979-2022 |

Posteriormente, a cada imagen NDWI se aplicó un umbral para generar una máscara que representa el cuerpo de arena y mediante la máscara se estimaron las áreas retenidas y se calculó su volumen usando el DEM. Asimismo, se generaron los archivos "SHP" a partir de las áreas calculadas y se estimó el desplazamiento de la línea de costa, considerando el vector del 1979 como la línea base. El procesamiento se desarrolló mediante el lenguaje de programación *Interactive Data Lenguage* (IDL) v. 8.8.

La Tabla 3 muestra las características de los parámetros ambientales satelitales utilizados frente al área de estudio, donde, los datos de TSM provienen del sistema *Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis* (OSTIA) de 5 km de resolución espacial, los datos de viento y altura significativa de oleaje total fueron obtenidos del modelo de reanálisis ERA5 (viento de 25 km y altura oleaje de 50 km de resolución espacial), el cual corresponde a la quinta generación del *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/home

## 3. RESULTADOS

### Aspectos ambientales

#### Temperatura Superficial del Mar (TSM °C)

La serie de tiempo de TSM/OSTIA (periodo 1981-2022) frente al área de estudio, muestra variación mensual que fluctúa entre 14,23 °C y 26,79 °C, con promedio 17,83 °C; los máximos valores se registraron en verano: febrero 1983 (24,57 °C), marzo 1998 (25,18 °C) y marzo 2017 (26,79 °C); las temperaturas mínimas se encontraron en invierno y el mes con menor temperatura fue octubre 2020 (14,23 °C) (Fig. 2).

