

El Niño Costero y su impacto en la Erosión costera del Balneario Toril de Paita – 2024

Ryan A LEÓN LEÓN
Universidad Cesar Vallejo
Perú

Martin A RENTERÍA DÁVILA
AT Biotec
Perú

RESUMEN: Esta investigación tiene como propósito analizar la erosión costera de la playa o Balneario Toril de Paita después de los fenómenos del Niño Costero en Paita, Piura, Perú. El enfoque de la investigación es exploratorio y descriptivo, utilizando datos históricos y análisis de eventos pasados mediante fotografías satelitales de Google Earth Pro. La ecuación muestra una relación lineal entre la erosión costera y el tiempo en años, expresada como $y = 616.76x - 1E+06$, con un $R^2 = 0.9222$, lo que sugiere que aproximadamente el 92.22% de la variabilidad en la cantidad de erosión costera puede explicarse por la variable independiente, que es el tiempo (años). Se dispone de fotografías satelitales de Google Earth Pro desde el año 2005 hasta el 2019, y se analizan seis eventos significativos del fenómeno del Niño Costero, que incluyen intensas lluvias que arrastran sedimentos de arcilla desde los cerros hacia la playa, siendo este uno de los factores principales que contribuyen a la erosión costera. Cabe mencionar que todas las playas del mundo enfrentan problemas de erosión debido a múltiples factores.

Palabras Claves: Sedimentos, Niño costero, erosión costera.

El Niño Costero and its impact on coastal erosion in the Toril Beach Resort in Paita – 2024

ABSTRACT: The purpose of this research is to analyze the coastal erosion of the beach or Balneario Toril de Paita after the coastal child phenomena in Paita, Piura, Peru. The research is treated in an exploratory and descriptive way, working with historical data and analysis of past events using Google Earth Pro satellite photographs. The equation shows a linear relationship between coastal erosion and time in years $y = 616.76 - 1E+06$ and $anR^2 = 0.9222$ suggesting that approximately 98.62% of the variability in the amount of coastal erosion can be explained by the independent variable, which is time (years). There are satellite photos from Google Earth Pro from 2005 to 2019, where 6 final events of the coastal El Niño phenomenon are analyzed, with intense rains that carry clay sediments from the hills to the beach, being the main factor that causes coastal erosion. All the beaches of the world have this erosion problem due to multiple factors.

Keywords: Sediments, coastal Niño, coastal erosion.

1. INTRODUCCIÓN

El término 'El Niño costero' describe una situación específica en la que las aguas del mar frente a Perú presentan un aumento de temperatura, independientemente de lo que ocurra con el fenómeno ENOS ('El Niño-Oscilación Sur') [1]. Los efectos del 'El Niño costero' pueden ser localizados y tener impactos significativos en la zona costera de Perú, mientras que el 'El Niño global' tiene un alcance más amplio y puede afectar a distintas regiones del mundo [2]. La predicción anticipada del fenómeno del "El Niño costero" es de alrededor de 6 a 8 meses antes de que

se manifieste [3]. En la zona frente a Paita, en el océano, se registraron diferencias inusuales en la temperatura del agua en la superficie durante el mes de febrero. Estas diferencias alcanzaron sus niveles más altos, siendo de aproximadamente 5,4 °C en una zona específica (ZC) y de 5,0 °C en otra zona (ZO), lo que significa que el agua en esas áreas estaba mucho más cálida de lo normal para esa época del año [4]. La expansión apresurada de ciudades contemporáneas desafía la investigación sobre la construcción social del riesgo en entornos urbanos. La erosión costera implica la pérdida de tierra en las zonas litorales debido a causas naturales o humanas.

Este desafío global se agrava por la ubicación de asentamientos humanos, inversiones y espacios públicos en estas áreas [5]. Las consecuencias incluyen la reducción de zonas urbanas, la alteración de ciudades y la costosa protección contra la erosión, lo que amenaza la infraestructura y el suelo costero [6]. Las actividades humanas, como la construcción de presas y rompeolas, han desempeñado un papel fundamental en la transformación de la línea costera y en la degradación del entorno natural que subyace al riesgo de erosión en las décadas recientes [7].

Durante las últimas décadas, se ha observado y vigilado el impacto de la erosión costera en todas las costas globales. Las transformaciones en las playas, especialmente aquellas que ocasionan consecuencias ambientales y económicas adversas, han despertado un creciente interés en estas áreas y estimulado la realización de investigaciones sobre sus fluctuaciones [8]. Hay factores económicos y sociales que indican los desafíos que enfrenta la comunidad que vive cerca de la costa debido a los efectos de la erosión costera en su calidad de vida. Globalmente, la erosión costera ha aumentado debido al crecimiento turístico y la ocupación costera, además de la intensificación por el cambio climático [9]. Las costas son entornos cambiantes y dinámicos debido a procesos complejos, incluyendo variaciones estacionales y efectos a gran escala como tormentas, tsunamis, nivel del mar y sedimentos fluviales. Esta investigación radica en la necesidad urgente de comprender y abordar el impacto del fenómeno del Niño Costero en la erosión costera del balneario Toril de Paita [10].

