



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS

ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA LÍNEA DE COSTA Y  
CARACTERIZACIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA LITORAL:

BAHÍA DE PAITA, PERÚ 1946-2007

Tesis para optar el título de Licenciado en Geografía que presenta el

Bachiller

GUSTAVO ADOLFO RONDÓN RAMIREZ

ASESOR: DR. CARLOS HENRIQUE TAVARES CORRÊA

SAN MIGUEL, 27 DE ENERO DEL 2011

## Agradecimiento

La realización y culminación de este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin el apoyo de varias personas, a las cuales quiero agradecer.

En primer lugar quisiera agradecer a mi asesor de tesis, el Doctor. Carlos Tavares Corrêa, por su valioso apoyo durante todo el proceso de realización de tesis y por la confianza depositada al patrocinar la investigación. Sin sus invaluable consejos y observaciones la tesis no hubiera sido concluida satisfactoriamente.

También quisiera agradecer a la Doctora Katarzyna Goluchowska, quien fue mi profesora durante los tres cursos de tesis. Sus constantes comentarios y sinceras apreciaciones permitieron sacar a flote la vena investigadora que todos los geógrafos debemos tener.

De igual manera, quisiera darle las gracias al Lic. Fernando Leceta, quien motivo en mí el desarrollo del tema de investigación y a pesar de la distancia acompañó su desarrollo. Sus valiosos aportes teóricos y metodológicos espero se vean reflejados en esta tesis.

La realización del trabajo de campo no hubiera sido posible sin el apoyo de dos personas muy importantes en mi vida: la geógrafa Karla Vergara Rodríguez y mi hermano, estudiante de Ingeniería Electrónica, Paulo Cesar Rondón Ramirez. Gracias a ellos por aguantar el duro recorrido por las distintas playas y estar siempre dispuestos a realizar una última medición.

No puedo dejar de mencionar a mis tíos Carlos y Ada, así como a toda su familia allá en Piura, por el apoyo brindado durante mi estadía. Contar con ellos fue fundamental para poder realizar el trabajo de campo de manera satisfactoria.

Finalmente, quisiera agradecer a mis padres, Gustavo y Rosana, por su valioso apoyo durante toda mi etapa de estudiante. Todas las facilidades que ellos me han brindado pueden ser a simple vista pequeñas, pero su apoyo día a día resultó y resulta invaluable para alcanzar mis metas.

## Índice

Índice de figuras.....	V
Índice de tablas.....	VI
Resumen	
<b>I. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>II. Problemática y Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>III. Hipótesis.....</b>	<b>3</b>
<b>IV. Objetivos.....</b>	<b>4</b>
4.1 Objetivo Principal.....	4
4.2 Objetivos Secundarios.....	4
<b>V. Marco Teórico.....</b>	<b>5</b>
5.1 Zona marino-costera, litoral, costa, playa y línea de costa.....	5
5.2 Variación de la línea de costa.....	6
5.3 Procesos geodinámicos costeros .....	7
5.4 Morfología de playa.....	10
5.5 Tipos de rompiente.....	11
5.6 Procesos en acantilados costeros .....	12
5.7 Cambio Climático, Calentamiento Global y Evento El Niño.....	13
5.8 Los SIG en la cuantificación de la variación de la línea de costa...	14
5.9 Estudios geomorfológicos para la adecuada gestión del territorio...	15

<b>VI.</b>	<b>Área de estudio.....</b>	<b>16</b>
	6.1 Características Climáticas.....	16
	6.2 Características Geológicas y Geomorfológicas .....	17
	6.3 Características Socio-Económicas.....	20
<b>VII.</b>	<b>Metodología.....</b>	<b>25</b>
	7.1 Parte Técnica.....	25
	7.2 Análisis Espacial- Temporal.....	26
	7.3 Elaboración de mapa geomorfológico.....	33
<b>VIII.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>35</b>
	8.1 Perfiles de playa.....	35
	8.1.1 Zona de Puerto de Paita.....	35
	8.1.2 Zona Colán – Río Chira.....	37
	8.2 Análisis Cartográfico.....	40
	8.3 Análisis Espacial-Temporal.....	46
	8.4 Unidades Geomorfológicas.....	53
<b>IX.</b>	<b>Discusión.....</b>	<b>55</b>
<b>X.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>59</b>
<b>XI.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>61</b>
<b>XII.</b>	<b>Anexos.....</b>	<b>65</b>



## Índice de Figuras

Figura 1. Componentes de la onda.....	8
Figura 2. Unidades fisiográficas de la playa.....	11
Figura 3. Mapa Geológico de la Bahía de Paita.....	18
Figura 4. Mapa Político Administrativo de la Bahía de Paita.....	20
Figura 5. Tipo de Población.....	21
Figura 6. Mapa de Infraestructura de la Bahía de Paita.....	22
Figura 7. Perfiles de Playa en el Puerto de Paita.....	35
Figura 8. Perfiles de playa Puerto de Paita.....	36
Figura 9. Perfiles de Playa Colán – Río Chira.....	37
Figura 10. Perfil de playa Balneario de Colán 2009.....	38
Figura 11. Perfil de playa sur del Río Chira 2010.....	39
Figura 12. Variación línea de costa en Tierra Colorada.....	40
Figura 13. Variación línea de costa en el Puerto de Paita.....	41
Figura 14. Variación línea de costa en el Puerto de Paita.....	42
Figura 15. Variación línea de costa en acantilados.....	43
Figura 16. Variación línea de costa en el Balneario de Colán.....	44
Figura 17. Variación línea de costa en el sur del Río Chira.....	45
Figura 18. Variación línea de costa en el sur del Río Chira.....	45
Figura 19. Amplitud de desplazamiento (SCE), Bahía de Paita.....	46
Figura 20. Movimiento Neto de la línea de costa (NSM), Bahía de Paita.....	47
Figura 21. Tasa de cambio final (EPR), Bahía de Paita.....	49
Figura 22. Tasa de cambio final 1946-2007: Sur del Río Chira.....	50
Figura 23. Tasa de cambio final 1946-2007: Balneario de Colán.....	50
Figura 24. Tasa de cambio final 1946-2007: Acantilados.....	51
Figura 25. Tasa de cambio final 1946-2007: Puerto de Paita.....	51
Figura 26. Tasa de cambio final 1946-2007: Tierra Colorada.....	52
Figura 27. Mapa Geomorfológico.....	53
Figura 28. Puerto de Paita 1946-1992-1999-2007.....	55
Figura 29. Puerto de Paita 1946-1992-1999-2007.....	55
Figura 30. Balneario de Colán 1946-1999-2007.....	57

## Índice de Tablas

Tabla I. Tipo de Población.....	21
Tabla II. Producción en los Puertos del Departamento de Piura.....	24
Tabla III. Serie Cartográfica.....	26
Tabla IV. Serie de fotografías aéreas.....	27
Tabla V. Margen de Error Estimado para la Bahía de Paita.....	32
Tabla VI. Unidades Geomorfológicas.....	54



## Resumen

La tesis “Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral: Bahía de Paita, Perú 1946-2007”, busca conocer las dinámicas y los cambios en la línea de costa en el periodo 1946-2007 teniendo en cuenta las tendencias actuales, especialmente las referidas al cambio climático, la elevación media del nivel del mar y el Evento de El Niño.

Para conocer estos cambios en la línea de costa fue necesario combinar e integrar distintos métodos, como la cartografía, la teledetección, el análisis estadístico de variables y el levantamiento de información de campo. Todos estos elementos fueron vinculados y trabajados dentro de un Sistema de Información Geográfica (SIG).

Con el propósito de evaluar las tendencias en la variación de la línea de costa en la zona de estudio, se trazaron objetivos secundarios, como el de realizar una caracterización de la línea de costa actual identificando sectores erosivos o deposicionales; desarrollar una zonificación geomorfológica de la zona de estudio y generar una base de datos cartográfica mediante el empleo del SIG.

De acuerdo con los resultados alcanzados, se identificó que en la actual línea de costa la Bahía de Paita se distinguen claramente sectores de gran variabilidad y otros más estables. La zona que presenta una mayor variabilidad en línea de costa se encuentra principalmente al sur del río Chira, donde se distinguieron procesos de erosión y sedimentación. Al carecer estas zonas de infraestructura antrópica, como muelles, rompe olas, espigones, etc.; los cambios en la línea de costa son debido a factores naturales. Dentro de esto, se destaca la variación comprendida entre los periodos 1992-1999, donde se desarrolló una gran sedimentación en la zona del Balneario de Colán. El otro sector en la Bahía de Paita que presentó una gran variabilidad es el Puerto de Paita. Sin embargo, a diferencia del sector anterior, en el Puerto de Paita la dinámica de la línea de costa responde claramente a una influencia antrópica. La construcción de infraestructura portuaria a partir de los años 70's ocasionó un avance de la línea de

costa. Este avance de la línea de costa se vio acrecentando en el periodo 1992-1999, una vez más debido al Evento El Niño 1997/1998.

Finalmente se concluye que a nivel global el aumento de nivel del mar no puede ser visto en esta área de estudio, pues en promedio la tasa de cambio final, es decir, la variación en metros entre el número de años transcurridos presenta un índice de  $-0.02$  metros/año, lo cual es un valor muy pequeño como para sustentar esta afirmación. Esto rechazaría la hipótesis de investigación planteada. En la relación a esto, si tomamos en cuenta el promedio del movimiento neto de la línea de costa, esto nos muestra un valor positivo: 3.11 metros, lo que puede ser explicado con la gran dinámica sedimentaria del río Chira durante los Eventos El Niño. Por su parte, el Evento El Niño sí tiene un impacto directo en la línea de costa, el cual difiere de lo planteado en la hipótesis pues no genera procesos erosivos. Si bien en un primer momento puede ocasionar oleajes fuertes y maretazos, luego genera un retroceso del mar, es decir, genera un proceso de sedimentación. Este proceso de sedimentación extraordinario en la línea de costa no es estable, pues luego la línea de costa tiende a retroceder hasta estabilizarse.

## I. Introducción

A pesar de ser un país que cuenta con un considerable espacio costero, con una franja litoral con más de 3000 kilómetros de extensión que alberga a aproximadamente el 60% de la población total de país (Novoa, 2007) y agrupa a diversas actividades económicas como la pesca, el turismo, la agricultura extensiva, además de ser una vía natural para el transporte de materias primas como minerales o productos agrícolas a través de los puertos; este espacio costero no ha recibido la importancia que merece en cuanto al tema de investigaciones sobre las dinámicas físicas que se desarrollan en esta zona.

Los grandes proyectos de nuestra costa se reducen a los que involucran grandes planes de irrigación, como el proyecto CHAVIMOCHIC, OLMOS, CHINECAS, etc. debido a que en los valles y las planicies costeras son los que cuentan con el mejor potencial agronómico, dada su calidad edáfica y su topografía plana (Novoa, 2007) o algún proyecto de megapuerto, como los que se intentan implementar en Matarani o Bayóvar respondiendo a las necesidades del mundo globalizado (Novoa, 2007).

De la misma manera, es innegable la presión a la que son actualmente sometidas las zonas marino-costeras, tanto por la población que busca asentarse en ella así como por actividades industriales, agrarias, portuarias y turísticas. Además, la línea de costa tiene una dinámica propia de cada ambiente donde se desarrolla lo cual es ampliamente apreciable en los diversos ambientes costeros que tenemos en el país. En ese sentido, La Bahía de Paita es un área de estudio representativa donde encontramos diversos ambientes como los que presentan grandes infraestructuras portuarias (muelles y puertos); asentamientos de población; acantilados costeros; playas arenosas; estuarios ribereños entre otros.

## II. Problemática y Justificación

La erosión de la línea de costa es un problema global. Por lo menos, el 70% de las playas arenosas del planeta están sufriendo este proceso (Bird, 1985). Gran parte de los estudios que corroboran esta afirmación se ubican en el hemisferio norte. El impacto de este fenómeno erosivo en la costa peruana no es aun conocido dada la escasez de estudios físicos para entender la dinámica del litoral, conocer acerca de los agentes que participan en ella así como sus consecuencias directas e indirectas sobre las poblaciones y las actividades antrópicas han llevado a una mala práctica de generalización. Un claro ejemplo de esto es nuestra actual Ley de Playas (Ley N°26856), en la cual dentro de su reglamento se señala, no de manera expresa, que a partir de los 50m de la línea de alta marea se puede empezar a construir o edificar en el litoral. El problema radica en que al generalizar, desconoce la diversidad ambiental que existe en la línea de costa, dominada por playas arenosas, costas rocosas, acantilados, humedales entre otros, que debido a sus características geomorfológicas diversas responden de manera distinta a la dinámica litoral.

Por esta razón se desarrolló un estudio, el cual responde a la preocupación académica de conocer como las tendencias de los últimos años, referidas al cambio climático y sus impactos directos sobre la elevación del nivel del mar; además de la presencia de un fenómeno global con repercusiones regionales (ENSO) pueden afectar el comportamiento dinámico de la línea de costa en el país, y en particular en la Bahía de Paita. La necesidad de conocer estas dinámicas y las implicancias que estas tienen para la adecuada gestión del territorio es resultado de las visitas a la zona de estudio, realizadas en febrero y marzo de los años 2009 y 2010 respectivamente. Si bien en un primer momento se buscó realizar un análisis de la variación de la línea costa en el marco del las necesidades del Gobierno Regional de Piura se replanteó los objetivos de la investigación, intentando ser un estudio científico que sirva como herramienta para la futura gestión del territorio. Se buscó con esta investigación proporcionar una herramienta útil para conocer las dinámicas propias de este territorio basándose en el conocimiento de la realidad geomorfológica de la Bahía de Paita. Además se realizó una zonificación geomorfológica de la bahía, basado en los resultados de la dinámica de la línea de costa y en el estudio de las unidades geomorfológicas locales.

### III. Hipótesis:

Debido a los fenómenos globales, como el aumento del nivel del mar producto de los cambios climáticos; y fenómenos regionales, como el evento El Niño, especialmente en eventos extremos como los Eventos del Niño de 1982-1983 y 1997-1998; en la zona de estudio la línea de costa presenta una tendencia erosiva.





## IV. Objetivos

### 4.1 Objetivo General

- Evaluar las tendencias en la variación de la línea de costa en la zona de estudio.

### 4.2 Objetivos Específicos

- Realizar una caracterización de la línea de costa actual con la identificación de sectores erosivos o deposicionales.
- Realizar un análisis espacial-temporal de la línea de costa durante los últimos 60 años.
- Predecir futuras líneas de costa.
- Desarrollar una zonificación geomorfológica de la zona de estudio, teniendo en cuenta las características de los perfiles de playa; la orientación de la playa; pendiente de la playa; variación de la línea de costa y ocupación humana.
- Generar una base de datos cartográfica mediante el empleo de Sistema de Información Geográfica.

## V. Marco teórico

### 5.1 Zona marino-costera, litoral, costa, playa y línea de costa

En el presente estudio van ser tocados diferentes términos que, si no son bien definidos y explicados pueden generar confusión. Es por eso que es necesario tener aproximaciones y definiciones teóricas de cada uno de ellos ya que es en este ámbito donde se va a desarrollar el estudio. Estos serán definidos siguiendo una escala ascendente, empezando desde lo más general a lo más preciso.

En primer lugar definiremos a la “zona marino-costera”. Esta puede ser llamada como “zona costera o zona marino-costera” y se define como “franja continental y marítima, cuya anchura varía de acuerdo con la configuración del entorno y las necesidades de ordenación y que en muy pocas ocasiones está sujeta a las entidades administrativas o de planificación existentes” (Agencia Europea, 1996). Siguiendo a Clark (1977), la zona costera aparece como una amplia banda que comienza en las llanuras costeras y que culmina en el inicio del talud continental. Esta definición es importante de mencionar puesto que si bien esta tesis basa la mayoría de su marco conceptual en la parte física, esta es la base para intentar lograr una aplicación útil, una herramienta de decisión para un mejor desarrollo de la costa peruana. No se quiere caer en la investigación como objetivo, sino se busca que la investigación sea un medio para alcanzar un objetivo mayor: aplicar el conocimiento aprendido o investigado con el fin de administrar mejor el espacio.

Por otra parte el término “costa”, a diferencia del término de “zona marino-costera”, posee una definición más física. La costa puede ser denominada también como “litoral” y comprende todo lo que, tanto por encima como por debajo del nivel del mar, se halla sometido a la acción de las fuerzas responsables del trazado de la costa (Novoa, 2007). Como podemos identificar, este espacio está en constante transformación generando procesos de erosión y sedimentación por las corrientes marinas, las mareas, las variaciones del nivel del mar, etc (Strahler, 1999).

Por su parte, la playa puede ser definida como el conjunto de sedimentos no consolidados (normalmente arenas, si bien también hay playas de gravas y piedras) que se encuentran en la costa (Pinet, 2006). Refuerza esta idea la definición dada por Clark (1977), que ha sido a su vez recogida por varias legislaciones europeas, donde se señala que las playas son zonas de depósitos materiales sueltos, tales como arenas, gravas y guijarros, incluyendo escarpes, bermas y dunas, tengan o no vegetación, formadas por la acción del mar o del viento marino u otras causas naturales o artificiales (Suárez, 2005).

Finalmente es necesario definir la de línea de costa. La definición más exacta para hacerlo es señalar que llamamos línea de costa a la zona de contacto entre el mar y la tierra seca (arena). Se caracteriza por representar la interacción de la rompiente de las olas, el aumento o descenso de las mareas, la descarga de sedimentos de los ríos, las corrientes lejanas y cercanas, procesos biológicos, el lento cambio del nivel del mar, el ascenso o descenso de los continentes y la actividad del ser humano (Carter, 1988). Ahora bien, es importante entender que si bien la definición parece sencilla, cuando veamos el capítulo de metodología de trabajo, nos daremos cuenta que tal vez en un mismo día, la línea de costa ha variado. Es ahí donde entra la otra definición importante: variación de la línea de costa.