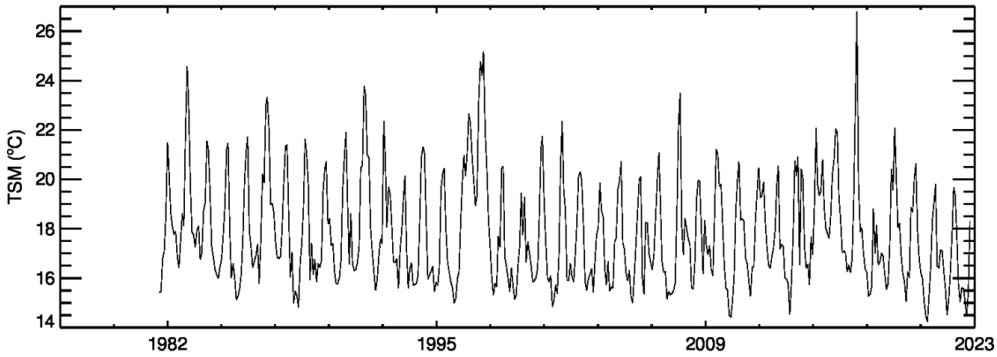


Figura 2.- TSM/OSTIA, periodo 1981 - 2022

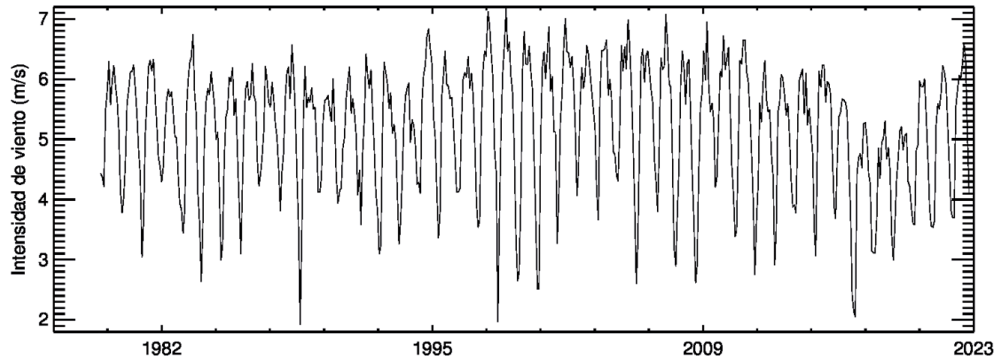


Figura 3.- Viento mensual del modelo de reanálisis ERA5

## Viento superficial (m/s)

La intensidad del viento mensual (modelo reanálisis ERA5) frente a la costa de Salaverry (Fig. 3) en ese mismo periodo, presentó distribución periódica con rango de 1,92 m $s^{-1}$ a 7,17 m $s^{-1}$, las mayores intensidades se presentaron en invierno: agosto 1998 (7,12 m $s^{-1}$) y julio 1999 (7,17 m $s^{-1}$), los mínimos valores ocurrieron en verano: febrero 1989 (1,92 m $s^{-1}$), febrero 1999 (1,97 m $s^{-1}$) y marzo 2017 (2,05 m $s^{-1}$).

Al analizar las componentes de la velocidad del viento, se determinó que la dirección principal fue noroeste (Fig. 4), la intensidad del componente vertical fue mayor (entre 3 y 6 m $s^{-1}$) la horizontal varió entre 0 y 2 m $s^{-1}$.

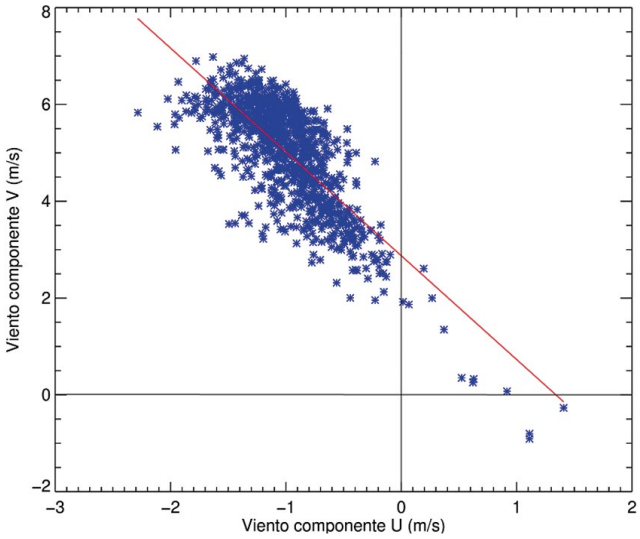


Figura 4.- Componentes de velocidad del viento

## Altura significativa del oleaje (m)

La altura significativa del oleaje total (modelo de reanálisis ERA5) frente a Salaverry para el periodo de estudio varió de 1,090 m a 2,084 m (Fig. 5), la mayor altura ocurrió en invierno-primavera y la menor en verano-otoño, donde la máxima altura significativa se registró en agosto 1998 (2,069 m) y 2012 (2,084 m) y la mínima (1,090 m) en diciembre 2005.

## Imágenes RGB

En la Figura 6 se muestran las imágenes RGB (bandas rojo, verde y azul) de la serie de satélites Landsat seleccionando una imagen cada cinco años, lo cual nos permite observar cómo se desarrolla gradualmente el proceso de arenamiento en la línea costera, a partir de esta información se pudo cuantificar el área y volumen acumulado.