Dada la creciente amenaza que representa para el ecosistema costero y la comunidad local, es crucial obtener un conocimiento profundo de los procesos involucrados en la erosión y sus efectos. Mediante esta investigación, se busca proporcionar información precisa sobre cómo el Niño Costero afecta la zona y sus implicaciones para la biodiversidad marina, la infraestructura costera y la economía local. El objetivo general es determinar de qué manera el Niño Costero impacta en la Erosión costera del Balneario Toril de Paita en 2024, con objetivos específicos que incluyen dar un diagnóstico de cómo está el Balneario Toril de Paita y trabajar con fotos satelitales en retrospectiva.

2. METODOLOGÍA

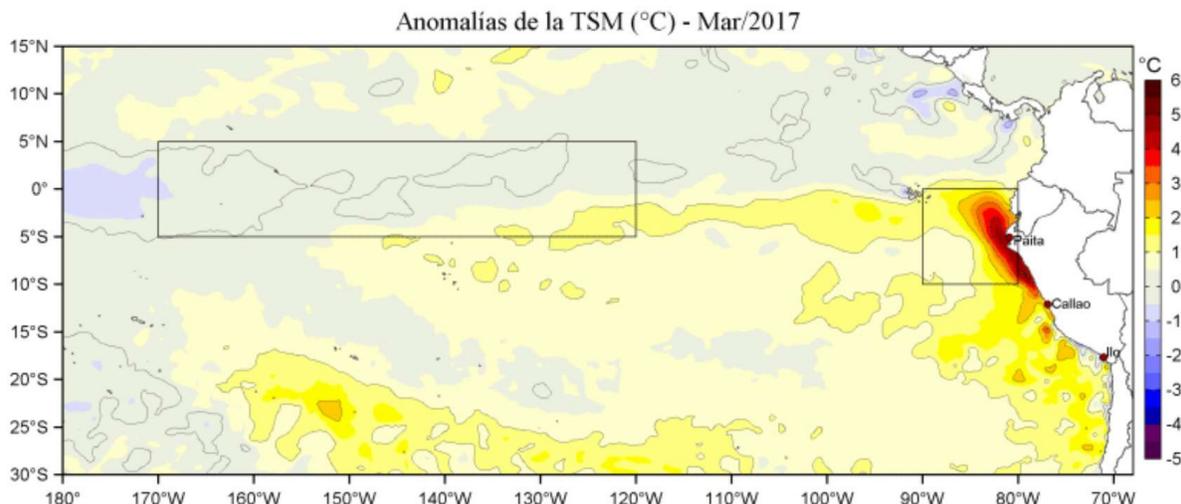


Figura 1: Anomalia de la TSM de marzo 2017. Fuente: LHFM/AFIOF/DGIOCC/IMARPE

Entre enero de 2017 y noviembre de 2018, se registraron variaciones en la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico tropical, específicamente en las regiones Niño 3.4 y Niño 1+2. La región Niño 3.4 se encuentra entre los 5°N y 5°S, y entre 170°W y 120°W, mientras que la región Niño 1+2 se extiende desde el Ecuador hasta los 10°S, y entre 90°W y 80°W, correspondiendo a los sectores central y oriental del Pacífico [11]. En este periodo, el aumento de la TSM fue especialmente notable en las costas de Perú y Ecuador, lo que explica por qué

el fenómeno del Niño costero afecta principalmente a estos países. Durante el verano 2016-2017, se observó un incremento significativo en la TSM y su Anomalia (ATSM) en la región Niño 1+2. En diciembre de 2016, la TSM promedió 23,35 °C (+0,53 °C), y en enero de 2017, alcanzó 25,75 °C (+1,23 °C). En el muelle de Paíta, los valores medios de la TSM fueron de 27,71 °C (+4,71 °C) en febrero y 28,06 °C (+5,26 °C) en marzo de 2017, mostrando un aumento considerable respecto a los valores previos [12].