## **5.2 Variación de la línea de costa**

La variación es entendida como el cambio que se entre el contacto del mar con la tierra. A manera general y teniendo en cuenta una escala global, se señala que la variación del nivel del mar está condicionado por los siguientes factores: la variación en el volumen de las cuencas oceánicas, la variación del volumen de agua en los océanos y la variación en el geoide, que representa los cambios en el relieve o forma de la corteza. A estos factores globales le tenemos que sumar variaciones locales, como los fenómenos meteorológicos, hidrológicos y oceanográficos.

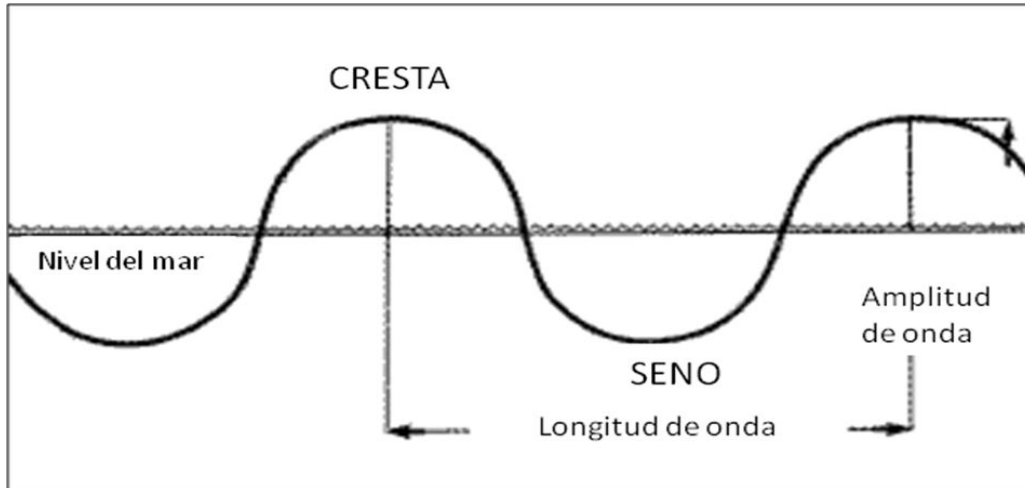
Estos factores producen cambios en la línea de costa que pueden ser positivos (la línea ha avanzado), negativos (ha retrocedido) o simplemente no presentar variación alguna. Para poder señalar estas tres afirmaciones, es necesario entender que no podemos confundir una variación de la línea de costa con el desenvolviendo natural de la línea costera en momentos de marea alta y marea baja. Por eso es importante definir a las

mareas como el aumento o descenso periódico del nivel del mar como consecuencia de la atracción gravitacional de la Luna y el Sol. Teniendo esto en cuenta podemos señalar que la línea de costa es instantánea, pues debido a su dinamismo está en constante evolución (Boak y Turner, 2005). Estas dos definiciones son claves, pues de ellas se desprenden temas importantes, fundamentalmente el de saber calcular el error a la hora de comparar dos líneas de costas. Sin embargo, es necesario señalar que la línea de costa se adapta a una elevación del nivel del mar, tal como propuso Bruun (1954, 1962), mediante la migración del perfil de equilibrio hacia el continente con una tasa proporcional a la elevación del nivel del mar (Komar, 1983). Esta migración, y consecuente retroceso de la línea de costa, causa erosión en las playas posterior y anterior -*backshore* y *foreshore*- y deposición en las playas interior y exterior -*inshore* y *offshore*- (Tavares y Drenkham, 2010).

### 5.3 Procesos geodinámicos costeros

La erosión marina es entendida como el trabajo realizado por la acción de las olas de rotación y translación y las mareas que desplazan las aguas marinas sobre el litoral. Esta erosión se realiza de varias formas como: arranque del material, abrasión marina, etc (Dávila, 1995). Entonces, podemos entender que la playa es un sistema abierto, ya que presenta entradas (sedimentación) y salidas (erosión), estos procesos pueden verse alterados por diversas razones.

Podemos definir a las ondas u olas como una perturbación que representa energía propagándose o moviéndose a través del océano (Pinet, 2006). Estas son producidas por el viento, producto de la fricción con la superficie del agua. Esta relación se ve reflejada en la altura de las olas, pues depende de la velocidad, la dirección constante y el fetch, que es área sobre la cual sopla el viento (Komar, 1983). Las partes principales de la ola (véase Figura 1) son dos: la cresta y el seno. La primera es la parte más alta de la ola, la segunda es la parte más profunda. La altura de la ola se consigue a través de la diferencia entre la altura de la cresta y el seno, mientras que la longitud de onda es la distancia entre dos crestas.



**Figura 1: Componentes de la onda.** Elaboración propia.

Los efectos que pueden tener las olas son dos en particular: olas con efecto constructivo, es decir, dejan sedimentos en la playa, debido a su débil intensidad; y las olas con efecto destructivo, las cuales al llegar a la playa con gran fuerza, remueven grandes bloques de sedimentos, erosionando la playa. Es importante tener en cuenta esta definición pues las olas son el principal agente modelador de la playa, e influye directamente en el estudio de la línea de costa. Esto hay que tenerlo en cuenta en estudios como el de Wright y Short (1993), donde los estudios realizados en diferentes playas de Australia señalan la estrecha relación entre el medio litoral y el tipo de olas. Estos movimientos como se ha señalado anteriormente y se confirman revisando los resultados de esta investigación originan una transformación en la morfología de la playa.

Otro fenómeno importante que se encuentra estrechamente relacionado con las olas es la refracción de estas. La refracción de las olas puede ser entendida como el cambio de dirección de los frentes de las olas a medida que se van aproximando a la costa (Strahler, 1999). El caso más simple para entender la refracción de las olas es ubicándonos en una costa con bahías e islas. Si el agua es profunda los frentes de ola son paralelos. A medida que se aproximan a la costa, el retardo que origina la influencia del agua poco profunda comienza a sentirse primeramente en las áreas situadas delante de las islas o islotes. La reducción de la profundidad del agua hace disminuir la velocidad con que se desplaza la ola en estos lugares, mientras que el agua más profunda que ocupa las bahías aún no se ha producido el retardo (Strahler, 1999). Como

consecuencia, el frente de la ola se refracta, de acuerdo con la forma que tenga la línea de costa.

Sin embargo, el movimiento alternativo de los materiales que se origina con el avance y retroceso de la ola no se traduce únicamente en un transporte de los mismos hacia adentro y hacia afuera del mar, sino que se origina también un movimiento a lo largo de la orilla conocido como deriva litoral (Strahler, 1999). Los frentes de las olas se acercan a la playa con una cierta oblicuidad, el movimiento de la arena, la grava o las piedras seguirán este movimiento. Una vez que el agua ha perdido su energía retrocede de la playa, pero en esta ocasión su movimiento está controlado por la fuerza de gravedad que la obliga a seguir la dirección de la máxima pendiente. Por este motivo, las partículas son arrastradas directamente hacia el mar y van a parar a una posición lateral con respecto a la que se encontraban con anterioridad (Strahler, 1999). Este fenómeno se repite un gran número de veces, por lo que cada una de las partículas se desplaza una distancia considerable a lo largo de la playa. Si se tiene en cuenta, como se señala en el libro de Strahler (1999), la cantidad de veces que ocurre este fenómeno, con la cantidad de partículas que hay en la playa, este es un proceso muy importante en la evolución de la línea de costa. También es necesario identificar otra corriente que se da en la playa, la corriente perpendicular a la costa o corriente de retorno (Komar 1983). Esta es un sistema de corrientes circulatorias presentes entre la zona de rompiente y la playa anterior, generadas a partir del reflujos de agua hacia el mar tras la ruptura de la onda. A diferencia de la deriva litoral, el sistema de corrientes de retorno resulta de una aproximación paralela de las crestas de ondas hacia la línea de costa. Tras su colapso, la energía liberada permite a la masa de agua ascender por la cara de la playa (Leceta, 2009). En su descenso esta sigue la ruta más eficiente, concentrándose en canales dispuestos perpendicularmente a la playa y sobre la ubicación de las cúspides de playa. De esta forma mantienen la estabilidad de la masa de agua sobre el litoral. El reflujos prosigue su curso dirigido hacia el mar, atravesando la barra en la zona de rompiente hasta perder energía (Leceta, 2009).



También es importante tener en cuenta que dentro de la dinámica de la línea de costa las mareas son un tema fundamental. La marea puede ser definida como las perturbaciones en la superficie del océano, que se dan en forma de ondas y son causadas por la fuerza gravitacional del sol y la luna. Las mareas son importantes debido a que mueven gran cantidad de sedimentos de manera perpendicular a la costa, determinan el ancho de la playa, y además influyen en la mezcla de agua salada y dulce.

Finalmente, un tema que no se puede dejar de mencionar es el Fenómeno del Niño. Es uno de los eventos más espectaculares que se manifiestan en el Océano y la Atmósfera con gran impacto en el clima y el ecosistema marino. El fenómeno "El Niño" está definido como la presencia de aguas anormalmente cálidas en la costa occidental de Sudamérica, por un período mayor a cuatro meses consecutivos, produciendo alteraciones oceanográficas, meteorológicas y biológicas (ENFEN, 2009). En el Perú existe un esfuerzo de diversas Instituciones como el SENAMHI, el IMARPE, el IGP, el INRENA, el INDECI y la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) que conforman un Comité de Estudio Nacional del Fenómeno El Niño (ENFEN), Comité oficial encargado del estudio y divulgación del Fenómeno El Niño en el país. Estos estudios son relevantes pues como sabemos este fenómeno aumenta la temperatura superficial del océano, que también origina el incremento de la actividad convectiva, es decir la formación de nubes de lluvia, y en consecuencia el aumento de las precipitaciones, sobre todo en la zona Norte del Perú (ENFEN, 2009).

Los incrementos del nivel del mar que se presentan en la costa peruana, varían entre 15 a 40 cm., reduciendo las áreas de playa, y en casos de bravezas de mar, pueden causar inundaciones y efectos de mayor intensidad (ENFEN, 2009). Esto es muy importante al momento de analizar la variación en la línea de costa puesto que es un agente de cambio directo debido a que puede condicionar periodos de fuerte erosión o fuerte sedimentación.

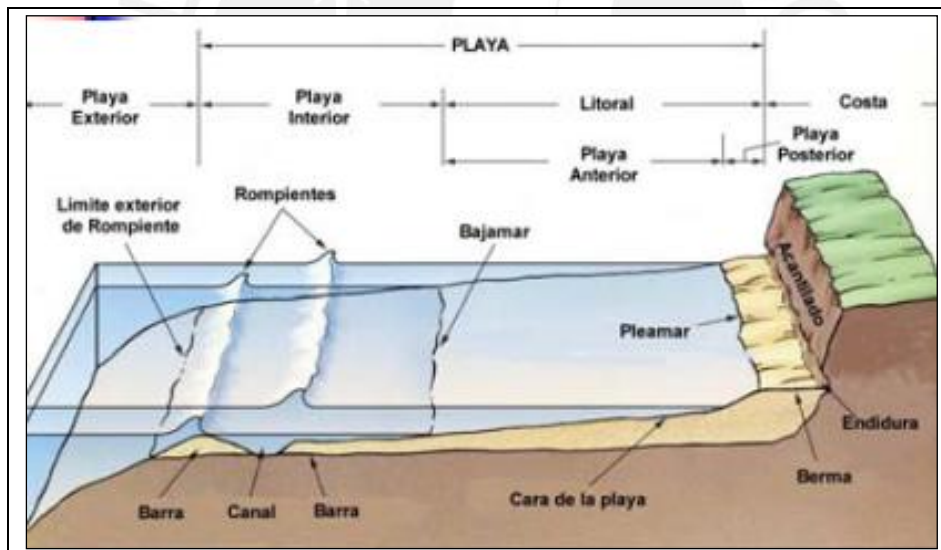
#### **5.4 Morfología de la playa**

Las playas son acumulaciones de sedimentos no consolidados que han sido transportados a la costa y modelados en forma característica por la acción de las corrientes generadas por las olas. Se presentan en regiones costeras donde hay



disponibilidad de sedimentos, condiciones de relieve favorable y que presenten variaciones del nivel del mar (Leceta, 2009).

Dentro de las unidades fisiográficas (véase Figura 2) encontramos la playa exterior, que se extiende entre la zona de rompiente y el borde la plataforma continental. Luego tenemos la playa interior que está ubicada entre la zona de rompiente y bajamar. Al interior de esta unidad se identifican la zona de Surf -área entre la zona de rompiente y la zona de Swash- y la zona de Breaker -zona de rompiente de las ondas-(Leceta, 2009). La playa anterior es la situada entre bajamar y pleamar, es denominada comúnmente como la cara de la playa y dentro de ella se identifica la zona de Swash, caracterizada por el flujo de ondas de acenso y descenso (swash y backwash) sobre la cara de playa; finalmente tenemos la playa posterior que se extiende a partir del nivel máximo de acción de olas y mareas, donde hay un cambio de pendiente hacia una superficie más plana (berma). (Leceta, 2009).



**Figura 2: Unidades Fisiográficas de la playa.** Fuente: Pinet, 2006. Adaptación: Leceta, 2009.

### 5.5 Tipos de rompientes

Los tipos de rompiente se pueden calificar en (Galvin, 1968):

- Rompiente en derrame (spilling): ondas que rompen total y gradualmente durante un recorrido más o menos largo a causa de un fondo plano y de escasa

pendiente ( $<3^\circ$ ), disipando la energía de manera gradual. La forma de la onda se presenta cóncava a ambos lados de la cresta, tras la ruptura de la cresta, esta mantiene su forma.

- Rompiente en voluta (plunging): ondas cuyas crestas superan al núcleo de la onda durante su propagación, produciendo una violenta caída hacia delante análogamente a un tubo. La energía es descargada por la onda durante el rompiente, concentrándose en esta zona. Se presenta en playas con fondos suaves y de pendiente intermedia ( $3^\circ$ - $11^\circ$ ). La forma de la onda es convexa en la parte posterior de la cresta y cóncava en la anterior de la misma.
- Rompiente en Colapso (colapsing): fase intermedia entre las rompientes de tipo en voluta y en ondula, caracterizada por disipar la energía sobre la cara de la playa. Requiere de fondos con pendientes intermedias ( $11^\circ$ - $15^\circ$ ).
- Rompiente en ondula (surfing): la cresta de la onda no llega a romperse, pero cuenta con la suficiente energía para deslizarse y ascender por sobre la cara de la playa; con ello gran parte de la energía es disipada sobre la playa. Se presenta en fondos con pendiente elevada ( $>15^\circ$ ).

### 5.6 Procesos en acantilados costeros

Los acantilados costeros son escarpas que bordean la costa y separan verticalmente el nivel del mar de las tierras continentales a manera de escalón abrupto y su origen se asocia al levantamiento tectónico de la corteza terrestre, a las vacaciones eustáticas asociadas a los periodos interglaciares o a la combinación de ambos factores (Leceta, 2009).

La actividad tectónica y glacial proporcionan la mayor influencia en el desarrollo de acantilados. El primer mecanismo expone rocas ígneas y deja en evidencia rocas sedimentarias pertenecientes a antiguos fondos marinos; mientras que el segundo proporciona grandes depósitos aluviales en las cuencas bajas y esculpe su forma tras la elevación del nivel del mar (Paskoff, 1978).

### 5.7 Cambio Climático, Calentamiento Global y Evento El Niño

La elevación del nivel del mar es considerada como un aumento en el volumen del agua que existe en los océanos. Según Bindoff et al. (2007) esta variación parte de dos procesos relacionados con el cambio climático: la expansión térmica y el intercambio de agua oceánicas con aguas continentales (glaciares, ríos, etc.). Sin embargo, no se puede generalizar esta elevación del nivel del mar señalando que es un patrón mundial, pues a una escala local, tenemos otros factores que también interactúan en la dinámica de la línea de costa.

La temperatura superficial del mar (TSM) en la costa peruana se caracteriza por presentar valores entre 15° a 18°C en promedio, aumentando aproximadamente 2°C más durante la época del verano y disminuyendo la misma cantidad en el invierno; asimismo el Nivel Medio del Mar (NMM) registrado en los puertos del litoral presentan como promedio patrón valores entre 0.4 m. a 0.93 m. respecto del nivel medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (Otiniano, 2001). Sin embargo, en algunos años el promedio mensual de la TSM y el nivel del mar (NM), que debería mantener el ritmo gradual estacional de ascenso o descenso de sus valores (alrededor de su normal) se incrementa sostenidamente registrando anomalías positivas, que en algunos casos logran alcanzar hasta 7°C y 0.40 m. respectivamente. La magnitud de estos valores, generalmente se presentan como consecuencia del arribo de una “Onda Kelvin”, la misma que está asociada al evento “El Niño” (Otiniano, 2001).

Al evento "El Niño" debe distinguírsele del proceso anual que normalmente se presenta durante la estación de verano, y se materializa mediante el avance de aguas cálidas tropicales hacia el Sur. Esta caracterización propia del verano austral, ha sido comúnmente llamada "El Niño", término originalmente utilizado por los pescadores del litoral Norte del Perú, para referirse a dicha corriente cálida del océano que típicamente se presenta en las proximidades de la Navidad. El evento "El Niño" entonces, es el resultado de una profunda alteración de las características físicas del Océano Pacífico Tropical en particular y de la Atmósfera Global, que en su etapa madura se muestra como una invasión de aguas cálidas desde el Oeste hacia las costas americanas, cuyos efectos pueden ser muy severos en el clima y en los ecosistemas y en consecuencia en la socio-economía de la región, en especial del Perú (ENFEN, 2009).