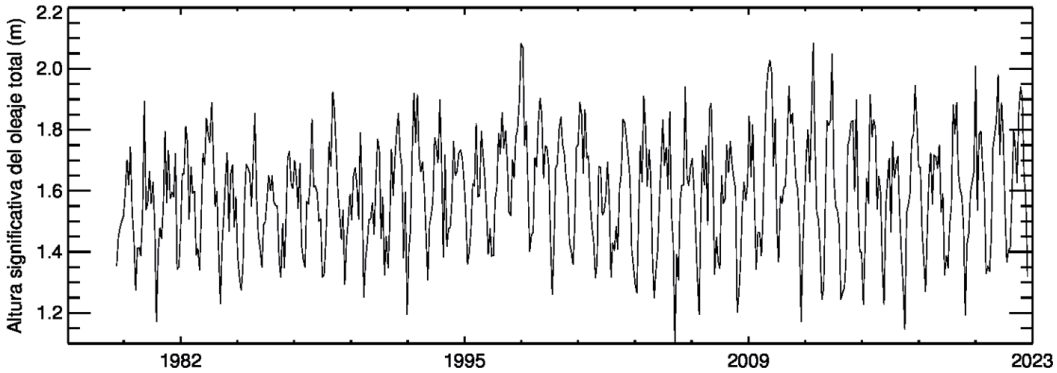


Figura 5.- Altura significativa del oleaje total del modelo ERA5

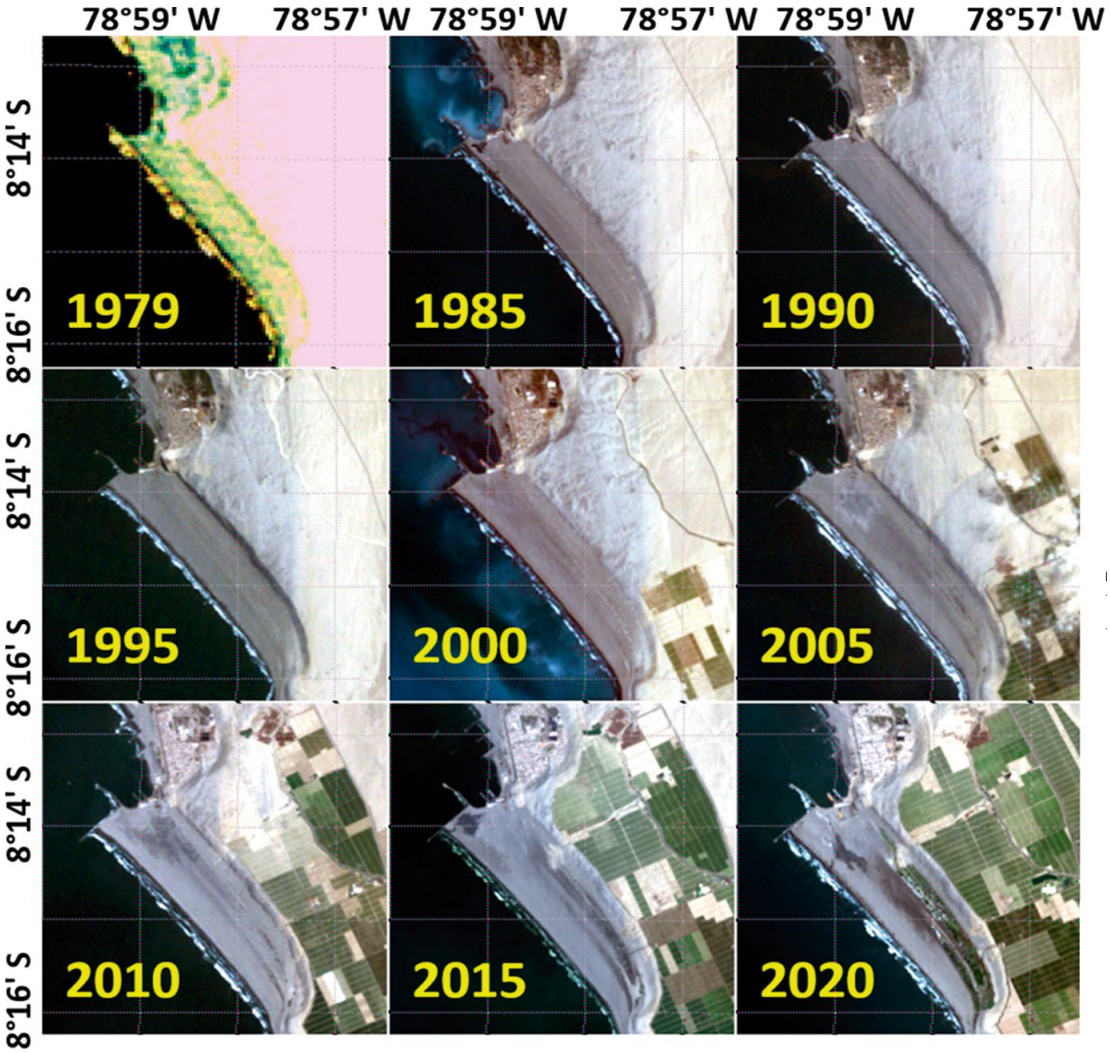


Figura 6.- Imágenes RGB de la serie Landsat, 1979 - 2020

**Intervalo de umbral del NDWI**

Los intervalos de umbral del NDWI estimados, se muestran en la Tabla 4, los que varían desde -0,040 hasta 0,097. Es preciso mencionar, que al procesar la imagen del año 1979 se obtuvo un umbral entre 0,641 y 0,695, el que difiere de los demás, debido a que el sensor MSS/Landsat-2 tenía un rango de longitud de onda más amplio. Con estos intervalos, se realizó la detección de cuerpos de arena y agua.

## Estimación del área y volumen

El área de arena retenida fue estimada mediante el proceso de enmascaramiento de NDWI (Fig. 7a), que muestra el incremento del área representado desde rojo (1979) hasta negro (2020). Se estimó que la tasa de crecimiento fue de 0,429 km$^2$ cada 5 años; la relación entre el área de crecimiento y el tiempo fue lineal con un $R^2$ = 0,975. En el 2020, el área alcanzó a 3.434 km$^2$, lo que representa el tamaño equivalente al distrito de Surquillo de la ciudad de Lima (Fig. 7b).