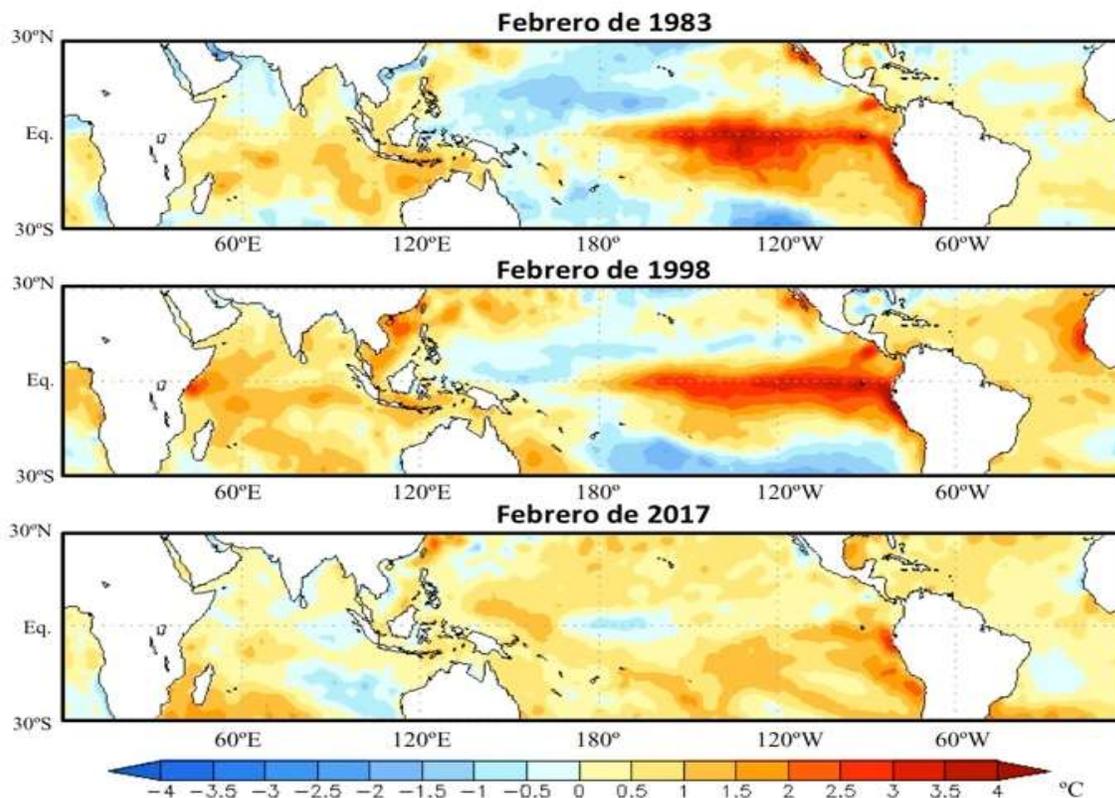


Figura 2: Mapas de fenómeno del niño costero del mes de marzo de los años 1983, 1998 y 2017. Fuente: IMARPE

En la Figura 2. Podemos ver que todos los fenómenos del niño costero no siempre son iguales, algunas veces tienen mayor fuerza y otras veces menor, generando que el impacto en la fauna marina, en las lluvias, vientos y oleaje tengan diferentes intensidades. Se observa que en febrero del año 1983 y 1998 las anomalías de temperatura llegaron hasta Cálida Fuerte en la región Niño 1+2 y en las áreas como Niño 3.4. A diferencia de febrero del 2017 la anomalía de temperatura llegó hasta Cálida Fuerte solo en la región Niño 1+2 según los colores vistos en la tabla 1.

Tabla 1: Categorías de las anomalías de la temperatura

Categorías
Fría Fuerte
Fría Moderada
Fría Débil
Neutras
Cálida Débil
Cálida Moderada
Cálida Fuerte
Cálida Extraordinaria

En la tabla 1 tenemos una serie de colores para categorizar el fenómeno del niño costero. La categoría de "Condiciones Frías" tiene intensidades de "Débil", "Moderada", y "Fuerte". Así mismo tiene "Condiciones Cálidas" teniendo las intensidades de "Débil", "Moderada", "Fuerte" y "Extraordinaria"[13].

Tabla 2: El Niño Costero.

Año inicial	Mes inicial	Año final	Mes final	Duración	Magnitud
2006	8	2007	1	6	Débil
2008	3	2008	9	7	Débil
2009	5	2009	9	5	Débil
2012	3	2012	7	5	Débil
2014	5	2014	11	7	Débil
2015	4	2016	7	16	Fuerte
2016	12	2017	5	6	Moderado
2018	11	2019	3	5	Débil

Fuente: ENFEN

En la tabla 2, se han colocado los eventos de los fenómenos del niño costero desde el año 2006 hasta el 2019. Siendo estos los datos usados para el estudio de la erosión costera de la presente investigación. También son los datos con los que contamos en las fotos satelitales del Balneario Toril de Paita usando el Google Earth Pro.

Riesgos Costeros en Paita:

En áreas de la Costa norte del Perú (Piura y Tumbes) el terreno está compuesto por vertisoles, suelos arcillosos genuinos que muestran grietas en ciertas estaciones del año o caras de deslizamiento ("slickensides") dentro de la capa superficial del perfil del suelo, el material parental está compuesto por sedimentos con una alta proporción de arcillas esmectitas, o por productos de la alteración de rocas que las generan. Estos suelos minerales se caracterizan por su alto contenido de arcillas hinchables del tipo 2:1, como la montmorillonita (con un contenido superior al 30%).

El distrito de Paita se encuentra a 24 km al suroeste de la desembocadura del río Chira, lo que lo protege de los eventos extraordinarios como el Niño Costero, que alteran el flujo del río. Durante el fenómeno del Niño Costero, que provoca precipitaciones extremas en la Costa Norte del Perú, estas quebradas se activan, poniendo en riesgo la seguridad de Paita Baja, incluyendo calles como Jr. Zanjón, Jr. Meléndez, Jr. Colán y Jr. Inclán, el sector de San Martín Occidente, el colegio San Francisco y la Plaza Mayor, antes de desembocar en el Océano Pacífico.

De acuerdo con el Informe Técnico N°032-2021/IGP Ciencias de la tierra sólida, donde se mencionan las características geodinámicas en el distrito de Paita, debido al conjunto montañoso, formado por vertisoles, que se alza en el sector antes mencionado se incrementa la activación de flujo de lodos, los cuales afectan directamente la seguridad física de la zona céntrica de la ciudad como se puede observar en la figura 3.