Es un evento recurrente, no periódico, se presenta a intervalos variados entre los 3 a 11 años; sin embargo, eventos extraordinariamente intensos, como “El Niño” 1982/83 y 1997/98 se estima que tienen una frecuencia mayor a 15 años. Estos últimos eventos dejaron huella, no sólo en el clima local y vida marina, sino también en las condiciones climáticas de todo el mundo. Cuando un evento “El Niño” ocurre tiene una duración entre 04 a 12 meses y en algunos casos hasta 18 meses. La historia de los eventos extraordinarios del “El Niño”, indican que ocurrieron en los años 1578, 1721, 1828, 1877/78, 1891, 1925/26, 1982/83 y 1997/98, otros eventos durante este siglo, se presentaron durante los años 1911/12, 1917/18, 1929, 1932, 1940/41, 1951, 1957/58, 1965, 1969, 1972/73, 1975, 1987 y 1992 (ENFEN, 2009).

### **5.8 Empleo de los SIG en la cuantificación de las variaciones de línea de costa**

Diversos son los estudios que han utilizado el SIG para cuantificar las variaciones en la línea de costa. Por ejemplo Ortiz y Pérez (1999) mediante el análisis de mapas portulanos (siglos XVIII y XIX) y de fotografías aéreas, estudiaron las modificaciones que ha sufrido el litoral a través de los años. Estos autores efectuaron la corrección dentro de los límites de resolución del estereoketch, que es un instrumento de rectificación de tercer orden, el mismo que corrige la inclinación de las fotografías aéreas, pero no el desplazamiento debido al relieve; sin embargo, como la zona en estudio mantiene un relieve predominantemente plano, el error por desplazamiento debido al relieve no es significativo (Ortiz y Pérez, 1999). De esta manera, en los planos obtenidos se confió la realización de las medidas a la evolución contemporánea de la línea de costa (Ortiz y Pérez, 1999). Esta metodología resulta interesante pues en el caso mexicano, los autores han mezclado dos tipos fuentes (mapas y fotos aéreas) para levantar la información de la línea de costa. Esta metodología puede ser objetada señalando que muchas veces en los mapas, al ser de pequeña escala, abarcan mucho terreno, por lo que elementos tan dinámicos como las líneas de costa pueden haber sufrido una generalización, entendiendo también que para cartografiar una línea de costa hoy se utilizan las fotos aéreas, pero antes esto se hacía con levantamientos topográficos, lo cual podría generar dudas sobre la exactitud de los datos. Sin embargo, este método no puede ser descartado con tanta facilidad pues en un estudio de la variación de la línea de costa en Maui, Hawaii, realizado por Rooney y Fletcher (2005),

la variación es cuantificada mediante fotografías aéreas y levantamientos topográficos realizados por la NOAA.

Ejemplos más cercanos corresponden a León & Tavares (2003), Leceta (2009), Grández (2010) y Tavares & Drenkham (2010) los cuáles aplican el Sistema de Información Geográfica (SIG) para cuantificar los cambios en la línea de costa. Para cumplir ese objetivo, se aplica en los últimos tres estudios realizados el script desarrollado por la United States Geology Service (USGS) llamado Digital Shoreline Analysis System (DSAS), el cual permite realizar un análisis estadístico de las variaciones en una serie de líneas de costa.

### **5.9 Estudios geomorfológicos para la adecuada gestión del territorio**

Finalmente, trabajos que busquen establecer unidades en zonas marino-costeras basadas en estudios geomorfológicos que involucren variaciones de la línea de costa se han desarrollado en diversos países. Según Crous (2005) *“el contenido de la presente comunicación forma parte de un análisis de la evolución de la costa catalana, el objetivo del cual es determinar la evolución a largo plazo y gran escala de todas las playas catalanas y realizar una clasificación en playas erosivas, acumulativas o en equilibrio. A la vez se quiere relacionar con distintas características naturales de la playa, sociales y económicas del municipio en el que se encuentran y así obtener una herramienta para la gestión costera”*. Estudios como el de Leceta (2009) también buscaron clasificar a las playas según la intensidad de los procesos erosivos-deposicionales sumado a sus características geomorfológicas. Otro estudio, Anfuso y Benavente (2006), llevado a cabo entre Chipiona y Rota, al sur oeste de España realizó una clasificación morfodinámica de las playas. Para esto utilizó el Parámetro de Dean y el de Escala de Rompiente. Wright & Short (1984) como Morton & Miller (2005) también realizaron una clasificación de playas basada en las características morfológicas e hidrodinámicas en la playa anterior e interior. El modelo distingue seis estadios morfodinámicos asociados a los regímenes de ondas y mareas. Como vemos, han sido diversos los estudios que han buscado caracterizar los diferentes tipos de playa, rescatando principalmente de ellos dos parámetros fundamentales: la relación erosión/sedimentación y las características geomorfológicas.



## VI. Área de estudio

La Bahía de Paita está ubicada en el departamento de Piura, al norte del desierto de Sechura y al margen oeste de la ciudad de Piura. Comprende una extensión de aproximadamente 34 kilómetros, desde la Península de Paita hasta la desembocadura del río Chira (Novoa, 2007). Actualmente es considerada como uno de los ejes del desarrollo regional de Piura. (Cabrera et al. 2005).

Geográficamente está comprendida dentro de los  $5^{\circ} 04'27''$  y  $04^{\circ} 54'04''$  de Latitud Sur y dentro de los  $81^{\circ}08'57''$  y  $81^{\circ}03'19''$  de Longitud Oeste.

### 6.1 Características climáticas

El clima de Paita se podría caracterizar como árido y semi cálido. Las precipitaciones son escasas (menos de 200 mm al año), salvo cuando se produce el evento de «El Niño», años en que las lluvias son abundantes y se activan todos los cursos de las quebradas secas originando inundaciones y acciones morfológicas de gran dinamismo. Las temperaturas máximas llegan a  $34,2^{\circ}\text{C}$  y las mínimas a  $15^{\circ}\text{C}$  que corresponde a los meses de Febrero y Junio respectivamente. La humedad promedio anual es del 66%, la presión atmosférica media anual es de 1008,5 milibares en tanto que los vientos que siguen una dirección al sur, tienen una velocidad pro-medio de 3 m/s. La precipitación pluvial también tiene variaciones (Correa et al, 2007).

Se caracteriza por ser una zona árida, y su área desértica origina un gradiente térmico significativo entre el continente y océano colindante, el cual ocasiona que el flujo del viento circule libremente, acelerándose superficialmente hacia mar afuera, razón justificable para que sus aguas sean tranquilas en todo el año.(Correa et al, 2007).

La dirección predominante del oleaje viene del Sur y Suroeste; sin embargo durante el verano se presentan también oleajes del Noroeste y Oeste, con mayor frecuencia durante el evento "El Niño". Las mareas son del tipo semidiurno, con amplitudes promedio del orden de 1.16 mts; las de sicigias alcanzan valores promedios del orden de los 1.49 mts. (Correa et al, 2007). Sin embargo, es necesario mencionar la línea de más alta marea . Esta es aquella línea definida por el máximo valor de altura de marea astronómica observada históricamente que en el Puerto de Paita alcanza un valor de 2.20 metros,

según la Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV). Es una zona de poca profundidad y presenta corrientes de baja velocidad con flujos en dirección norte, los que dan lugar a remolinos ciclónicos y flujos muy costeros que discurren entre Paita y Tierra Colorada (Correa et al, 2007).

## 6.2 Características geológicas y geomorfológicas a escala general

Geológicamente la zona de estudio (véase Figura 3) presenta depósitos aluviales y eólicos, así como también sedimentos de arena no consolidados; pertenecientes principalmente a la era cuaternaria (Palacios, 1994).

En la zona donde se ubica el Puerto de Paita predomina la Formación Verdún y la Formación Chira, ambas pertenecientes al Sistema Terciario, en la Serie del Eoceno. Las características principales de la primera formación son el de presentar una secuencia mayormente clástica, intercalando areniscas de grano medio a grueso, ligeramente diagenizadas con lutitas laminares; su espesor varía desde los afloramientos más septentrionales donde tiene 200 a 300 metros hasta cerca de Talara, donde tiene un espesor de 400 metros, teniendo un espesor reducido -150 a 200 metros- al sur del río Chira. En cuanto a la segunda formación, consta en su parte inferior de lutitas bentónicas laminadas, en la parte media de esta compuesta por areniscas de grano grueso y en la parte superior está compuesta por areniscas intercaladas con lutitas micáceas (Palacios, 1994).

También dentro de esta área correspondiente al puerto de Paita y a lo largo de toda la zona de contacto entre el mar y el continente se encuentran Depósitos de Playa, los cuales constituyen fajas angostas de arenas de playas recientes, comprendiendo las zonas de alta marea o limitados por cordones litorales (Palacios, 1994). Estos depósitos de playa pertenecen al Sistema Cuaternario, en la Serie Reciente.

Más al norte del Puerto de Paita, en la zona perteneciente al Balneario de Colán encontramos Depósitos Lacustres, en la zona de las Salineras de Colán. Estos están conformados por antiguas marismas o llanuras de inundación que se encuentran en estado de colmatación con arenas eólicas. Debido a esto, las zonas más profundas están constituidas por lodos o arcillas bituminosas mientras que en la superficie son arenas salobres húmedas (Palacios, 1994). Finalmente, a lo largo de los sectores de las Playas



de La Esmeralda, El Gerón, Bocana Vieja y la desembocadura del río Chira encontramos que posterior a los depósitos de playa está presente la unidad del Tablazo de Lobitos, la cual se caracteriza por ser la plataforma más baja, litológicamente es una secuencia conglomeradica poco consolidada con rodados subangulosos y de naturaleza variada (Palacios, 1994).

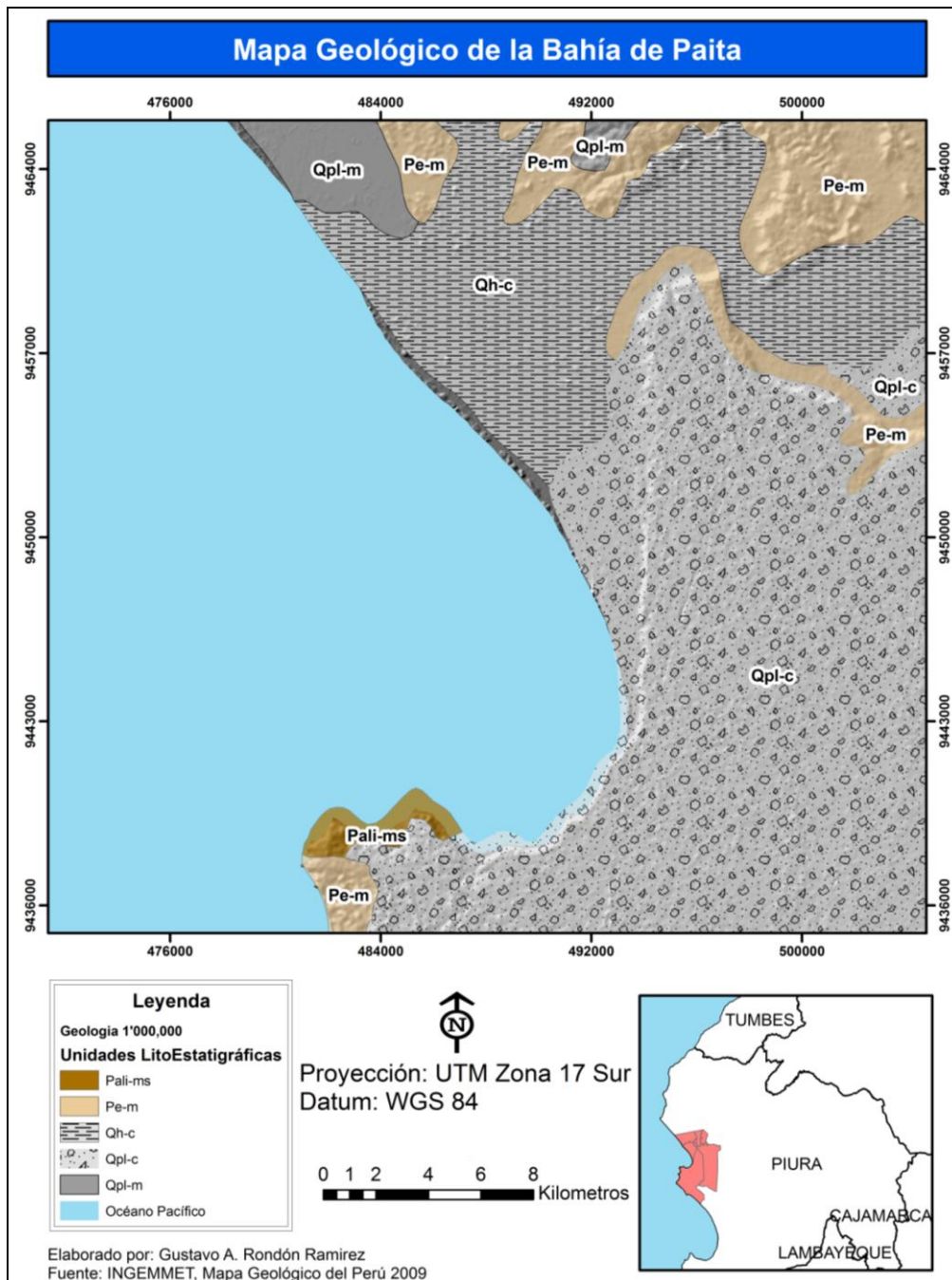


Figura3: Mapa Geológico de la Bahía de Paita. Elaboración propia.

Los rasgos geomorfológicos en la zona de estudio han sido desarrollados a través de la evolución tectónica, habiendo incidido también los agentes de erosión, como son la actual mecánica de las olas en el modelado del borde litoral y la acción eólica en las pampas y tablazos.

A continuación, se describen las unidades geomorfológicas identificadas en la zona de estudio según Palacios (1994):

- Cordillera de la costa
- Plataforma costanera
- Borde Litoral
- Plataforma Litoral
- Talud Continental

La zona de estudio se caracteriza principalmente por ser una plataforma costanera, que está comprendida desde el borde litoral hasta los flancos occidentales de los Amotapes. Es sobre esta unidad donde se han esculpido los acantilados, con una estructura geológica de naturaleza sedimentaria -Cretácico-Terciaria-, la misma que descansa en partes adosadas a rocas del Basamento Paleozoico (Palacios, 1994). Su evolución geomorfológica obedece a la estructura tectónica del subsuelo, con levantamientos verticales que siguen un lineamiento y que han dado lugar a terrazas marinas escalonadas, conocidas como tablazos (Palacios, 1994). También es necesario mencionar que el talud continental es una zona de pendiente brusca, llegando a tener entre 200 metros a 500 metros de profundidad frente a las costas de Paita.

En el extremo norte del área de estudio se encuentra el río Chira, que presenta un estuario ribereño, con llanuras arenosas, bancos de arena parcialmente vegetados y más al sur, encontramos playas de arena, con llanuras desérticas que alcanzan acantilados interiores (Novoa, 2007). Para entender el impacto de la dinámica de las olas en el modelamiento de la playa, es necesario describir diferentes zonas, teniendo cada una características particulares que permiten clasificarlas en perfiles erosivos o deposicionales. A continuación se muestran los diferentes perfiles de playa obtenidos durante el trabajo de campo, así como una descripción de la zona que representan.

### 6.3 Características Socio-Económicas

La bahía de Paíta (véase Figura 4) comprende tres distritos litorales: Paíta, Colán y Vichayal, teniendo un población urbana total de 87, 863 y una población rural de 2006 habitantes.

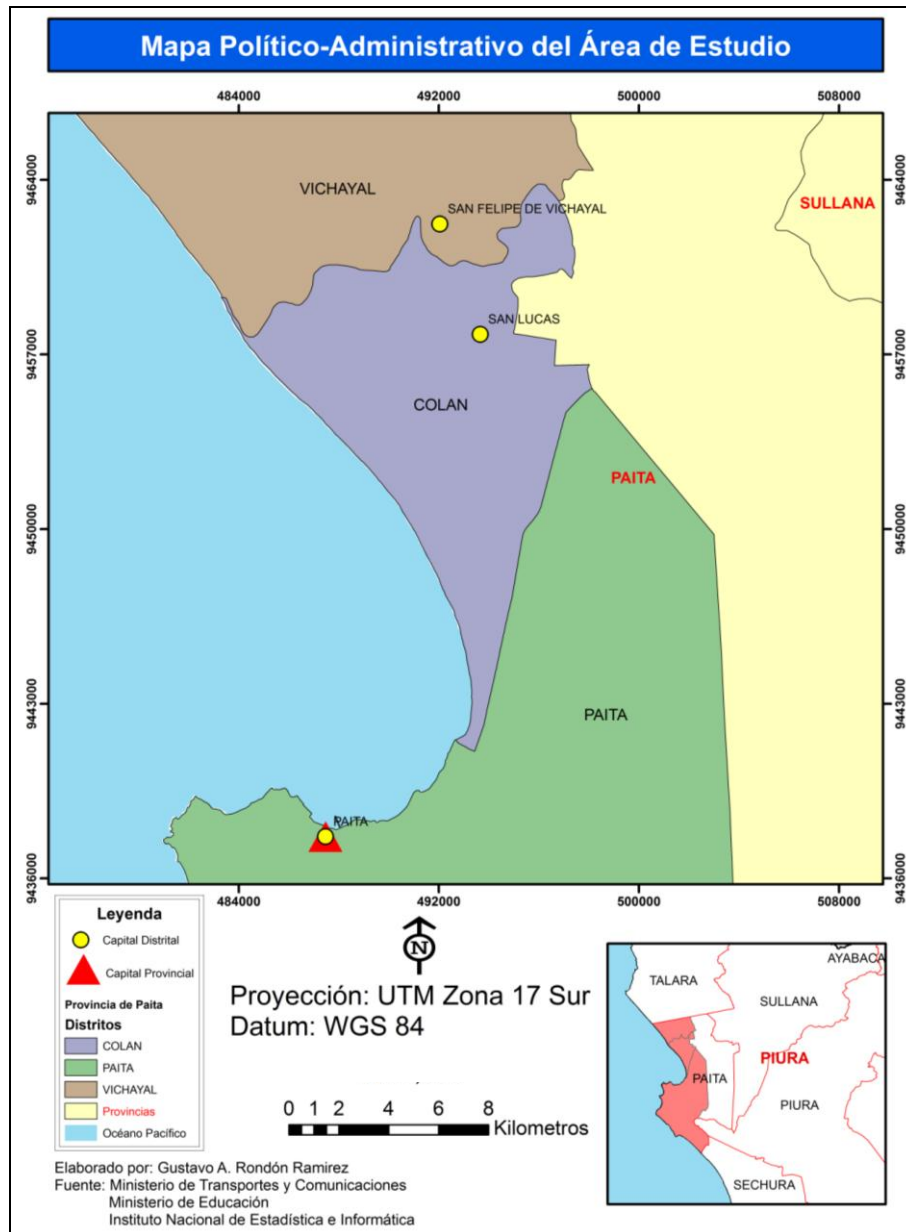


Figura 4: Mapa Político Administrativo de la Bahía de Paíta. Elaboración propia.