La tasa de crecimiento de volumen calculada fue de 1,141 x 10$^6$ km$^3$ cada 5 años, alcanzando un volumen total acumulado de 9.129 x 10$^6$ m$^3$ hasta el 2020. Se encontró que la relación del incremento del volumen con los años es una regresión lineal con $R^2$ = 0,978 (Fig. 7c). Si consideramos que el peso promedio de 1 m$^3$ de arena corresponde a 1,5 tonelada, el total de arena retenida sería de 13.693 millones de toneladas para el periodo de estudio.

Tabla 4.- Intervalos de umbral de cada imagen

| Fecha de imagen | Intervalos de umbral |
|---|---|
| 1979-02-21 | 0,641 < NDWI < 0,695 |
| 1985-01-24 | 0,030 < NDWI < 0,097 |
| 1990-04-28 | 0,030 < NDWI < 0,097 |
| 1995-05-28 | 0,030 < NDWI < 0,097 |
| 2000-12-27 | 0,030 < NDWI < 0,097 |
| 2005-06-24 | 0,001 < NDWI < 0,091 |
| 2010-02-14 | 0,001 < NDWI < 0,091 |
| 2015-01-27 | -0,040 < NDWI < 0,095 |
| 2020-03-13 | -0,040 < NDWI < 0,095 |

## Variación de línea de costa

La variación de la línea de costa fue estimada a partir de la máscara del área (Fig. 8a), se estimó que el total de desplazamiento de la línea de costa fue de 607,405 m para este periodo de estudio (1979-2020), con un promedio de 75,926 m cada 5 años, el menor desplazamiento (44,055 m) se presentó en el 1995, mientras que el máximo desplazamiento (162,291 m) ocurrió en el 2020. Se estimó que la relación entre desplazamiento y tiempo fue lineal con un $R^2$ de 0,964 (Fig. 8b).