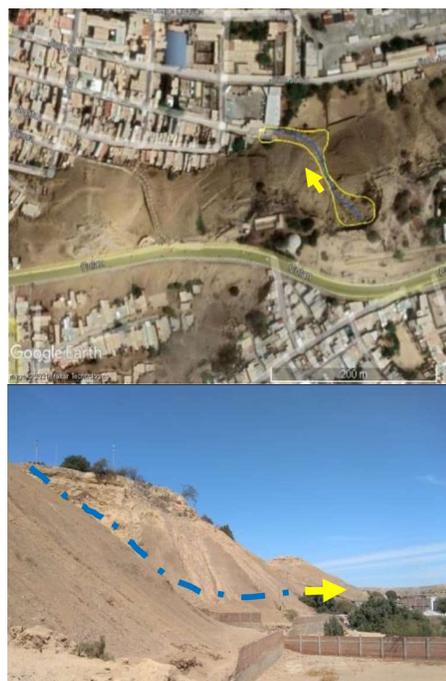


Figura 3: Fotografía panorámica (Izquierda) de la zona de activación de flujos de lodos, Imagen derecha, se muestra el perfil de la quebrada. La flecha de color amarillo indica la dirección del flujo. Fuente: IGP

Los deslizamientos y activaciones de quebradas representan una amenaza significativa para los patrones de sedimentación costera, lo que puede desencadenar consecuencias adversas para el litoral y los ecosistemas marinos asociados. Estos eventos pueden desencadenar la liberación masiva de sedimentos, que son transportados hacia el mar y depositados en la zona costera. Esta acumulación altera la topografía submarina y puede generar la formación de bancos de arena o promontorios, afectando la circulación de corrientes y olas. Como resultado, la energía de las olas se redistribuye de manera desigual, lo que puede provocar la erosión o la acumulación de sedimentos en ciertas áreas costeras.

La acumulación excesiva de sedimentos puede disminuir la capacidad de absorción de energía de las olas por parte de la costa, lo que la hace más vulnerable a la erosión costera. La

cantidad de tierra erosionada está relacionada con la energía de las olas y la resistencia del suelo a la erosión.

La energía cinética de una ola se calcula utilizando la fórmula 1:

$$E_c = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (1)$$

Donde:

- Ec: energía cinética de la ola (J/m²).
- ρ: densidad del agua de mar (kg/m³)
- g: aceleración de la gravedad (9.81 m/s²).
- H: altura significativa de la ola (m).

Para el cálculo de la energía de las olas debemos tener en cuenta la densidad del agua de mar en el Perú, por lo cual, para su cálculo interviene tres factores: temperatura, salinidad y presión atmosférica. La salinidad del mar peruano presenta concentraciones de 33,2 a 35,6 UPS en verano, y de 33,8 a 35,4 UPS en invierno. Debido a que los eventos del niño costero se manifiestan entre diciembre y mayo, temporada de verano en el Perú, se tomara en cuenta una media de 34,4 UPS para el cálculo. La densidad del agua varía de acuerdo con la temperatura promedio superficial del mar, en la temporada de verano, el mar peruano alcanza una temperatura media de 28 °C según [14]. La presión atmosférica se puede determinar cómo 1atm a nivel del mar.

Por lo tanto, de acuerdo con el Instruction Manual for Oceanographic Observations [15], la densidad del agua de mar se puede aproximar haciendo uso de la figura 4 y de las características antes mencionadas:

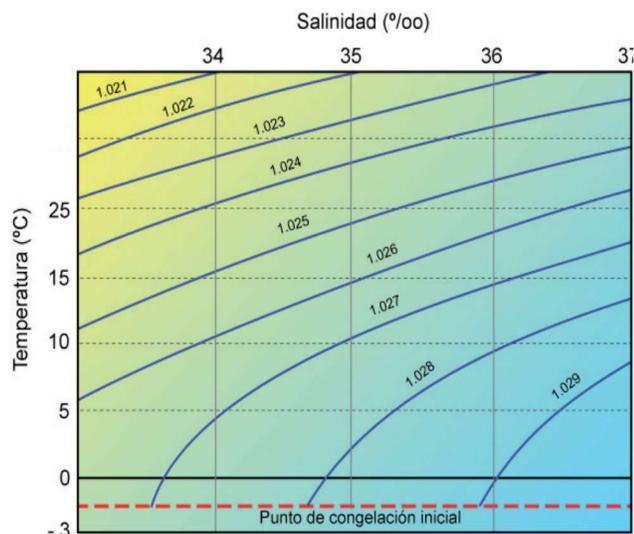


Figura 4: Variaciones de densidad (kg/m³) del agua de mar en función de la temperatura y salinidad.

Por lo tanto, para el cálculo de la energía de las olas se usará una densidad del agua de mar aproximada de 1023,00 Kg/m³ en la costa norte del Perú. Además, para realizar un comparativo entre la energía resultante se evaluará esta última en dos escenarios, utilizando el oleaje mínimo y máximo durante un oleaje normal y utilizando el oleaje mínimo y máximo durante un oleaje anómalo.

De acuerdo con la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú, se obtiene la tabla 3, donde se visualiza la relación de altura de las olas y los meses del año comprendidos entre diciembre del 2016 y mayo del 2017.