La población comprendida en los distritos es predominantemente urbana (véase Tabla I), sobre todo en los distritos de Paita y Colán, ya que en el distrito de Vichayal, debido a encontrarse el río Chira dentro de su jurisdicción congrega población dedicada a actividades agrícolas. El mayor número de población se encuentra en el distrito de Paita, que debido al desarrollo en la actividad portuaria se convierte en el foco de atracción de las poblaciones litorales (véase Figuras 5 y 6).

Distrito	Población	
		Urbana
Paita	Rural	12
		Urbana
Colán	Rural	989
		Urbana
Vichayal	Rural	1005

Tabla I: Tipo de Población. Fuente: INEI, Censo 2007

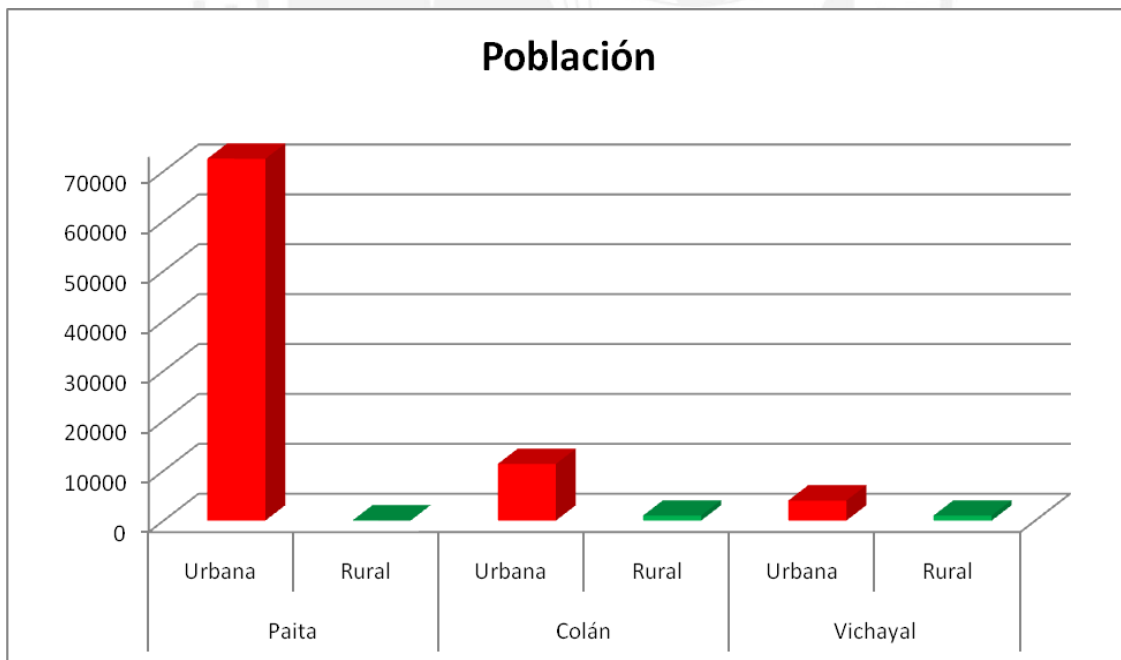


Figura 5: Tipo de Población. Elaboración propia. Fuente: INEI, Censo 2007.

En cuanto a las actividades económicas se puede señalar que la provincia de Paita cuenta con actividades portuarias (Terminal Marítimo de Paita), donde existen plantas

de transformación de pescado e infraestructura de apoyo a la industria (CETICOS Paita). Además cuenta con tierras bajo riego para el cultivo de maíz, algodón, frutales y leguminosas (Novoa, 2007).

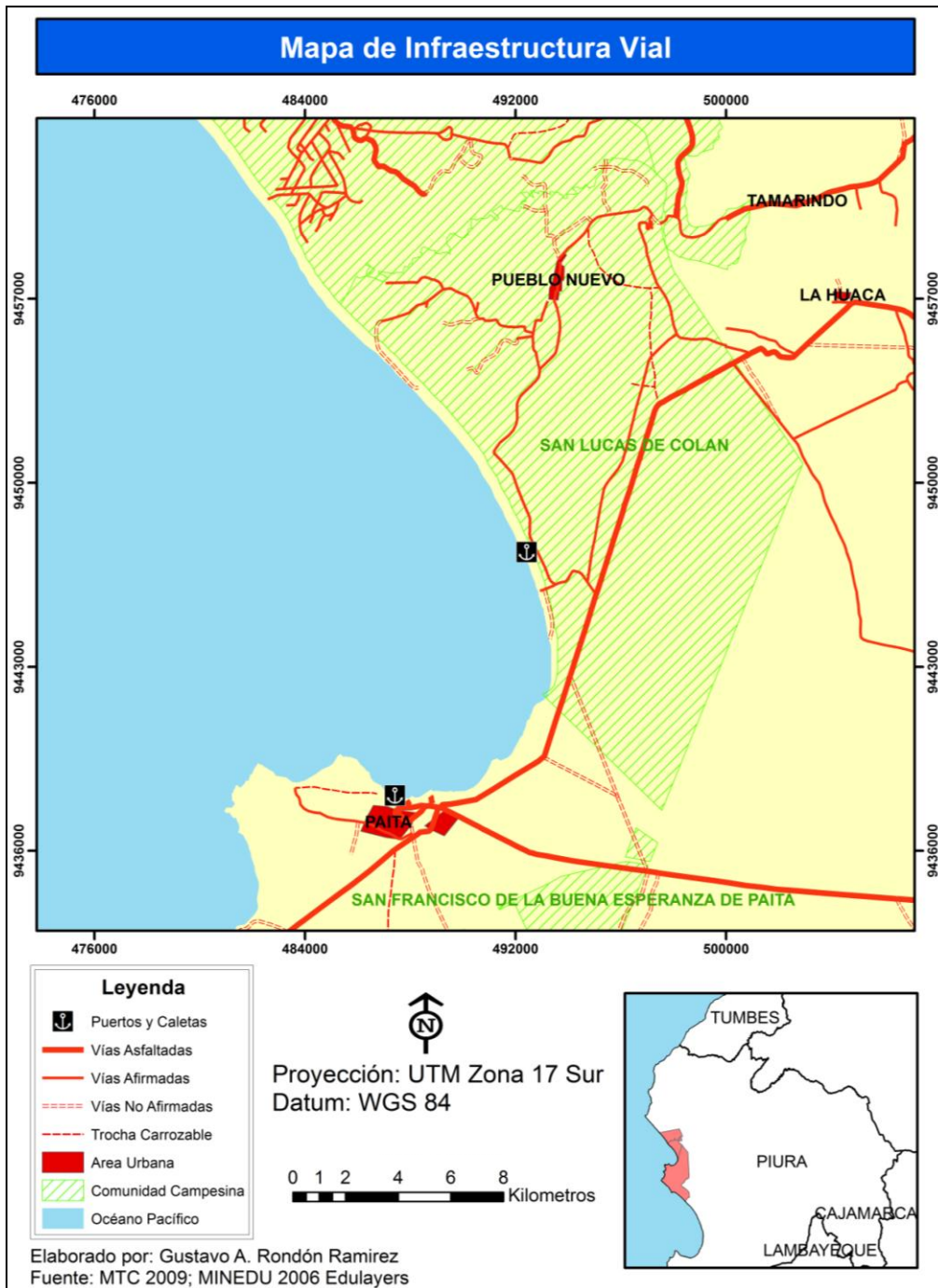


Figura 6: Mapa de Infraestructura de la Bahía de Paita. Elaboración propia.



El terminal de Paita fue construido en 1966 como Terminal de Atraco Directo por la firma de George Wimpey & Co. S.A. Los servicios portuarios de Paita tienen una gran influencia en el desarrollo socio-económico de la Región Grau y dada la modernidad del puerto y las inversiones realizadas en él, se ha venido registrando un progresivo incremento en el tráfico de contenedores, atendiendo naves de alto bordo tipo (PaitaNetFirms, 2009). El área de influencia del terminal comprende las provincias de Ayabaca, Huancabamba, Morropón, Paita y Sullana. También podría ser consideradas las provincias de Tumbes: Contralmirante Villar y Zarumilla (PaitaNetFirms, 2009).

Paita es el principal puerto de la región ahora y concentra un buen número de pescadores dedicados a la pesca industrial y artesanal (véase Tabla II). Una intensa actividad industrial se viene forjando como producto de la creación de los Ceticos-Paita, y Zona Franca Industrial. La flota pesquera que opera en el ámbito de esta zona supera las 400 embarcaciones, y además existen balsillas en un número casi similar.

Las embarcaciones artesanales son antiguas, casco de madera y no cuentan con la debida implementación en lo que se refiere a equipo de cubierta, de seguridad y navegación, lo que no permite realizar óptimas operaciones de pesca y las embarcaciones industriales son en su mayoría de construcción antigua, la capacidad de bodega oscila entre 19 - 250 TM. El 52.5% tienen casco de madera y el 17.5% de fierro, no están bien implementadas y se utilizan como sistemas de pesca de red de arrastre y red de cerco. Las principales especies capturadas son: sardina, suco, cabrilla, caballa, jurel, tollo, merluza, congrio, bonito, pampanito, cojinova. El destino de la pesca es para consumo fresco, congelado, curado y harina (CINYDEC, 2010).

Como podemos observar, la actividad principal en la provincia es la pesquera, concentrándose en el puerto de Paita pero no siendo el único lugar donde se desarrolla la actividad pues también existen caletas de pescadores como las de Colán, Yacila, Islilla; donde también se realiza la actividad pesquera (CINYDEC, 2010).

	Puertos (2009*)		
	Paíta	Parachique	Bayóvar
Desembarque de Anchoveta para Harina (TMB)	26,657	35,590	54,948
Desembarque de Recursos Hidrobiológicos para Enlatado (TMB)	14,233	26	-
Producción de Harina y Aceite Crudo de Pescado (TMB)	8,141	10,109	15,515
Producción de Enlatado de Recursos Hidrobiológicos (TMB)	6,004	10	-

**Tabla II: Producción en los Puertos del Departamento de Piura.** Fuente: Ministerio de la Producción - Boletín Estadístico Mensual. Mayo 2009

Sin embargo, en la provincia de Paita también se desarrollan actividades agropecuarias, teniendo como sustento de esta actividad al río Chira, el cual permite el desarrollo de cultivos de arroz cáscara, plátano, limón y mango; los cuales a nivel departamental representan el 85% de la producción. La producción del departamento obtenida la proporcionan principalmente los cultivos alimenticios, destacando los frutales con el 46,9%, el grupo de cereales con el 46,1%, cultivos industriales 4,0%, tubérculos 2,2%, y menestras y hortalizas con 0,4% respectivamente (INEI, 2006).

Finalmente, un sector que últimamente ha venido adquiriendo una importancia mayor es el sector turismo, siendo las playas de Colán uno de los principales focos de atracción de esta actividad. El balneario se caracteriza por sus casas de madera emplazadas en terrazas de piedra y levantadas sobre pilotes. Tiene un gran potencial paisajístico y además cuenta con áreas para instalar futura infraestructura turística.

A manera de síntesis se señala que en el área de estudio identificamos las distintas maneras de ocupación del espacio litoral. Empezando desde el norte, vemos como la desembocadura del río Chira permite, por extensión y capacidad, desarrollar cultivos muy cerca del mar; siguiendo por una forma de ocupación urbana menor, el balneario de Colán, donde predominan las casas de madera ubicadas en la misma playa. Más al sur se instalan pequeñas caletas, conocidas como las Salineras de Colán. Es importante señalar eso, ya que es diferente a lo que se encuentra en el Puerto de Paita, pues si bien existen embarcaciones pesqueras, predomina aquí la ocupación urbana y recreativa pero sobretodo, la infraestructura portuaria. Si bien el puerto de Paita opera desde los primeros días del periodo colonial, la construcción de esta infraestructura portuaria se dio entre los años 1970 y 1972 en la bahía de Paita (Novoa, 2007).



## VII. Metodología

Para realizar la siguiente tesis de investigación, la metodología propuesta consta de tres partes:

### 7.1 Parte Técnica

Para cumplir con el objetivo de caracterizar la línea de costa actual, así como para desarrollar una zonificación geomorfológica de la zona de estudio se realizarán los siguientes procedimientos:

- Medición de perfiles de playa.

El trabajo de levantamiento de información consiste en la realización de perfiles de playa. Los perfiles de playa se pueden definir como cortes transversales, estos se realizan en la cara de playa (zona situada entre bajamar y pleamar). Los objetivos por los que se realizan los perfiles de playa son: conocer la variación horizontal del nivel de marea, obtener rasgos morfológicos de la playa.

El método elegido para realizar los perfiles de playa será el Método de Emery (Emery, 1961). El primer paso es ubicar el punto de partida. Esto es posicionar un punto de referencia en el terreno (una estaca, por ejemplo). Este punto es necesario para iniciar el perfil y para repetirlo en el futuro. Se debe orientar el perfil de manera transversal a la playa. En segundo lugar se deben tomar los apuntes iniciales, que consiste en llenar la parte superior de la ficha de datos (formato estándar) con los nombres de los componentes del equipo, fecha, hora, número o nombre del perfil, ubicación de la playa, coordenadas cartográficas, etc. Luego se identifican las variaciones topográficas (verticales) del terreno determinadas a partir de las diferencias de nivel entre las dos varillas. Cada varilla mide 1.5 m y lleva una escala en centímetros.

Para levantar el perfil, se utilizan dos varillas de Emery, cada una operada por un alumno. La primera varilla se ubica en el punto inicial. La segunda, se ubica a una distancia de 1.5 o 3 metros de la primera. La distancia horizontal se mide con la varilla que va adelante y la variación vertical se mide a través de la primera varilla. En esta posición, el operador tiene por delante de su visión la segunda varilla y la línea del horizonte que servirá como referencia. Terminada la lectura, se apunta el resultado y se

procede a medir el siguiente punto. Para ello, se debe desplazar la primera varilla por delante de la segunda y medir nueva distancia horizontal y vertical. La varilla que se queda atrás siempre será la que determina la variación vertical.

Finalmente se debe apuntar la hora cuando el perfil alcanza el nivel del mar.

- Registro Fotográfico

Se desarrolla para complementar la información obtenida en los perfiles de playa. En primer lugar se registra el entorno donde se tomaron los perfiles de playa, identificando elementos claves para futuras mediciones. Además se registran unidades geomorfológicas como dunas, cordones litorales, cúspides, etc.; para desarrollar una adecuada zonificación geomorfológica.

## **7.2 Análisis Espacial-Temporal**

Se busca realizar un análisis espacial-temporal de la línea de costa durante los últimos 60 años. Con este análisis se va a poder evaluar las tendencias en la variación de la línea de costa además de predecir futuras cambios en las líneas de costa. Gracias a este análisis también se generara una base de datos cartográficos los cuales pueden ser utilizados en futuras investigaciones.

Las fuentes cartográficas utilizadas para esta parte son las siguientes:

TITULO	AUTOR	ESCALA	AÑO FOTOGRAFIA	EDICIÓN	DATUM	HOJA O CUADRANTE
Pueblo Nuevo	IGN	1/25000	1960	1974	PSAD56	10A-II-SE
Paíta	IGN	1/25000	1960	1974	PSAD56	11A-I-NO
Tierra Colorada	IGN	1/25000	1960	1974	PSAD56	11A-I-NE

**Tabla III: Serie Cartográfica.** Elaboración propia.

NOMBRE DEL PROYECTO	AUTOR	ESCALA APROXIMADA	ALTURA DEL VUELO	FECHA	ESCENAS
1662-3	SAN	1/20000	-	1946	7
432-92-A	SAN	1/20000	-	1992	5
491-99-A-5	SAN	1/20000	-	1999	6

*Tabla IV: Serie de fotografías aéreas.* Elaboración propia.

## Imagen Satelital

Google Earth. Digital Globe. Fecha: 2003-2007

### - Procesamiento de los datos

Lo primero que se realizó como parte del análisis estadístico es la reconstrucción de la línea de costa. Como se ha señalado anteriormente, esto permitirá conocer la variación horizontal del nivel del mar. Además permitirá caracterizar a las diferentes playas (erosivas o deposicionales).

Al momento de reconstruir el perfil se debe consultar los datos de amplitud de marea para el día en que se realizó (por ese motivo se registró la hora en que se empezó y la hora en que se tuvo contacto con el agua). Esto permitirá obtener el nivel medio del mar en el momento de la realización del perfil. Este dato se obtendrá con el software X-Tide, el cual se descarga gratuitamente de internet. Además en esta etapa también se analizará la granulometría de las muestras de arena obtenidas en el campo. Esto es necesario para realizar la posterior descripción geomorfológica de la zona de estudio.