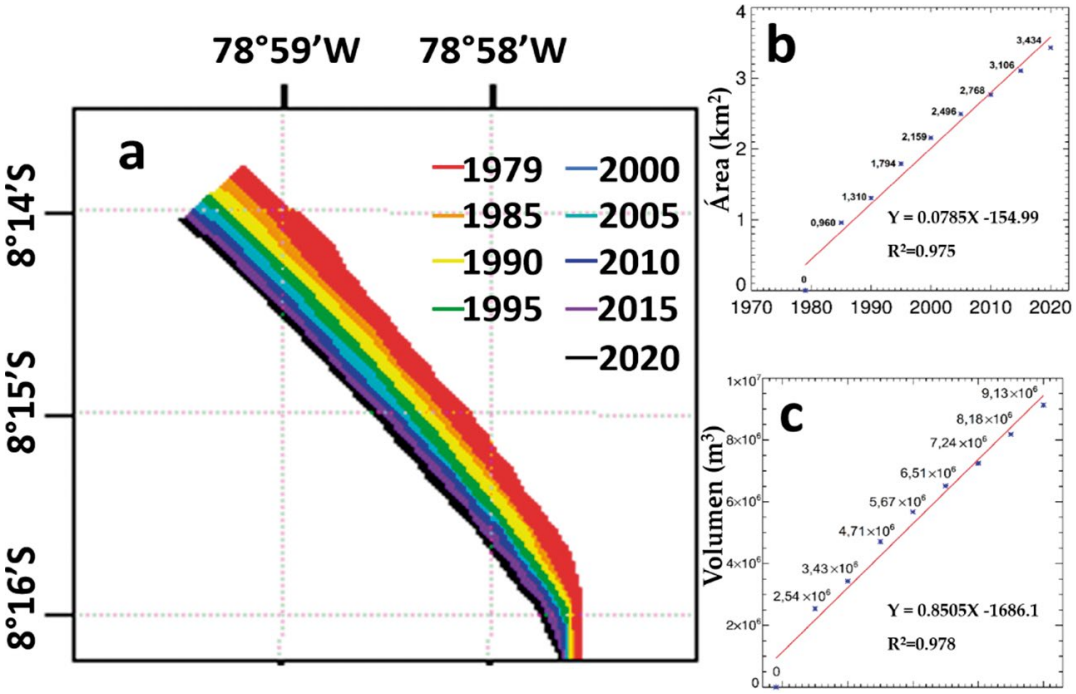


Figura 7.- Estimación del área y volumen de arena, periodo 1979-2020

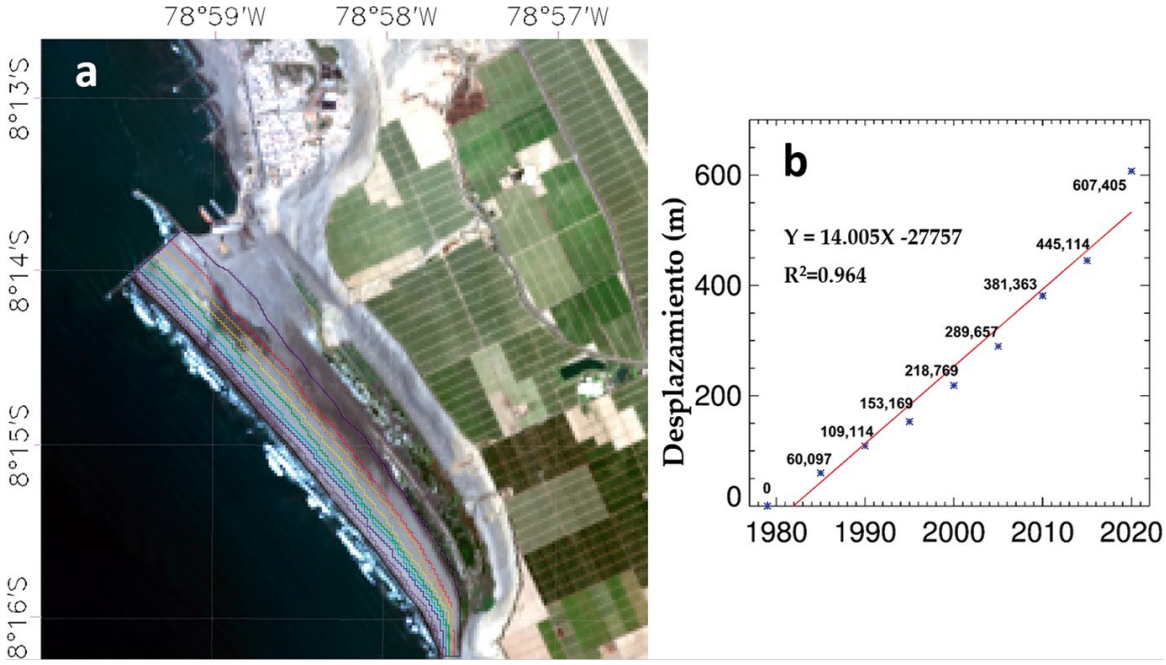


Figura 8.- Variación de la línea de costa, periodo 1979-2020

## 4. DISCUSIÓN

En este trabajo, se consideró utilizar una imagen de satélite cada cinco años debido principalmente a factores como la disponibilidad de información y la cobertura nubosa, además que con esta frecuencia es posible observar la variación de la línea de costa.