Tabla 3: Relación de altura de las olas y meses

Año	Mes	Altura del Oleaje mínimo (m)	Altura del Oleaje máximo (m)
2016	Dic	1.5	1.6
2017	Ene	1.0	1.2
	Feb	1.6	1.8
	Mar	1.4	2.0
	Abr	1.7	2.0
	May	1.8	2.2

Fuente: DIHIDRONAV

Como se puede visualizar en la tabla 3 el mayor oleaje se presentó en el mes de mayo, por lo tanto, en la aplicación de la fórmula 1 para el cálculo de la energía cinética de las olas se utilizará un promedio de la altura del oleaje, donde se obtiene:

$$E_c = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2)$$

$$E_c = \frac{1}{8} (1022,89)(9,81)(2)^2 \quad (3)$$

$$E_c = 5,01 \text{ kJ/m}^2 \quad (4)$$

La fuerza por distancia ejercida por una ola sobre una estructura costera es proporcional a la energía cinética y al área de impacto. Por lo tanto, la resistencia a la fuerza de impacto (Ra) es:

$$R_d = E_c * A \quad (5)$$

Donde:

- Ec: energía cinética de la ola (J/m²).
- A es el área de impacto de la ola sobre la costa.

Aplicando la energía cinética de la ola en un área mínima de 1 m², valor establecido únicamente para el cálculo y utilizando la fórmula 6, se puede determinar que el terreno tiene una resistencia a la fuerza de impacto de:

$$R_d = E_c * A \quad (6)$$

$$R_d = 5,01 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} * 1\text{m}^2 \quad (7)$$

$$R_d = 5,01 \text{ kJ} \quad (8)$$

Por lo tanto, la resistencia a la fuerza de impacto del litoral costero que este debe soportar es de 5,01 kilo-Joules. De acuerdo con el análisis realizado en el manual de diseño geotécnico [16], se establece la capacidad de diversos tipos de terreno para resistir la fuerza de impacto, como se muestra en la tabla 4:

Tabla 4: Resistencia a la Fuerza de Impacto por tipo de suelo

Tipo de Suelo	Resistencia a la Fuerza de Impacto (Kilo Joules)
Arcilla compacta	4.15 - 4.4
Arena compacta	7.2 - 7.6
Suelo vegetal	2.05 - 2.15
Roca sólida	10+
Suelo arenoso	5.1 - 5.3
Suelo limoso	3.05 - 3.2

Fuente: Manual de diseño geotécnico

Reconociendo que el terreno del litoral costero contiene una acumulación excesiva de sedimentos por los deslizamientos y activaciones de quebradas, se puede determinar que la fuerza ejercida por las olas es mayor a la soportada por un terreno compuesto por arenas y arcillas, valores de entre 3,05 a 3,2 kilojoules, por lo cual se confirma la erosión costera.

Área de estudio

La zona de investigación está en la costa de la bahía de Paita, a 5 metros de altura sobre el nivel del mar, conocido como la playa el Toril de Paita, en las coordenadas 5° 5'6.09"S y 81° 6'38.13"O. Tiene un área de aproximadamente 43,041.44 metros cuadrados y está en el departamento de Piura, en la provincia y distrito de Paita, Perú. Podemos ver la Figura 5.



Figura 5: Área de estudio, Toril de Paita, Año: 10/2003, Área: 43041.44 m²

En este estudio, se utilizaron imágenes satelitales de Google Earth Pro de años anteriores para analizar los períodos que más coinciden con los fenómenos del niño costero. Además, se elaboró una gráfica de regresión lineal para examinar el aumento del área debido a la erosión costera.

3. RESULTADOS



Figura 6: Área inicial de medición. Año: 10/2003. Área: 11818.96 m²

En la Figura 6 se destaca la línea costera, marcando el límite entre la tierra y el mar. Esta línea proporciona el punto de referencia crucial para delimitar el área de estudio y comprender dónde comienza el agua.

Además, se traza una línea imaginaria para definir el área inicial del mar que se medirá para calcular la erosión. Esta línea ayuda a establecer el límite dentro del cual se llevarán a cabo las mediciones pertinentes, proporcionando un marco claro para el análisis.



Figura 7: Área erosionada al año 2005. Año: 04/2005. Área: 14323.99 m²

En la figura 7, muestra el año 2005, la playa El Toril mostraba una línea costera estable y una extensión considerable de terreno frente al mar. No se observaban signos evidentes de erosión significativa en esta área durante este período. La erosión costera al 04/2005 tiene un área de 14,323.99 m².



Figura 8: Área erosionada al año 2007. Año: 08/2007. Área: 16100.29 m²

En la figura 8, se puede visualizar que, al finalizar el fenómeno del niño costero el 01/2007 se realiza la medición el 08/2007 teniendo área erosionada de 16,100.29 m², para el año 2007, la

línea costera comenzó a mostrar signos incipientes de erosión en ciertas áreas específicas de la playa El Toril.

Se notaron pequeños avances del mar y una ligera retracción de la línea costera en comparación con el año anterior.