Por su parte, las fotografías aéreas fueron trabajadas en el programa ArcMap 9.2. Cuando se trabaja con fotos aéreas existen dos posibilidades, que estén georeferenciadas o que no lo estén. Si estas están georeferenciadas se puede levantar directamente en el programa, y aparecerán en el lugar espacial correspondiente. De darse el caso de que las imágenes no estén georeferenciadas, es necesario hacerlo manualmente (Santiago, 2006). Para esto existen varios métodos, por ejemplo se pueden usar imágenes satelitales u otras fotos aéreas que muestren parte de la zona a georeferenciar. Para realizar esta labor se utilizó el siguiente procedimiento:

- En el menú Tools de la barra de herramienta del programa ArcMap; se hizo click en “Customize” y se activó la herramienta “Georeferencing”.
- En el menú “Georeferencing” se desactivó la opción “Auto Adjust” y se seleccionó la opción “Add Control Points”. Luego se ingresó las coordenadas reales a la imagen, mediante puntos que fueron definidos previamente. Se buscó identificar la mayor cantidad de puntos de referencia para obtener así una mayor precisión a la hora de georeferenciar la imagen.
- Cuando se terminó de colocar todos los puntos en la fotografía utilizó la opción “Rectify”, en el menú “Georeferencing”. Con esto se terminó la georeferenciación de las fotografías aéreas.

Una vez georeferenciadas todas las fotografías aéreas, el siguiente paso fue el de ortorectificar las fotografías aéreas. Este es un proceso que sirve para corregir la distorsión propia de la imagen, permitiendo realizar las medidas necesarias con mayor precisión. Para ortorectificar las fotografías aéreas se utilizó el mismo software, ArcMap 9.2. La herramienta se encuentra dentro del paquete de “Data Management Tools” en el grupo de las opciones para trabajar el formato raster. Esta herramienta tiene el nombre de “Create Ortho Corrected Dataset”, para lo cual es necesario ingresar la imagen georeferenciada y un DEM (Modelo de Elevación Digital del Terreno) que fue descargada gratuitamente de la página web de Aster. Este DEM tiene una resolución de 30 metros cuadrados siendo lo más preciso que se encuentra disponible actualmente.

Como siguiente paso para el estudio se procedió a digitalizar las líneas de costa. Un punto esencial a tratar antes de explicar la metodología propiamente dicha es tener en claro que es lo que se va a digitalizar. El criterio para definir la línea de costa puede ser el nivel máximo de marea, el nivel medio, etc. La elección de un criterio único para la identificación de la línea de costa desde de las fuentes aerofotográficas y satelitales se convierte en un requisito para una adecuada representación temporal de la línea de costa, pertinentemente para un análisis exitoso (Leceta, 2009).

El nivel medio de marea, representado por el punto de contacto entre el mar y el continente fue elegido como el indicador principal de la línea de costa en el presente estudio, teniendo en cuenta los registros topográficos del Instituto Geográfico Nacional,

el Programa Especial de Titulación de Tierras, la Dirección de Hidrografía de la Marina del Perú y la metodología empleada por Leceta (2009). Esto debido además a que en la costa peruana se desarrolla dentro de un ambiente de micro-mareas, en la que su rango de 0-2 m no cambia significativamente de localización entre el curso de un ciclo de marea diario o mensual (Rogers et al., 2004).

Las principales señales utilizadas para identificar el nivel medio de marea son las siguientes (Daniels et al, 1998):

- Está localizada en la margen continental de la franja de arenas que no presentan asperezas y humedecidas por oleaje reciente.
- Está localizada en la margen continental de la línea de rompiente de olas.
- Está localizada en la margen marítima de la franja de arenas (secas) susceptibles de ser transportadas eólicamente.
- Está localizada en la margen marítima de la línea de materiales flotantes (algas marinas y maderas) depositados y traídos por la deriva litoral.
- Está localizada en la margen marítima de la línea de vegetación, de darse el caso que exista vegetación en el área de playa.
- En aguas no afectadas por la marea, la línea de costa estará determinada por el contacto del nivel del agua con tierra firme.

Lo siguiente que se realizó fue la digitalización de la línea de costa con el objetivo de estudiar su dinámica. Para esto se realizará el siguiente procedimiento (Thieler et al, 2005):

- Se definió WGS84 como el Datum con el que se trabajó el proyecto.
- Se creó la cobertura digital (Shapefile) desde “ArcCatalog”, marcando botón derecho y asignándole tipo de atributo “Polyline”, y datum “WGS84”.
- Se utilizó el botón “Sketch Tool” de la herramienta “Editor” y se empezó con la digitalización de la línea de costa. Una vez terminada la digitalización se utilizó la

opción “Finish Sketch” y “Stop Editing”, en el menú “Editor”. Con esto fueron salvados los cambios.

- Una vez realizado este procedimiento se obtuvieron las diferentes líneas de costa vectorizadas (digitalizadas) las cuales estarán listas para ser trabajadas con un software llamado DSAS (Digital Shoreline Analysis System). Con este script fueron realizadas las diferentes proyecciones así como las variaciones, ya que se elige un año base para realizar estas comparaciones.

La data mínima requerida por el software para realizar el análisis está compuesta por tres elementos: Línea de Costa, Línea de Base, y Transectos (Thieler et al, 2005):

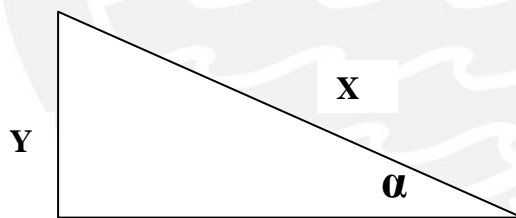
- Línea de Costa: Esta cobertura agrupa los vectores que representan la línea de costa para cada uno de los periodos con recubrimiento cartográfico, aerofotográfico o satelital (Leceta, 2009).
- Línea de Base: Vector que sirve como punto de inicio para los transectos que serán proyectados en forma perpendicularmente a esta. Se la ubica en forma paralela a una línea de costa de referencia, ya sea tierra o mar a dentro respecto a la misma. Es posible elaborarla como más de un segmento, tomando distintos años de referencia. Igualmente, es necesario fijar una dirección de flujo común a todos los segmentos, de modo tal que los transectos proyectados se enumeren según este sentido (Leceta, 2009). En el presente estudio se realizó un buffer de la línea de costa más antigua para realizar las mediciones.
- Transectos: Son proyecciones perpendiculares a la línea de base, distribuidas a lo largo de la misma a intervalos constantes que son definidos por el usuario. El programa los utiliza para el cálculo de las variaciones de la línea de costa, a partir de las intersecciones de estos con cada una de los registros de línea de costa. Las estadísticas de los resultados son almacenadas en la tabla de atributos asociada a cada registro del vector. La longitud asignada para cada transecto debe garantizar que cada uno de ellos intersekte todas los vectores de la línea de costa (Leceta,



2009). En el presente estudio se trabajó con transectos de 750 metros de longitud y con una separación de 200 metros entre cada transecto.

Una vez realizados los perfiles de playa, se procedió a calcular el margen de error estimado. Este índice está relacionado con la variación horizontal de la marea. Los desplazamientos horizontales del nivel de marea son proporcionales a la pendiente de la playa, por lo que alcanzan amplitudes máximas en playas de arena y de suave pendiente, en oposición a playas de cantos rodados y de pendiente elevada (Leceta, 2009). Este cálculo es necesario para determinar el margen de error que tenemos que tomar en cuenta al momento de analizar las variaciones de las líneas de costa en nuestro material cartográfico.

En primer lugar se tomó en cuenta para el cálculo de la pendiente de la playa los datos obtenidos en la playa anterior. Esto significa que de todo el perfil se han tomado en cuenta los datos de variación horizontal y variación vertical de la zona que está directamente influenciada por la acción de las olas, es decir, la zona de arenas húmedas.



Una vez determinada la variación horizontal (X) y la variación vertical (Y) se procedió a hallar el ángulo del perfil “ $\alpha$ ”. Esto mediante la siguiente ecuación trigonométrica:

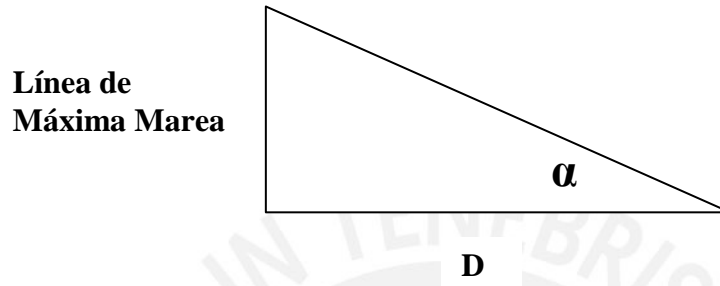
$$\text{Seno de } \alpha = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Hipotenusa}}$$

Donde:

$$\text{Cateto Opuesto} = \text{Variación Vertical (Y)}$$

$$\text{Hipotenusa} = \text{Variación Horizontal (X)}$$

Con esta ecuación tenemos el ángulo de nuestro perfil de playa. Este ángulo va a ser trabajo en el siguiente triángulo:



Donde:

$\alpha$  = ángulo hallado en la primera ecuación.

Línea de alta marea = Valor en metros de la máxima variación de la marea en el área de estudio, proporcionado por la HIDRONAV

D = Variación Horizontal

Para hallar el valor de “X” en el triángulo anterior es necesario aplicar la siguiente ecuación trigonométrica:

$$\text{Tangente de } \alpha = \frac{\text{Cateto Opuesto}}{\text{Cateto Adyacente}}$$

Los resultados se obtenidos se muestran en el siguiente cuadrado:

Perfil	Pendiente (°)	Amplitud Máxima de Marea (m)	Variación Horizontal de la marea (m)	Margen de Error Estimado (m)
Paíta 1 (Sur)	1.7464°	2.20	72.1311	36.06
Paíta 2 (Centro)	4.4608°	2.20	28.2051	14.10
Paíta 3 (Norte)	4.3967°	2.20	28.6086	14.30
Colán 1 (Norte)	2.6748°	2.20	47.1092	23.55
Colán 2 (Sur)	3.2485°	2.20	38.7324	19.37

*Tabla V: Margen de Error Estimado para la Bahía de Paíta.* Elaboración propia.

Una vez obtenido el margen de error podemos entrar a aplicar el análisis. La herramienta DSAS fue desarrollada por el United States Geology Service (USGS) y dentro de esta, se encuentran distintas aplicaciones para analizar los cambios en las líneas de costa. Esta herramienta ya fue utilizada en diversos estudios de caso, como por ejemplo Leceta (2009) que utilizó todas las aplicaciones; Grández (2010); Tavares y Drenkham (2010) también utilizaron esta herramienta para sus respectivos estudios de caso.

En el caso de la presente investigación fueron utilizadas las siguientes (Thieler et al, 2005):

- *Shoreline Change Envelope (SCE)*

Esta herramienta reporta los cambios de las líneas de costa más cercana y más lejana a la línea base en cada transecto. Representa el cambio total de los movimientos en la línea de costa pues no presta atención a los años de cada línea de costa.

- *Net Shoreline Movement (NSM)*

Muestra la distancia en que varió la línea de costa más antigua con la más nueva, representado su distancia total.

- *End Point Rate (EPR)*

Es calculado dividiendo la distancia entre la línea de costa más nueva y la más antigua entre el tiempo transcurrido entre los años estudiados. Esta aplicación funciona mejor cuando se analizan dos líneas de costa puesto que al tener una mayor cantidad de años ignora los datos intermedios.

### **7.3 Elaboración del mapa geomorfológico**

Como resultado de una síntesis de todos los datos obtenidos en los procesos anteriores se realizó un mapa geomorfológico de la zona de estudio. Se señala que es una síntesis pues si bien en la parte técnica se realizó una zonificación geomorfológica del área, en este mapa también se tomarán en cuenta las tendencias de la línea de costa para realizar un mapa donde se puedan identificar las zonas de mayor o menor erosión, así como las

más vulnerable ante las variaciones de la línea de costa. La superposición de estos datos en un mapa permitió además enriquecer la discusión sobre la tendencia en la variación de la línea de costa.

Para esto se utilizó el siguiente procedimiento, siempre en el software ArcGis 9.2:

- Se definió WGS84 como el Datum con el que se trabajó el proyecto.
- Se creó la cobertura digital (Shapefile) desde “ArcCatalog”, marcando botón derecho y asignándole tipo de atributo “Polygon”, y datum “WGS84”.
- Se insertó la imagen satelital utilizada para el análisis cartográfico. Para esto se hizo click en el ícono “Add Data”, luego se rutea la imagen satelital y si hace click en “Add”.
- Una vez insertada la imagen se utilizó el botón “Sketch Tool” de la herramienta “Editor” y se empezó con la digitalización de las unidades geomorfológicas. Una vez terminada a digitalización, “Finish Sketch” y “Stop Editing”, salvando los cambios.
- Una vez que fueron digitalizadas las unidades geomorfológicas, se debió agregar el atributo correspondiente. Esto porque se creó un polígono que no tiene datos, los cuales van fueron ingresados manualmente abriendo la tabla de atributos del shape, haciendo click con el botón derecho sobre el mismo y eligiendo la opción “Open Attribute Table”. En ese menú resultante nos dirigimos a “Options” haciendo click en “Add Field”; donde fue creado el campo para poner ponerle el atributo correspondiente. Estos atributos son los datos fueron obtenidos en la parte técnica de la metodología como tipo de perfil de playa y los registros fotográficos. Con estos procedimientos hemos digitalizados unidades geomorfológicas que no son identificadas en mapas de menor escala, como las cartas geológicas. Además, al tomar en cuenta los perfiles de playa hemos tenido la posibilidad de digitalizar zonas donde la pendiente de la playa es alta, media o baja. Todos estos datos fueron agregados en cada shape.

Finalmente fueron agregadas las líneas de costa y sus variaciones, lo que nos permitió identificar y digitalizar las zonas de mayor o menor erosión.



VIII. Resultados

8.1 PERFILES DE PLAYA

8.1.1 Zona Puerto de Paita

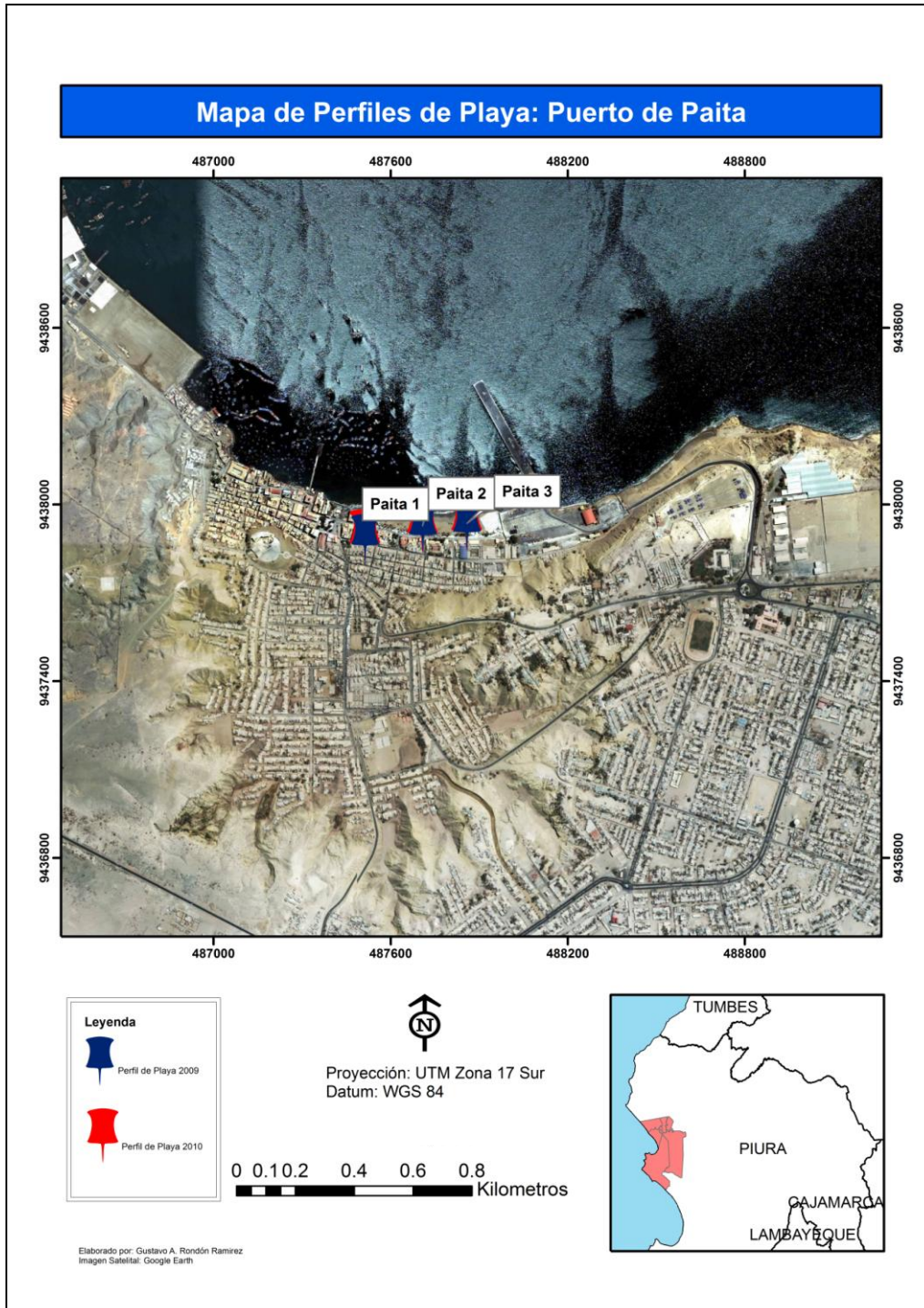
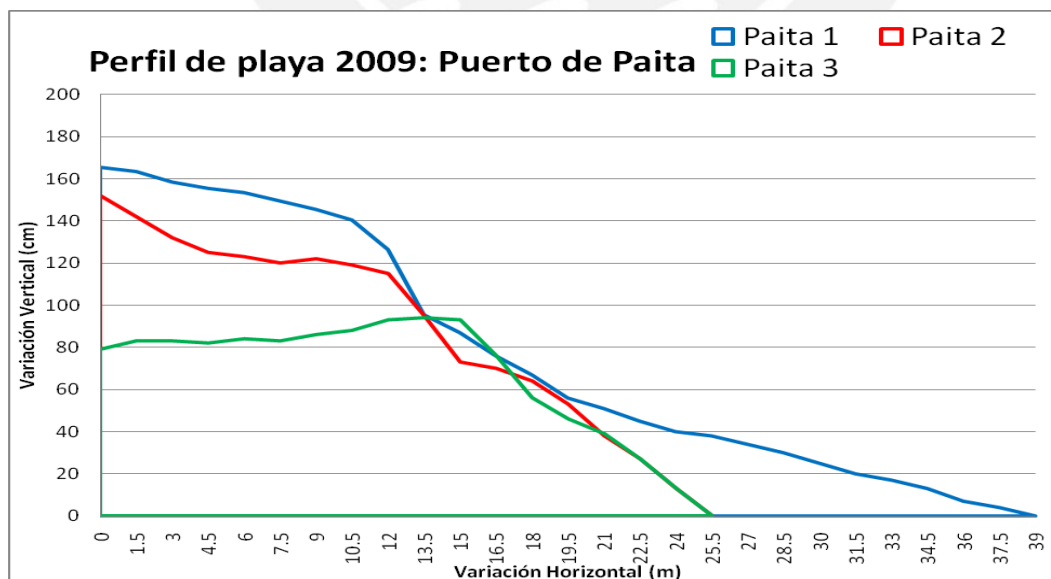


Figura 7: Perfiles de Playa en el Puerto de Paita. Elaboración propia.