Los resultados obtenidos han mostrado alta consistencia de los datos de la serie de Landsat para poder detectar los cambios quinquenales de la línea de costa. Las pruebas de normalidad y homocedasticidad para el cálculo de volumen muestran ligera diferencia de la varianza de los errores estocásticos con p = 0,034 (Tabla 5), se obtuvo un mayor sesgo al considerar la imagen del sensor MSS del 1979, al efectuar un recalculo si consideramos ese año, se obtuvo nuevos valores de p= 0,208 (dentro de paréntesis en la Tabla 5) lo que implica mejor consistencia de los datos.

En la imagen del satélite Sentinel-2 del 2 de diciembre 2022 (Fig. 9) se pudo observar las firmas espectrales de diverso tipo de suelo, como vegetación, arenas tipo I, II y III; lo cual implicaría realizar mediciones *in situ* para validar esta información.

El desplazamiento calculado en este trabajo es comparable con las mediciones realizadas por Sarazu *et al*. (2019), teniendo en cuenta que solo resta 30% de la longitud total del retenedor, es posible que se mantenga con una misma tasa de crecimiento en los años siguientes.

En el 2022, Guzmán Contreras calculó la tasa anual de 15,1 m de sedimentación o acreción del perfil de costa en el área de estudio, usando los datos del satélite Landsat desde 1985, este resultado se asemeja con la tasa estimada en este trabajo (75,926 m por 5 años).

Tabla 5.- Pruebas de normalidad y homocedasticidad de los resultados

| | Normalidad de los residuos (Shapiro-wilk test) | | Homocedasticidad (studentized Breusch-Pagan test) | |
|---|---|---|---|---|
| Área | W = 0,900 | p = 0,252 | BP = 3,701 | p = 0,054 (0,340) |
| Volumen | W = 0,913 | p = 0,340 | BP = 4,482 | p = 0,034 (0,208) |
| Desplazamiento | W = 0,859 | p = 0,094 | BP = 1,239 | p = 0,266 (0,269) |