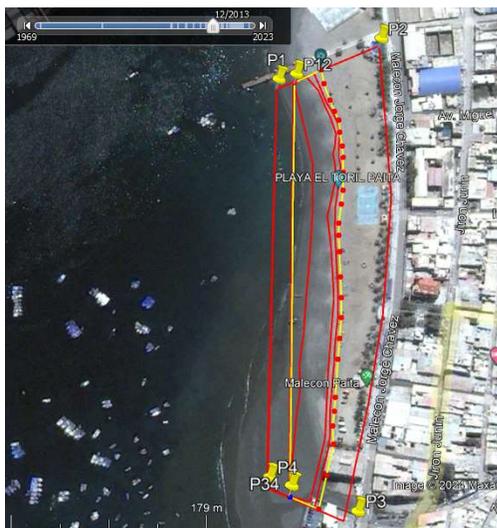


Figura 9: Área erosionada al año 2013. Año: 12/2013. Área: 17521.76 m²

En la figura 9, se puede visualizar los efectos del fenómeno del niño costero que termina el 07/2012; se realiza la medición el 12/2013, teniendo un área erosionada de 17,521.76 m², el año 2013 marcó un aumento en la tasa de erosión en la playa El Toril.

En la figura 10, se observa que al finalizar el fenómeno del niño costero el 11/2014, se realiza la medición el 04/2015 teniendo área erosionada de 19,703.36 m², este año, la erosión continuó avanzando de manera notable en la playa El Toril.



Figura 10: Área erosionada al año 2015. Año: 04/2015. Área: 19703.36 m²

En la figura 11, donde se muestra la erosión ocasionada por el fenómeno del niño costero que termina el 05/2017, y donde se realiza la medición el 12/2017 teniendo área erosionada de 21,396.55 m², se observa que, para este año, la erosión en la

playa El Toril se intensificó aún más. La línea costera experimentó una retracción significativa, evidenciando la magnitud del problema de erosión en esta área.

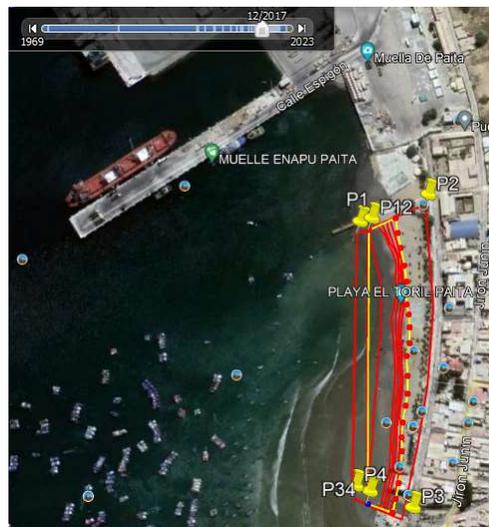


Figura 11: Área erosionada al año 2017. Año: 12/2017. Área: 21396.55 m²

En la figura 12, se realiza la medición el 06/2019 teniendo área erosionada de 24,050.92 m², para este año 2019, la erosión alcanzó su punto máximo en la playa El Toril. Se observaron cambios drásticos en la línea costera, con amplias áreas de terreno costero perdidas frente al avance del mar. La erosión se convirtió en un desafío urgente que requería medidas de mitigación y gestión para proteger esta área vulnerable de la costa.



Figura 12: Área erosionada al año 2019. Año: 06/2019. Área: 24050.92 m²

La figura 13 proporciona un resumen visual de los cambios ocurridos en la playa El Toril durante los años anteriores, desde 2005 hasta 2019. En esta representación, se pueden observar las tendencias generales de erosión a lo largo de este periodo de tiempo.

Se muestra una secuencia temporal que resalta cómo la línea costera ha ido retrocediendo gradualmente año tras año,

evidenciando el progresivo impacto de la erosión en esta área costera específica. Las áreas erosionadas se representan con el color amarillo y rojo, lo que permite identificar claramente las zonas que han sido afectadas por este fenómeno.



Figura 13: Área erosionada total. Año: 06/2019.

Esta imagen resumen ofrece una visión panorámica de la evolución de la erosión en la playa El Toril durante el periodo analizado, ayudando a comprender mejor la magnitud y la dirección de los cambios ocurridos en el paisaje costero.

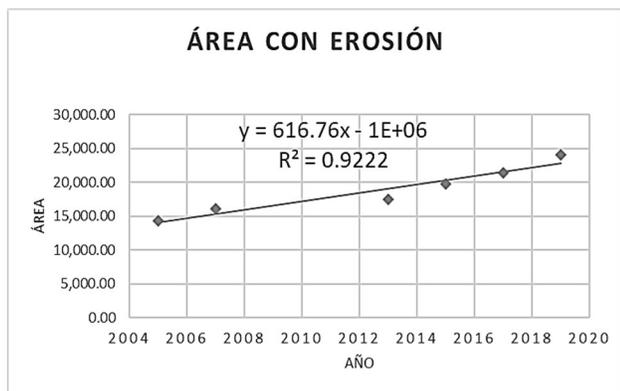


Figura 14: Relación de años y área erosionada.

En la figura 14 tenemos el análisis de regresión lineal revela una asociación estadísticamente significativa entre el tiempo, representado por el año, y el área del mar, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9222$). La pendiente positiva de la ecuación de regresión (616.76) indica un incremento gradual en el área del mar a lo largo del período evaluado. El término negativo $-1E+06$, indica que la erosión ya estaba presente en el año inicial. Los hallazgos indican que, en promedio, el área del mar ha experimentado un crecimiento consistente durante los años considerados. Por ejemplo, de acuerdo con el modelo ajustado, en el año base de 2005, el área estimada del mar fue aproximadamente de (14,323.99) metros cuadrados, aumentando de manera progresiva en los años posteriores. Este patrón ascendente se proyecta a lo largo del período analizado, tal como sugiere la ecuación de regresión. En la Tabla 5 podemos ver como se relaciona los años después del fenómeno del niño costero y la medición de su área erosionada.