Los perfiles tomados en el Puerto de Paita (Figura 7) poseen características importantes que deben ser mencionadas. En primer lugar, es que la zona donde se realizaron los perfiles de playa es la única con acceso directo al público en general dentro del puerto. Las otras zonas son inaccesibles debido a que la infraestructura instalada impide el libre tránsito y también debido a que las diferentes empresas que operan en el puerto cortan con paredes o tranqueras la continuidad del camino. En segundo lugar, se debe destacar la influencia antrópica en esta playa. Además de la infraestructura propia de un puerto, también están instalados en la playa juegos recreativos y embarcaciones encalladas. Debido a la cercanía con un pequeño muelle, esta zona además se presenta como un área de tránsito.

Al realizar los perfiles de playa (véase Figura 8) se percibió una calma en las olas que se debe a su ubicación dentro de la bahía. No obstante, al reconstruir los perfiles de playa estos permiten señalar que estamos ante una playa con perfil erosivo, con la presencia de una pendiente que se incrementan conforme uno se acerca al mar.



**Figura 8. Perfiles de Playa Puerto de Paita.** Elaboración propia



El perfil “Paita 1” es el que presenta la mayor pendiente, debido a su cercanía con un restaurante que da a la playa, el cual al tener una protección de piedras, genera una mayor acción erosiva en las zonas aledañas. Por su parte, el perfil “Paita 3”, cercano al muelle es el que presenta la pendiente más leve, debido a que el muelle está asentado sobre pilotes, los cuales dejan a las olas pasar.

### 8.1.2 Zona Colán-Río Chira

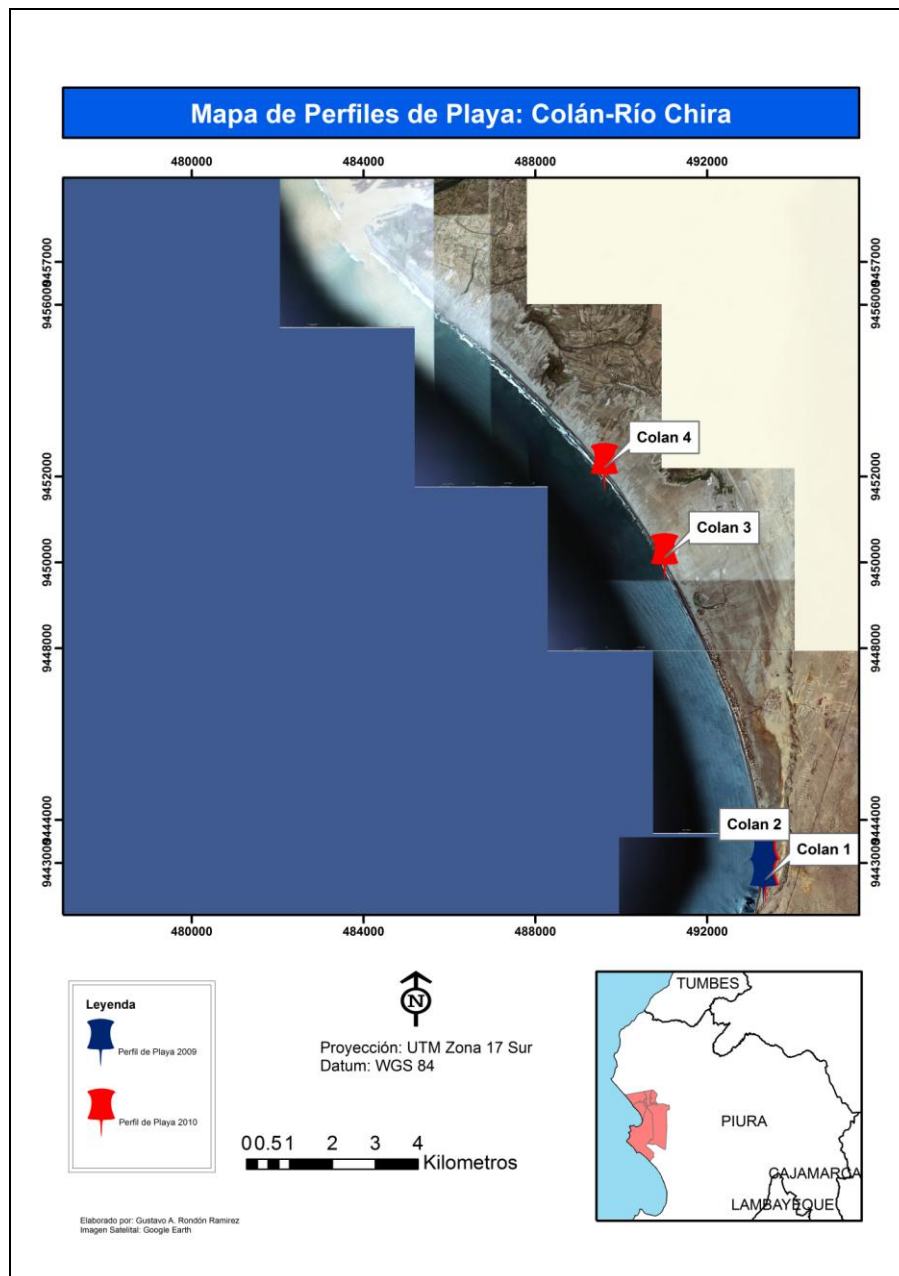


Figura 9: Perfiles de Playa Colán- Río Chira. Elaboración propia.

En esta área de la bahía (Figura 9) se realizaron perfiles de playa tanto al norte como al sur del Balneario de Colán. Lo primero que se debe destacar es que a diferencia de la zona del Puerto de Paita, la infraestructura antrópica instalada es mucho menor. Esta se limita principalmente a las casas ubicadas en el balneario. La otra gran diferencia está en la acción de las olas, ya que al ser una zona más expuesta si existe un oleaje constante y con intensidad. También es necesario mencionar que debido a ser una zona menos ocupada, el ancho de la playa es mayor.

En cuanto a los perfiles (véase Figura 10), el perfil “Colán 1” muestra claramente la presencia de un cordón litoral, el cual se encuentra a lo largo de todo el sector de la playa, siendo este fijado por vegetación natural. La fuerte pendiente erosiva que se observa inmediatamente después del cordón litoral, así como la suave pendiente posterior a esta nos indica que la acción de las olas no es tan fuerte en este sector de la playa. En el perfil “Colán 2” también es claramente erosivo, pero no encontramos la presencia de cordones litorales. Esto se puede deber a la mayor cercanía de este perfil con la ocupación humana, lo que le puede haber cortado continuidad a los cordones.

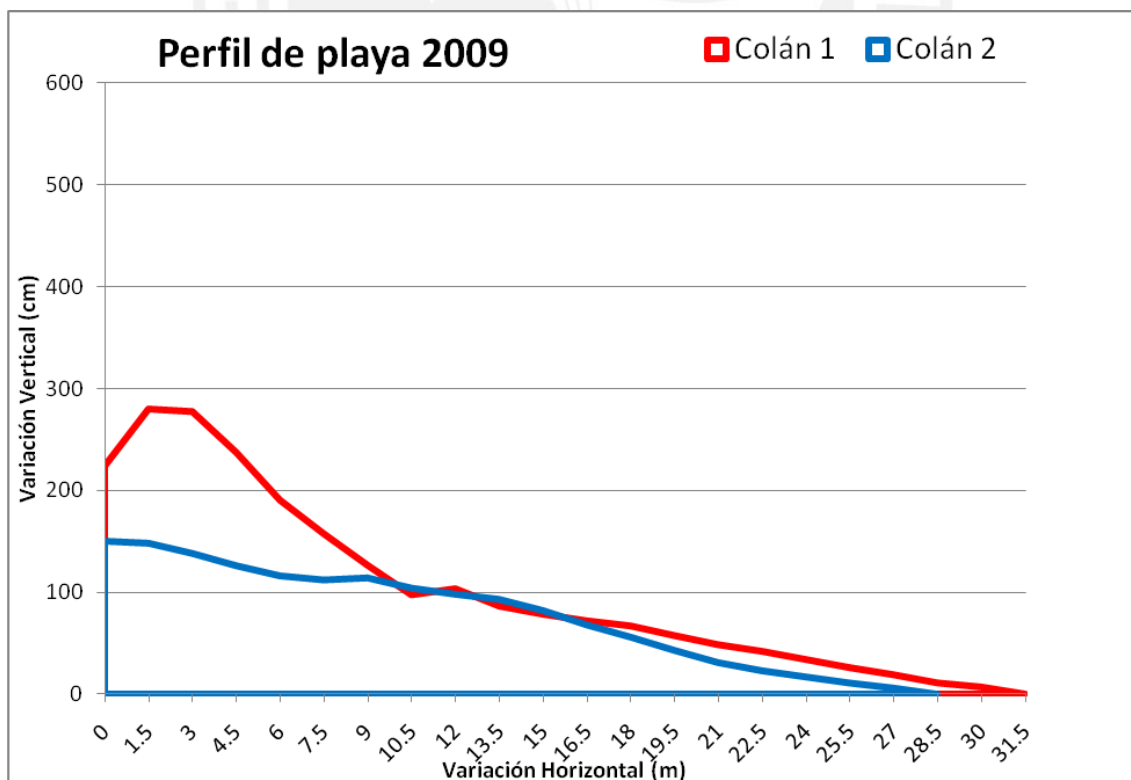
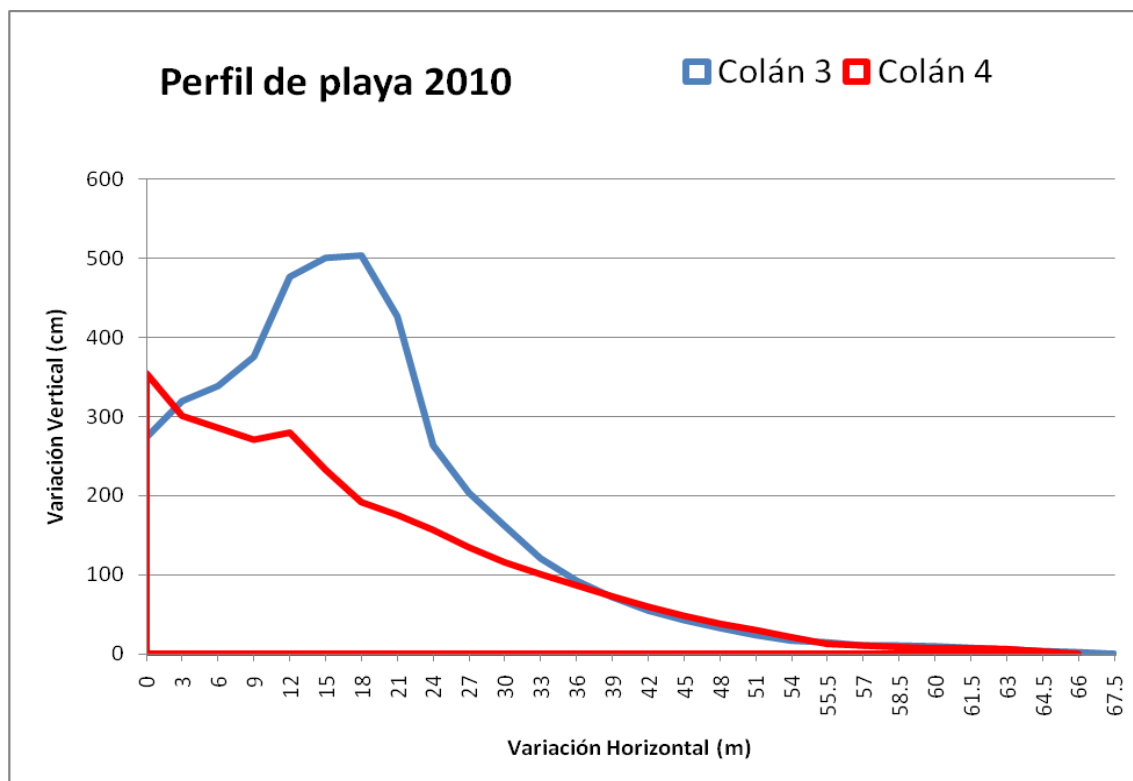


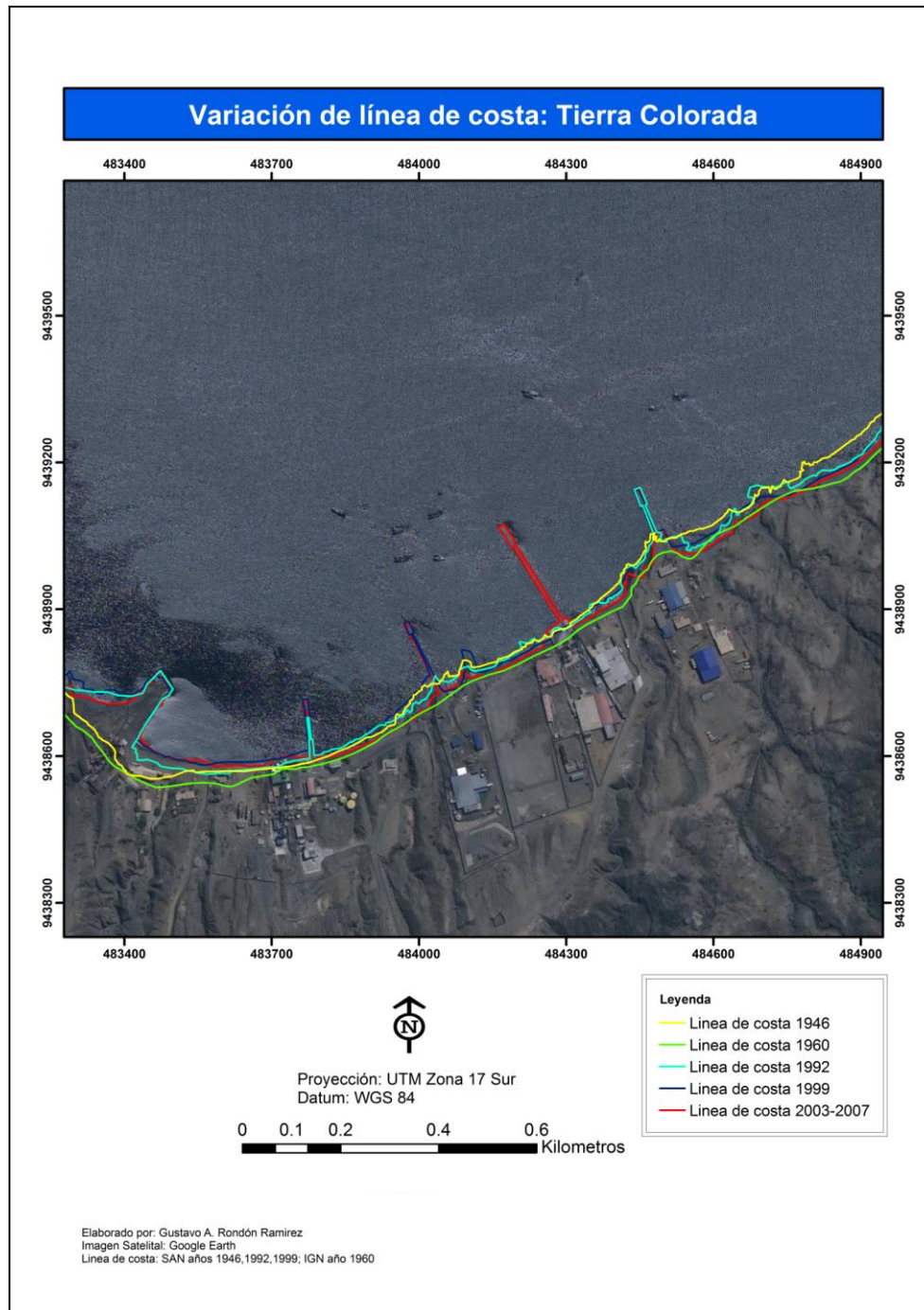
Figura 10. Perfil de Playa Balneario Colán 2009. Elaboración propia.