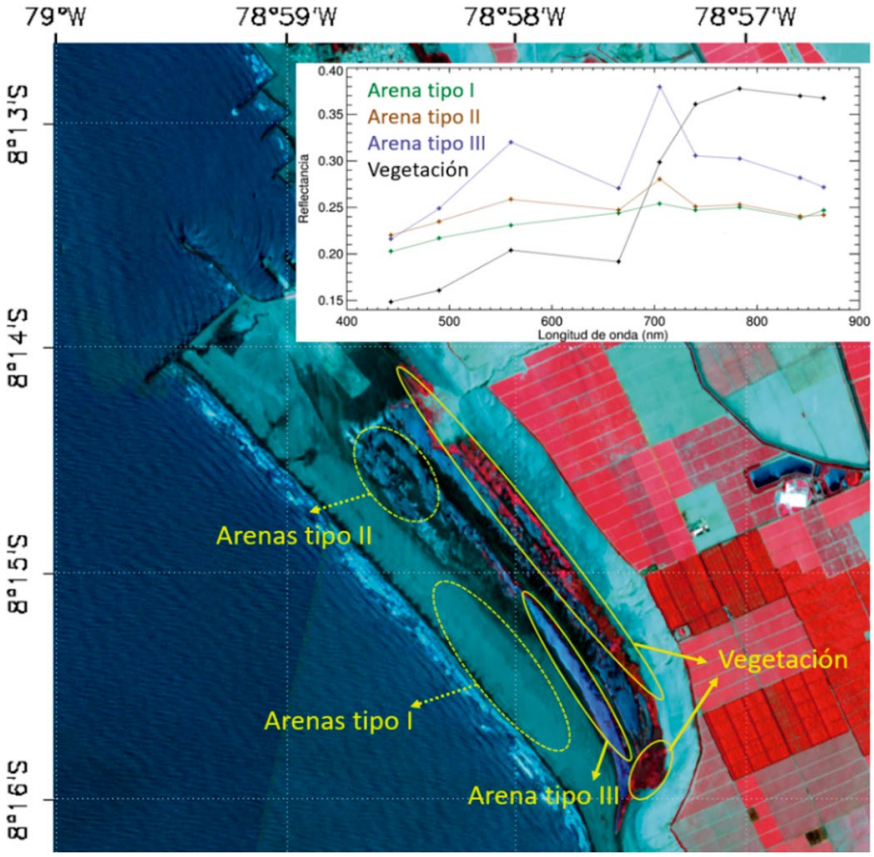


Figura 9.- Combinación RGB (bandas 8, 4 y 2) del Sentinel-2, 2 de diciembre 2022

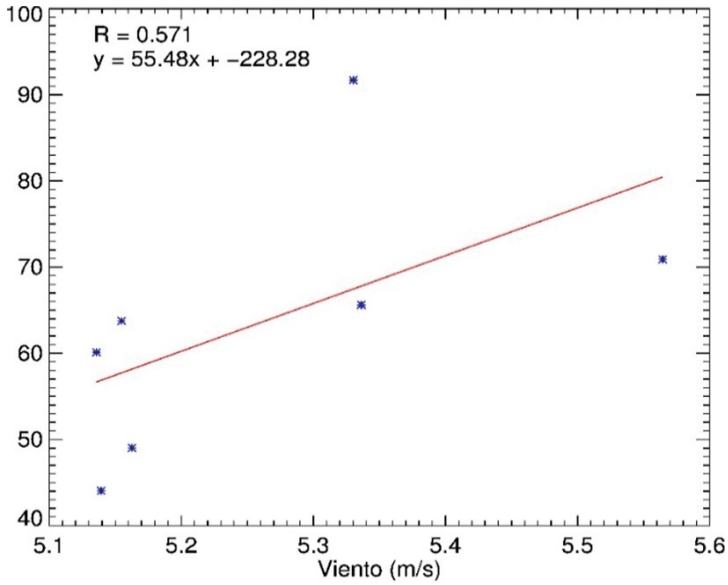


Figura 10.- Desplazamiento vs intensidad del viento

Se observó que la relación entre el desplazamiento de la línea de costa y el valor promedio del viento cada cinco años (Fig. 10), estima un coeficiente de correlación R = 0,571, lo cual muestra que, a mayor intensidad de viento, existe mayor desplazamiento de la línea de costa.

## 5. CONCLUSIONES

Se logró detectar el cambio espacial de áreas generados por el retenedor usando la serie de imágenes Landsat durante el periodo de estudio.

Las condiciones oceanográficas frente al área de estudio muestran características de fluctuaciones periódicas, donde la TSM varía de 14,23 °C a 26,79 °C y el viento superficial de 1,92 m $s^{-1}$ a 7,17 m $s^{-1}$, con predominio de dirección noroeste.

Las imágenes RGB de Landsat permiten observar el desarrollo del proceso de arenamiento en la línea costera.

La línea de costa extendida alcanzó 607,405 m hasta el 2020, la tasa de crecimiento fue de 75,926 m cada 5 años.

Se calculó un total del área de arenamiento de 3,434 $km^2$ y se estimó un volumen total acumulado de 9,129 x $10^6$ $m^3$.

De la relación entre el desplazamiento de la línea de costa y el valor promedio de intensidad de viento, se observó que, a mayor intensidad del viento, el desplazamiento de la línea de costa es mayor.