Por otro lado, de acuerdo con [17], en relación con la morfogénesis de las zonas costeras, se indica que la alteración de la zona costera se produce cuando hay sedimentos en la arena de la playa. Esto se debe a que las olas y los vientos mantienen en constante movimiento los sedimentos presentes en aguas poco profundas, como en las orillas de las playas. Este movimiento tiene como resultado que exista erosión en las cotas, dando lugar a la formación de nuevas líneas en las costas. Según [18], La composición mineral de ciertos suelos, especialmente aquellos con arcilla, desempeña un papel crucial en su comportamiento.

Podemos determinar que uno de los factores de mayor impacto son las lluvias intensas por el fenómeno del Niño Costero, ya que gracias a estas lluvias los sedimentos de arcilla de los cerros son arrastrados y llevados hasta la playa Toril de Paita, lo cual genera que la arena de la playa sea inestable al sometimiento de las olas y los fuertes vientos, lo cual termina en una playa erosionada respaldada por las investigaciones anteriores y esto lo podemos también observar en los resultados obtenidos de las imágenes satelitales de como la erosión de la playa ha ido aumentando al pasar los años y después de cada fenómeno del niño costero, según el análisis se puede ver en el año 2005 se tenía un área de 14323.99 m² como punto inicial y en el 2019 el Área Erosionada aumenta a 24,050.92 m².

4. DISCUSIONES

En nuestra investigación se ha determinado que la erosión costera en la playa El Toril de Paita ha aumentado con el paso de los años, especialmente después de cada fenómeno del Niño costero. En el año 2005, el área erosionada era de 14,323.99 m², mientras que en 2019 alcanzó los 24,050.92 m², lo que representa una amenaza significativa para los pobladores cercanos a la playa. Comparativamente, el análisis de las costas de Colombia muestra que entre el 1,5 % y el 29,6 % de estas áreas enfrentan una amenaza considerable o alta debido a la erosión costera. Además, alrededor del 53,7 % de las zonas costeras están en un estado de amenaza moderada [19]. Estos resultados subrayan la alta exposición de las costas a fenómenos geofísicos como mareas elevadas, tsunamis y precipitaciones, que tienen un impacto notable en su dinámica. Se observa que la erosión costera se acelera en las playas propensas a cambios dinámicos debido a diversos factores, como la presencia de sedimentos de arcilla, olas, vientos y lluvias intensas.

En la playa El Toril de Paita, la erosión costera está influenciada significativamente por varios factores ambientales y geomorfológicos. Uno de los principales factores identificados en nuestra investigación es la presencia de sedimentos de arcilla. Estos sedimentos, que son arrastrados por las intensas lluvias asociadas con el fenómeno del Niño costero, se trasladan en forma de flujos de lodo desde las quebradas y las calles del centro de la ciudad. Estos flujos finalmente desembocan en la playa, contribuyendo a la aceleración de la erosión costera. Además, el viento juega un papel crucial en la dinámica costera. En nuestra investigación, se observó que el viento no solo contribuye a la erosión, sino también al transporte y la deposición de sedimentos, principalmente arena. En comparación, estudios realizados en playas de Argentina indican que la erosión costera en esas regiones se debe en gran parte a tormentas del sudeste y a obstrucciones en la dinámica sedimentaria, ya sean causadas por actividades humanas o fenómenos naturales. Estos estudios destacan que la acumulación de sedimentos en las playas puede tener un efecto profundo en la dinámica de la erosión costera [20]. Por lo tanto, nuestros hallazgos sugieren que los sedimentos

de arcilla y el viento son factores clave en la erosión costera en la playa El Toril de Paita. Esta información es relevante para entender cómo diferentes elementos interactúan para modificar la dinámica costera y puede ofrecer perspectivas valiosas para la gestión y mitigación de la erosión en esta área específica.

5. CONCLUSIONES

El análisis de los datos desde 2005 hasta 2019 revela un incremento constante en el área erosionada en la playa El Toril. El área pasó de 14,323.99 m² en 2005 a 24,050.92 m² en 2019, indicando una tendencia progresiva y continua de pérdida de terreno costero. Los fenómenos del Niño Costero han tenido un impacto significativo en la aceleración de la erosión, con aumentos notables en el área erosionada tras cada evento, especialmente en los años 2007, 2015 y 2017. Esto sugiere que estos fenómenos climáticos intensifican la erosión costera, exacerbando la pérdida de terreno.