En los perfiles “Colán 3” y “Colán 4”, la presencia de los cordones litorales está más definida. El primero de estos el cordón supera los 2 metros de altura y presenta una gran pendiente inmediatamente después del cordón litoral. El segundo de ellos fue tomado desde la cúspide de un conjunto de pequeñas dunas fijadas por vegetación (verdologa), pues representaba el tipo de playa que se encontraba en la zona. Esta formación de pequeñas dunas sufría la acción de las olas. En las zonas posteriores a la playa se podía apreciar la acción del viento, el cual formaba campos de dunas.



*Figura 11. Perfil de playa Balneario Colán 2010. Elaboración propia*

## 8.2 ANÁLISIS CARTOGRÁFICO

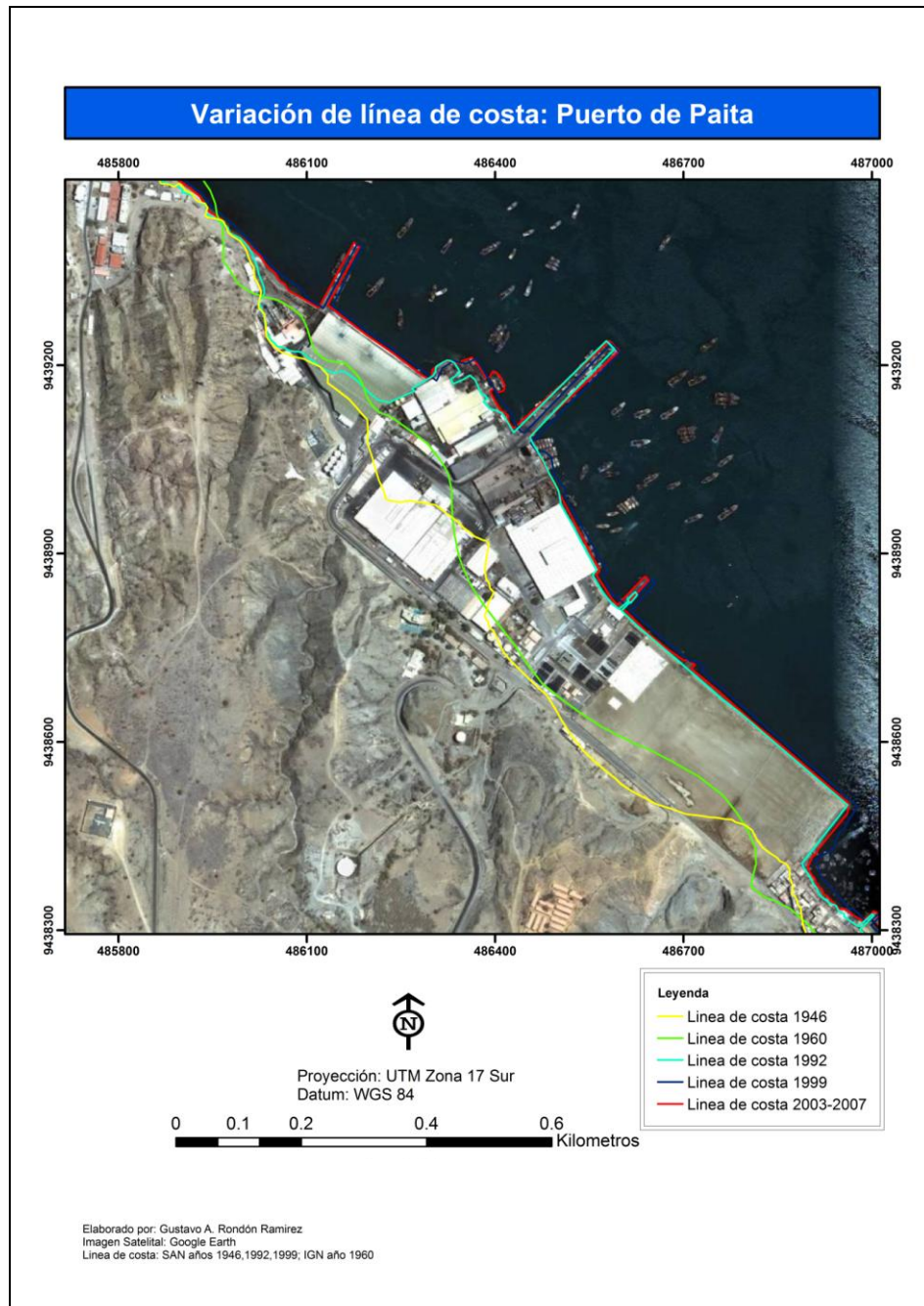


**Figura 12: Variación línea de costa en Tierra Colorada.** Elaboración propia.

La zona que vemos en el mapa (Figura 12) corresponde a la más occidental de la Bahía de Paita, conocida como Tierra Colorada. Lo que resalta a primera vista es el agente modificador de la línea de costa a lo largo de los años: el ser humano. La instalación de muelles, puertos, depósitos y otras instalaciones en el litoral ha generado una gran



transformación en esta zona. Entre los años 1960 y 2007 se puede ver que se han construido 5 muelles, lo cual ha originado principalmente una sedimentación en esta zona. No se puede distinguir efectos de eventos naturales, pues la influencia antrópica es bien marcada. Al ser la zona menos protegida de la bahía se puede señalar que la acción de las olas es más fuerte, por lo que la presencia de muelles de manera consecutiva puede alterar la dinámica en el transporte de sedimentos.



**Figura 13: Variación línea de costa en el Puerto de Paíta.** Elaboración propia

Esta otra zona (Figura 13) corresponde a la parte más occidental del Puerto de Paita. De la misma manera que en la Punta Colorada, existe una fuerte variación en la línea de costa, que se puede considerar como un proceso de sedimentación pero como vemos en el mapa, este se debe a la instalación de infraestructura portuaria. Entre los años 1946 y 1960 si bien existe una variación en las líneas de costa, se puede señalar que está en un rango esperado, que podría ser considerado dentro del margen de error. Sin embargo, a partir de la década de 1980 y 1990 la instalación de estructuras portuarias hizo que la línea de costa retrocediera varios cientos de metros, estabilizándose durante los últimos dos años de estudio (1999 y 2007).

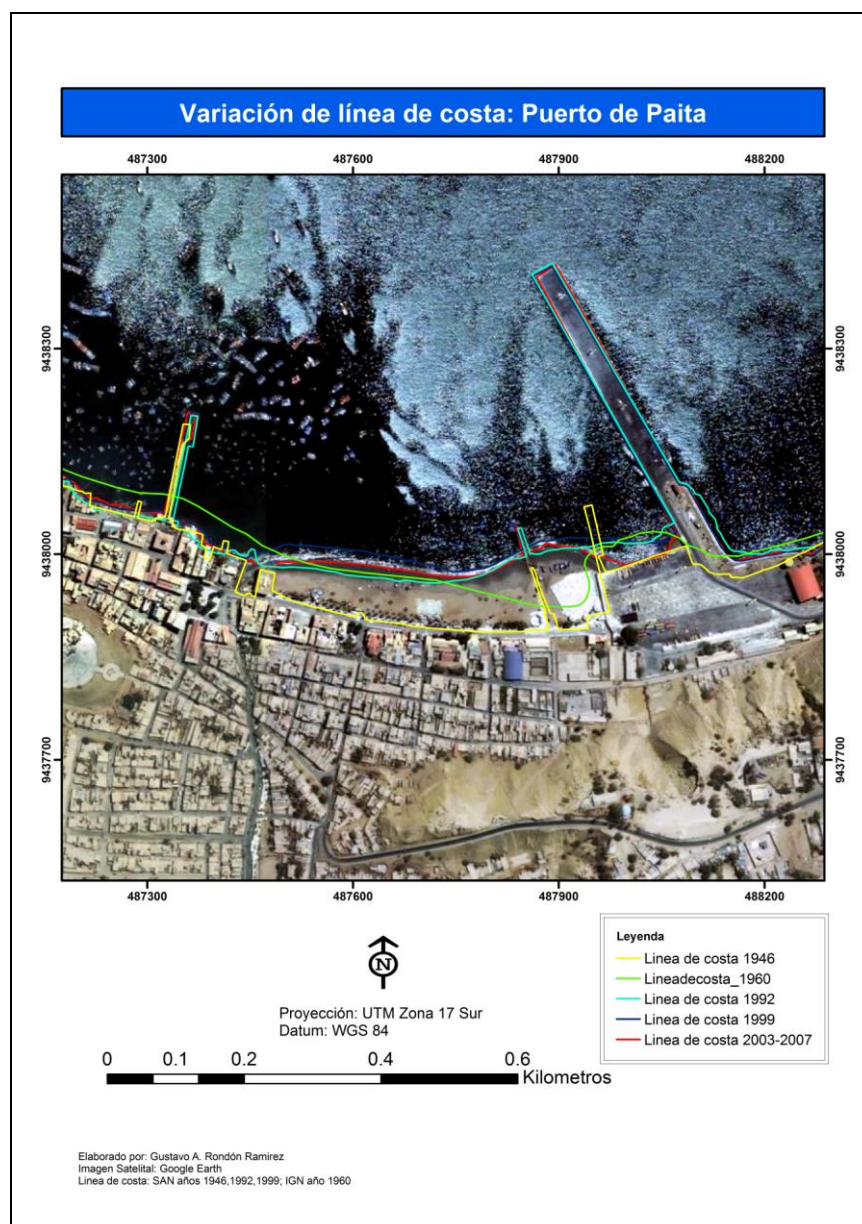


Figura 14: Variación línea de costa en el Puerto de Paita. Elaboración propia



La zona analizada (Figura 14) en este mapa corresponde al Puerto de Paita, en su parte central. Lo primero que se tiene que señalar es que esta zona es donde empezó la actividad marítima de la bahía, pues como se puede ver en el mapa, ya en el año 1946 había estructuras portuarias como los muelles. En la línea de costa del año 1960 se observa que no se muestran las estructuras portuarias pero si apreciamos un fenómeno similar a lo visto en Punta Colorada, sedimentación producto de las estructuras. Este fenómeno se consolida en los años posteriores, sin embargo, entre las líneas de costa de los años 1992 y 1999 vemos que el fenómeno de sedimentación es aún mayor, coincidiendo con el evento El Niño 1997/1998. La influencia del evento El Niño en este proceso de sedimentación extraordinario podría verse respaldado porque sí existe estabilidad en las estructuras en estos años, es decir, se sedimenta más en el área central no así en las zonas adyacentes a las estructuras portuarias.



**Figura 15: Variación línea de costa en acantilados.** Elaboración propia

Esta zona (Figura 15) corresponde a los acantilados que separan el Puerto de Paita y las playas de Colán. En esta zona se ve como las líneas de costa presentan una estabilidad mayor entre ellas, siendo un indicador que tal vez la acción de fenómenos del calentamiento global o eventos El Niño repercuten en zonas vulnerables como playas abiertas y planas, no tanto en costas con acantilados. Si bien existe un movimiento en las líneas de costa, este se encuentra dentro de un margen de error esperado.

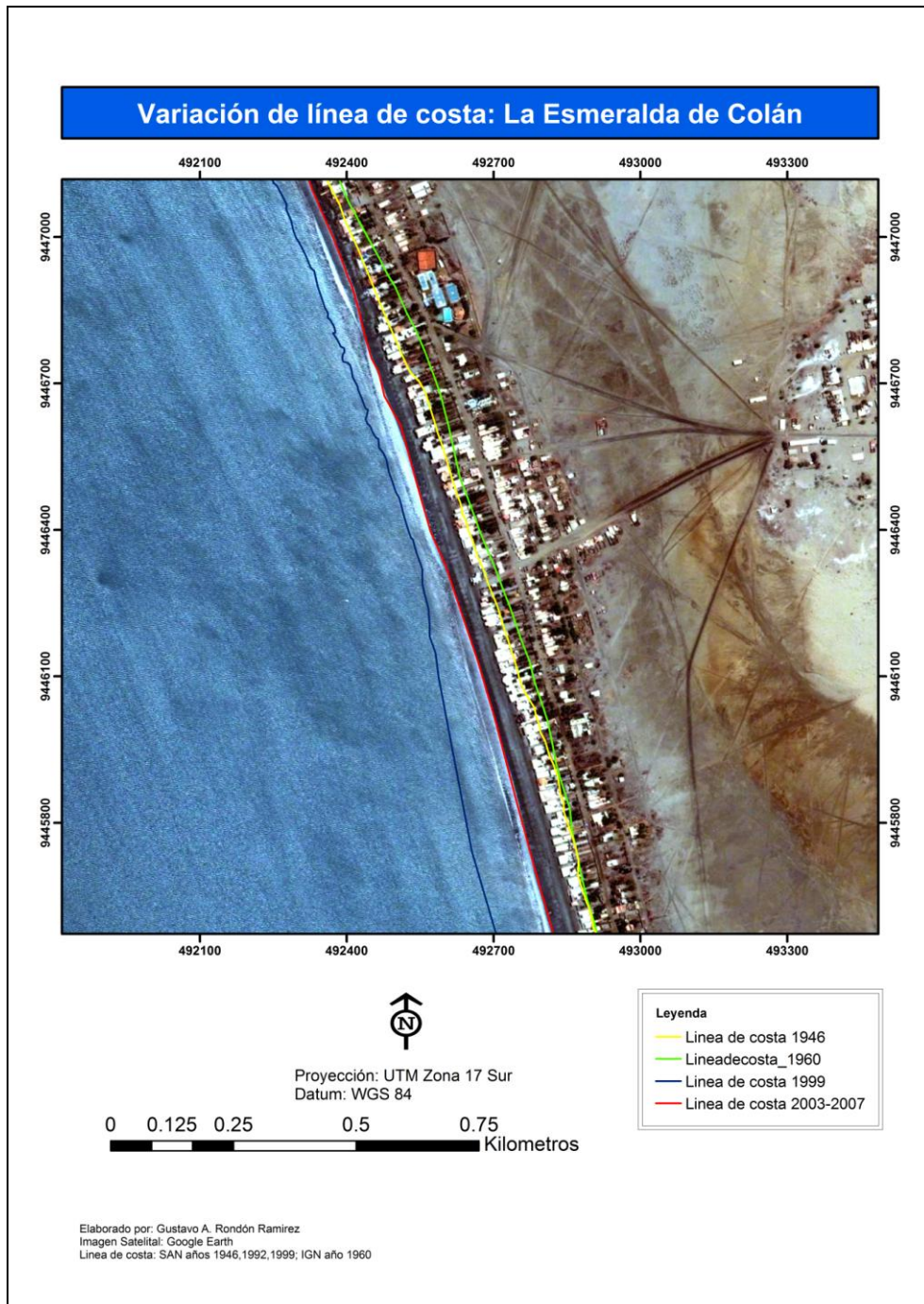
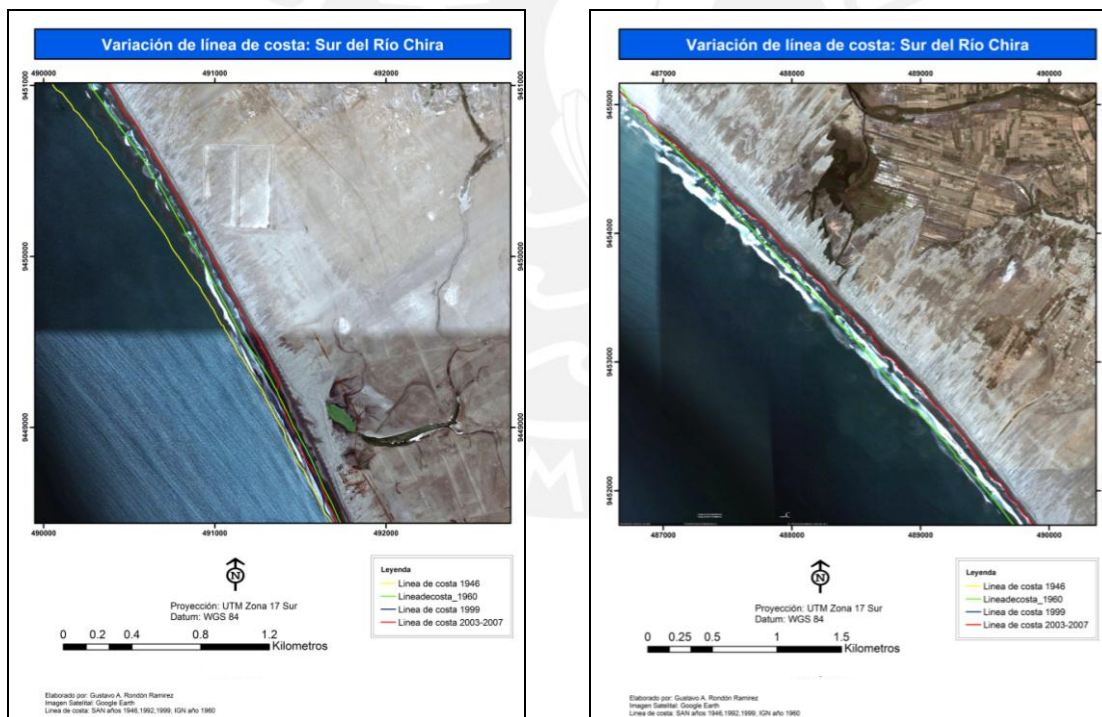


Figura 16: Variación línea de costa en el Balneario de Colán. Elaboración propia

El mapa (Figura 16) corresponde a la zona de la Esmeralda de Colán. Lo primero que se señala es que el impacto del evento El Niño se distingue claramente. La línea de costa del año 1999 nos muestra que luego del evento de 1997/1998 el mar retrocedió considerablemente revertiéndose gradualmente a lo largo de los años. Esto puede estar relacionado a la mayor presencia de sedimentos producto del aumento de las lluvias en el norte. Si vemos las líneas de costa de los años 1946 y 1960 nos damos cuenta que estábamos ante un proceso erosivo que fue disminuyendo con el paso de los años. La línea de costa actual representa un punto intermedio entre las líneas de costa mencionadas anteriormente. Cabe señalar que la primera línea de casas observadas en el mapa, son en realidad la segunda línea de casas, pues las primeras fueron destruidas en el evento El Niño 1982/1983 y 1997/1998. Con este dato y observando las líneas de costa histórica se podría señalar que en un primer momento el nivel del mar aumenta y genera erosión para luego transformarse en un proceso sedimentario.