Se recomienda tomar información *in situ* de diversas variables como altura del mar, corrientes, batimetría, nivel promedio del mar, firma espectral para la identificación de distintos cuerpos dentro del área de estudio con el fin de optimizar el cálculo de área y volumen de arenas retenidas.

## 6. REFERENCIAS


Alonso Villalobos, C., Gracia Prieto, F. J. & Benavente González, J. (2009). Evolución histórica de la línea de costa en el sector meridional de la bahía de Cádiz. *Revista Atlántica-Mediterránea de Prehistoria y Arqueología Social*, 11, 13-37. http://hdl.handle.net/10498/10243

Bocanegra García, C. A., Veneros Urbina, B. & Culquichicón Malpica, Z. (2020). Impactos ambientales en la tira litoral de la costa por acción antrópica en la ciudad de Trujillo, Perú. *Enfoque UTE*, 12(1), 59-73. https://doi.org/10.29019/enfoqueute.655

El Kafrawy, S. B., Basiouny, M. E., Ghanem, E. A. & Taha, A. S. (2017). Performance evaluation of shoreline extraction methods based on remote sensing data. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International, 11*(4), 1-18. https://doi.org/10.9734/JGEESI/2017/36233

Guzmán Contreras, F. M. (2022). *Modelamiento numérico de la evolución de la línea de costa en los distritos de Salaverry, Moche, Víctor Larco Herrera y Huanchaco, Trujillo* [Tesis de Licenciatura]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Jones, B. M., Arp, C. D., Jorgenson, M. T., Hinkel, K. M, Schmutz, J. A. & Flint P. L. (2009). Increase in the rate uniformity of coastline erosion in Artic Alaska. *Geophysical Research Letters, 36*(3), L03503. https://doi.org/10.1029/2008GL036205

Leon, J. & Correa, C. T. (2006). Quantification of Shoreline Change in Salaverry, Perú. *Journal of Coastal Research*, 39, 1013-1016. https://www.jstor.org/stable/25741732

Li, W., & P. Gong. (2016). Continuous Monitoring of Coastline Dynamics in Western Florida with a 30-Year Time Series of Landsat Imagery. *Remote Sensing of Environment* 179:196–209. https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.03.031

McFeeters, S. K. (1996). The Use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the Delineation of Open Water Features. *International Journal of Remote Sensing, 17*(7), 1425-1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714

Morton, R. A. & Speed, F. M. (1998). Evaluation of Shorelines and Legal Boundaries Controlled by Water Levels on Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research, 14*(4), 1373-1384. https://www.jstor.org/stable/4298899

Pardo Pascual, J. E., Ruiz Fernández, L. A., Almonacid, J. & Calaf, X. (2008). Detección Automática de Cambios en la Línea de Costa a partir de Imágenes de Satélite de Resolución Media. En *IX Congreso Internacional de Ingeniería Geomática y Topográfica* (pp. 1-10). TOP-CART. https://cgat.webs.upv.es/BigFiles/114-Pardo%20Pascual.pdf

Santa María Jiménez, B. C. (2020). *Concesión del Puerto Salaverry y el impacto socioeconómico en las empresas agroindustriales de la región La Libertad-2019* [Tesis de doctorado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio Digital Institucional UCV. https://hdl.handle.net/20.500.12692/45827

Sarazu, J., Guzman, F., Choque, E., Ramos, C. & Guzman, E. (2019). Estudio y Evaluación de Alternativas de Solución: Recuperación Costera en Salaverry. *Bitácora Hidrográfica,* (21), 20-24. http://hdl.handle.net/1834/42270

Wicaksono, A., Wicaksono, P., Khakhim, N., Farda, N. M. & Marfai, M. A. (2019). Semi-automatic Shoreline Extraction using Water Index Transformation on Landsat 8 OLI Imagery in Jepara Regency. In Y. Setiawan, L. B. Prasetyo, T. D. Pham, K. D. Kanniah, Y. Murayama, K. Arai, G. J. P. Perez (Eds.), *Sixth International Symposium on LAPAN-IPB Satellite* (Vol. 11372I, pp. 1-10). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.2540967