La tasa de erosión ha mostrado una aceleración con el tiempo, como lo indica el incremento en el área erosionada entre los años. Por ejemplo, el área erosionada aumentó en 1,776.30 m² entre 2005 y 2007, y en 2,654.37 m² entre 2017 y 2019. Este patrón de aceleración refleja una retroalimentación positiva en el proceso de erosión, con una pérdida de terreno que se intensifica año con año. El análisis de regresión lineal muestra una fuerte asociación entre el tiempo y el área erosionada, con un coeficiente de determinación (R²) de 0.9222. La pendiente positiva sugiere un incremento constante en la erosión a lo largo del tiempo, mientras que el término negativo indica que la erosión ya estaba presente al inicio del periodo analizado. Además, la composición mineral del suelo y la presencia de sedimentos arcillosos arrastrados por lluvias intensas juegan un papel crucial en la erosión.

Dado el aumento continuo y acelerado de la erosión, es crucial implementar estrategias de gestión costera para mitigar los efectos y proteger el terreno costero.

6. REFERENCIAS

[1] CONTRERAS, Alex, et al. Impacto del Fenómeno de El Niño a la economía peruana. 2017. Disponible: <http://perueconomics.org/wp-content/uploads/2014/01/WP-97.pdf>

[2] VILLANUEVA BENITES, Stephanie. Gestión logística de donaciones de Piura en Acción: Fenómeno Niño Costero 2017. 2018. Disponible: <https://hdl.handle.net/11042/3463>

[3] DONAYRE-SALAZAR, Susan, et al. Especies de Carangidae inusuales durante el Niño costero 2017 en el litoral de Pisco, sur del Perú. Revista peruana de biología, 2022, vol. 29, no 1. doi: 10.15381/RPB.V29I1.21280

[4] MARTÍNEZ GRIMALDO, Alejandra; TAKAHASHI, Ken. ¿El Niño costero o Fenómeno El Niño?. 2017. Disponible: <http://hdl.handle.net/20.500.12816/5101>

[5] MONTERO MENA, Karla Marycruz. Caracterización de ENSO y El Niño costero entre los años 1950-2018 en la región Piura. 2019. Disponible: <https://hdl.handle.net/11042/4202>

[6] QUISPE, Jorge, et al. Efectos de El Niño Costero 2017 en la estructura termohalina y flujos geostróficos frente a la costa norte del Perú. Boletín Instituto del Mar del Perú, 2021, vol. 36, no 2, p. 385-408. doi:

<https://doi.org/10.53554/boletin.v36i2.344>

[7] FERRARI, María Paula. Configuraciones del riesgo de erosión costera: transformaciones territoriales y percepción social en Playa Unión y Playa Magagna (Chubut, Argentina). 2013. Disponible: <https://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/2422>

[8] IZQUIERDO ORREGO, Hernán Pascual. Nivel de la Erosión Costera y su impacto en el comercio en el Balneario de Buenos Aires 2021. 2022. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/83682>

[9] ZAMBRANO-MEDINA, Yedid, et al. Shoreline analysis and erosion risk assessment of a coastal strip subjected to high anthropogenic pressure. Tecnología y Ciencias del Agua, 2022, vol. 13, no 6, p. 249-300. Doi: 10.24850/j-tyca-13-06-06

[10] ALDANA, Pedro Guido, et al. Estudio de la erosión costera en Cancún y la Riviera Maya, México. Avances en recursos hidráulicos, 2009, no 20, p. 41-55. Disponible: <https://www.redalyc.org/pdf/1450/145012818007.pdf>

[11] FERNÁNDEZ, Juan Manuel. Dinámica costera. 2018. Disponible: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/104630>

[12] ALAYO VELASQUEZ, Luis Junior; MARINO GARCÍA, Jorge David. Diseño estructural para la recuperación del balneario de Huanchaco afectado por la erosión costera, Trujillo la Libertad. 2020. Disponible: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/61718>

[13] RAMÍREZ URBINA, Claudia Cecilia. Indicadores de calidad en viviendas post-desastre: caso El Niño Costero 2017, Piura. 2023. Disponible: <https://hdl.handle.net/11042/6040>

[14] Instituto del Mar del Perú. Temperatura superficial del mar” Disponible: https://www.imarpe.gob.pe/imarpe/index2.php?id_seccion=101780301030000000000000

[15] U.S. Naval Oceanographic Office. Instruction Manual for Oceanographic Observations. Washington, D.C, 1975.

[16] Enrique Tamez, Enrique Santoyo, Federico Mooser, Carlos E. Gutierrez, Manual de Diseño Geotécnico, Vol. I. 2020.

[17] Comisión Colombiana del Océano. 2013. El océano maravilla terrestre. <https://cco.gov.co/cco/publicaciones/83-publicaciones/469-el-océano-maravilla-terrestre.html>

[18] Moreno, L., Muñoz-Rosado, M., & Ramírez-Palma, R. 2019. Caracterización mecánica de suelos del perfil costero entre Ancón y Anconcito. Revista Ciencia Unemi, 12(31), 40-53.

[19] Ricaurte-Villota, C., Coca-Domínguez, O., González, M.E., Bejarano-Espinosa, M., Morales, D.F., Correa-Rojas, C., Briceno-Zuluaga, F., Legarda, G.A. y Arteaga, M.E. 2018. Amenaza y vulnerabilidad por erosión costera en Colombia: enfoque regional para la gestión del riesgo. Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras “José Benito Vives De Andrés” –INVEMAR–. Serie de Publicaciones Especiales de INVEMAR # 33. Santa Marta, Colombia. 268 p

[20] E. Adlercreutz- 2018. Dinámica costera. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/104630?show=ful>