**Figuras 17 y 18: Variación línea de costa en el sur del Río Chira.** Elaboración propia

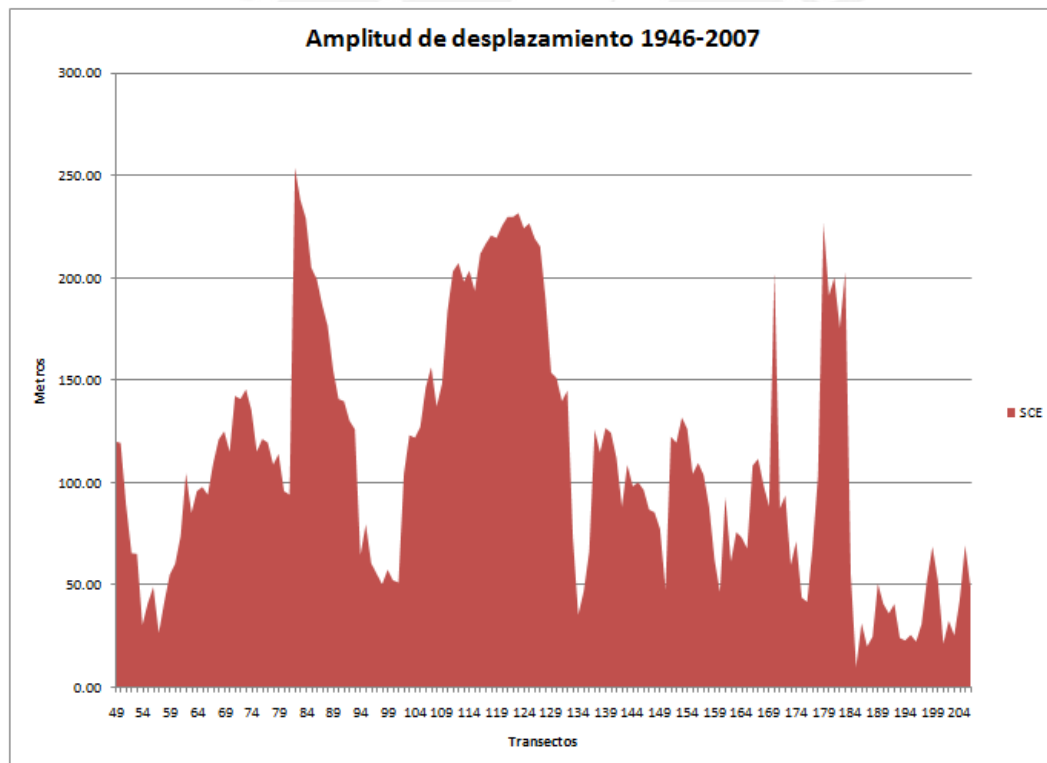
Estos mapas (Figuras 17 y 18) nos muestran las zonas al sur de la desembocadura del río Chira. En estas zonas se ve que se da un fenómeno inverso a lo visto en otras zonas: el proceso erosivo predomina sobre el sedimentario. En el mapa de la izquierda, desde



el año 1946 ha habido procesos erosivos graduales, que alcanzan varios cientos de metros. El mismo fenómeno se da en el mapa de la derecha, donde entre el año 1960 y la línea de costa actual también se ha dado un proceso de fuerte erosión. Estos procesos también podrían ser relacionados con los eventos El Niño y a las corrientes que se dan en la Bahía de Paita, pues si bien el evento El Niño puede generar una mayor cantidad de sedimentos, estos no necesariamente son transportados cerca de la desembocadura del río Chira.

### 8.3 ANÁLISIS ESPACIAL-TEMPORAL

El primer índice que se trabajó fue Shoreline Change Envelope (SCE) que reporta los cambios de las líneas de costa más cercana y más lejana a la línea base en cada transecto.

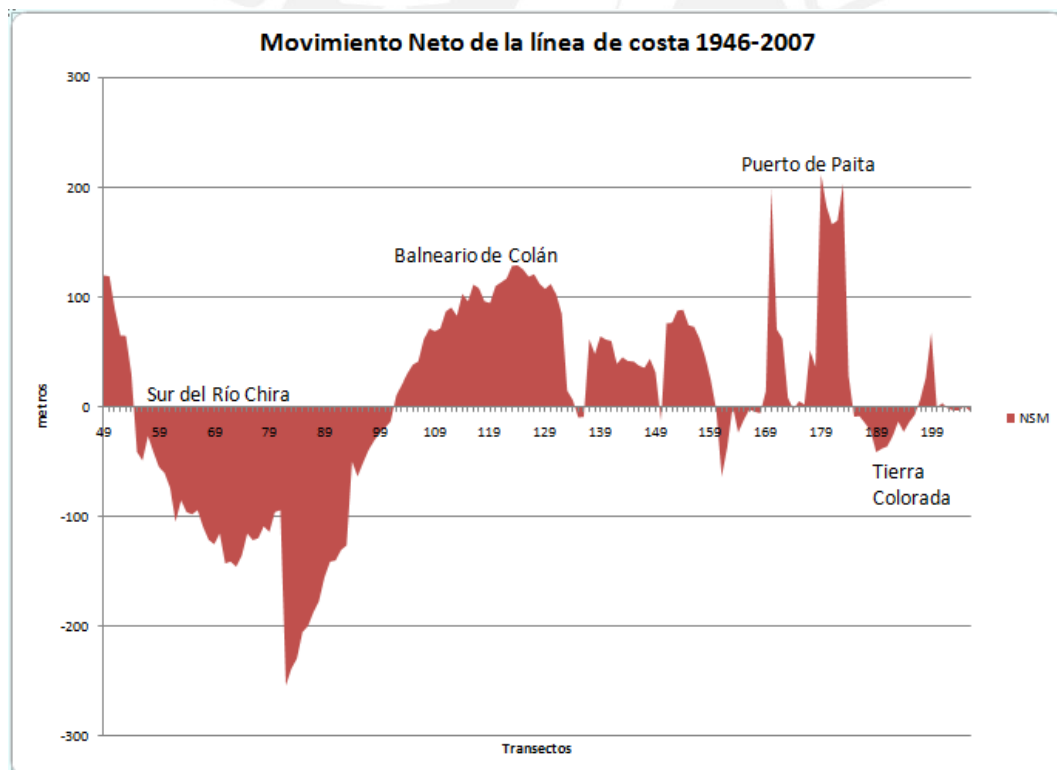


**Figura 19:** Amplitud de desplazamiento (SCE), Bahía de Paita. Elaboración propia

En el gráfico (Figura 19) se muestra la amplitud de desplazamiento en el área de estudio, siendo el eje horizontal los transectos generados por el DSAS para cuantificar

los cambios. Los desplazamientos están medidos en metros, por lo que vemos que los valores más altos de desplazamiento alcanzan más de 200 metros, mientras que lo más desplazamientos más bajos oscilan alrededor de los 50 metros. Sin embargo, al tener en cuenta nuestro margen de error de 36 metros aproximadamente, vemos que la línea de costa en la zona de estudio no es tan estable, pues el 75% de los valores de la amplitud de desplazamiento están por encima de este margen de error. Con los siguientes parámetros analizados se puede ver como fue el comportamiento de la línea de costa según unidades más específicas.

El segundo parámetro trabajado fue el Movimiento Neto de la línea de costa, el cual muestra la distancia en que varió la línea de costa más antigua con la más nueva, representado su distancia total. Esto quiere decir, que a diferencia del primer parámetro, en este caso tenemos una cuantificación más histórica de la línea de costa.



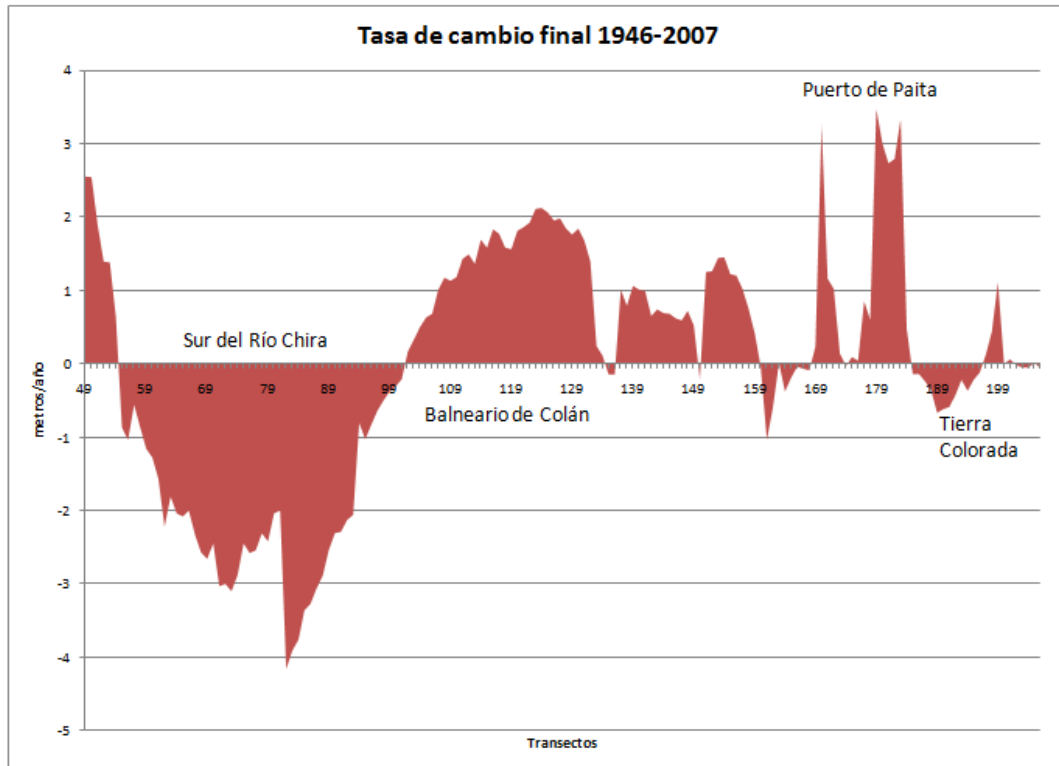
**Figura 20:** *Movimiento Neto de la línea de costa (NSM), Bahía de Paita.* Elaboración propia

En el gráfico (Figura 20) se ha etiquetado las zonas a las cuales se le está haciendo referencia en el análisis, para así poder entender mejor los resultados mostrados. Como

se puede ver, se distinguen de manera clara los dos procesos: erosión al sur del río Chira y sedimentación en la mayor parte del resto del área de estudio. La erosión alcanza valores en promedio de 100 metros, sin embargo, también hay zonas donde esta alcanza valores superiores a los 200 metros. Por otro lado, la sedimentación se da principalmente en las zonas de las playas de Colán y en el Puerto de Paita. En el primer caso, la sedimentación se da producto de eventos naturales, pues no hay estructuras costeras, mientras que en el Puerto de Paita se existen las mismas y las cuales se aprecian claramente en el gráfico. Finalmente, en Tierra Colorada se ve que hay un proceso erosivo, sin embargo este está dentro del margen de error estimado, a diferencia de la sedimentación que si supera a este margen de error. En la zona del sur del río Chira el promedio del Movimiento Neto de la línea de costa es de -94.22 metros, siendo el valor de erosión promedio más alta según las zonas delimitadas. Por su parte, en la zona del Balneario de Colán se encuentra el valor promedio más alto de sedimentación: 68.73 metros. En la zona de los acantilados (41.55 metros) y en Tierra Colorada (-6.97 metros), en mayor medida, los valores de sedimentación están cercanos al margen error esperado (+/- 36 metros), por lo que no se puede hablar de un gran dinamismo en la línea de costa. En el Puerto de Paita el valor promedio obtenido, 48.98 metros nos habla de una sedimentación significativa. A nivel general y obteniendo un promedio de todos los valores señalados en los transectos, en la Bahía de Paita se obtiene un movimiento neto de la línea de costa (NSM) de 3.11 metros.

Finalmente, se analizó el parámetro de la Tasa de cambio final (EPR) que fue calculado dividiendo la distancia entre la línea de costa más nueva y la más antigua entre el tiempo transcurrido entre los años estudiados.





**Figura 21:** Tasa de cambio final (EPR), Bahía de Paita. Elaboración propia

Como se puede observar este gráfico (Figura 21) guarda relación con el mostrado anteriormente lo que garantiza su lógica, pues a mayor diferencia entre las líneas de costa, mayor será el índice obtenido. Al igual que en el parámetro anterior, el sur del río Chira es donde encontramos los índices más altos de erosión, que en sus valores más altos alcanza casi los -4 metros/año. Sin embargo, en promedio en esta zona el promedio del proceso de erosión es de -1.77 metros/año.

Por su parte, en las playas de Colán vemos que la sedimentación alcanza valores un poco más bajos, siendo su máximo 2 metros/año. En esta zona, el promedio es de 1.13 metros/año. En la zona del Puerto de Paita, la sedimentación si alcanza valores más altos dada la instalación de infraestructura portuaria, superando en algunos casos los 3 metros/año pero siendo su promedio 0.8 metros/año. Finalmente, en Tierra Colorada es donde se reportan los índices más bajos, siendo el promedio 0.10 metros/año. No obstante, también en esta zona encontramos que hay una ligera erosión que alcanza un índice promedio de -0.2 metros/año.

Finalmente, al realizar un promedio de todos los transectos obtenemos que en la Bahía de Paita la tasa de cambio final (EPR) posee un valor de -0.02 metros/año, es decir, presenta a nivel global una muy ligera erosión.

Con los gráficos que se muestran a continuación (Figuras 22 – 26), se ve de una manera más detallada las tasas de cambio final según las áreas antes señaladas.

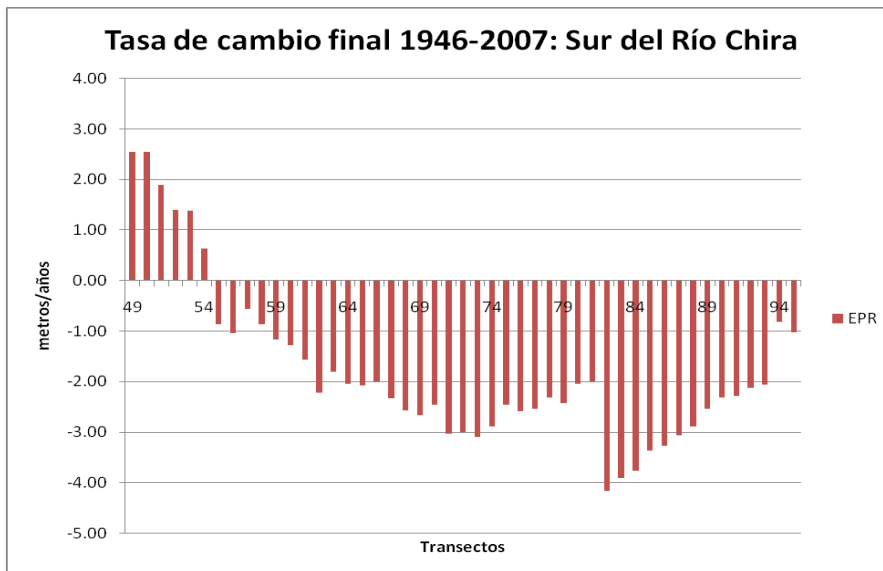


Figura 22: Tasa de cambio final 1946-2007: Sur del Río Chira. Elaboración propia

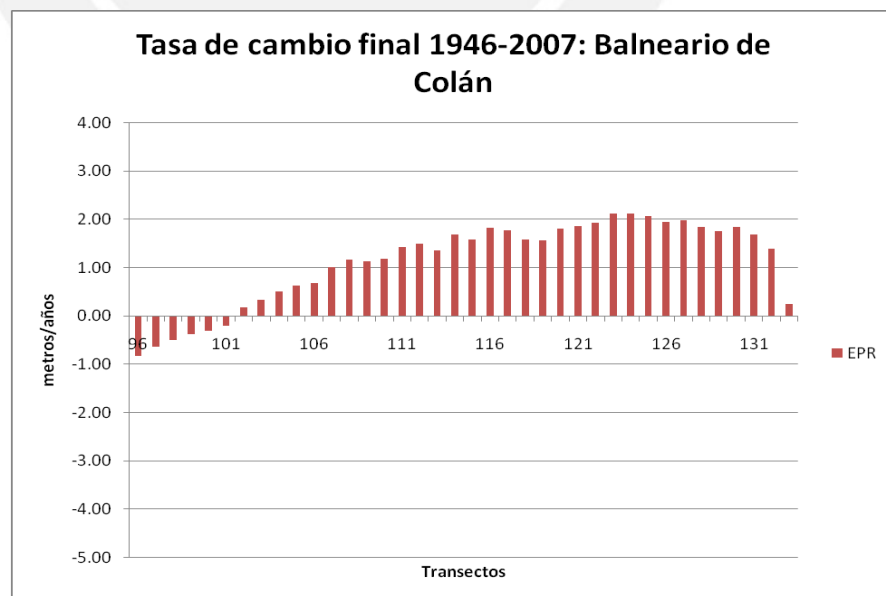


Figura 23: Tasa de cambio final 1946-2007: Balneario de Colán. Elaboración propia

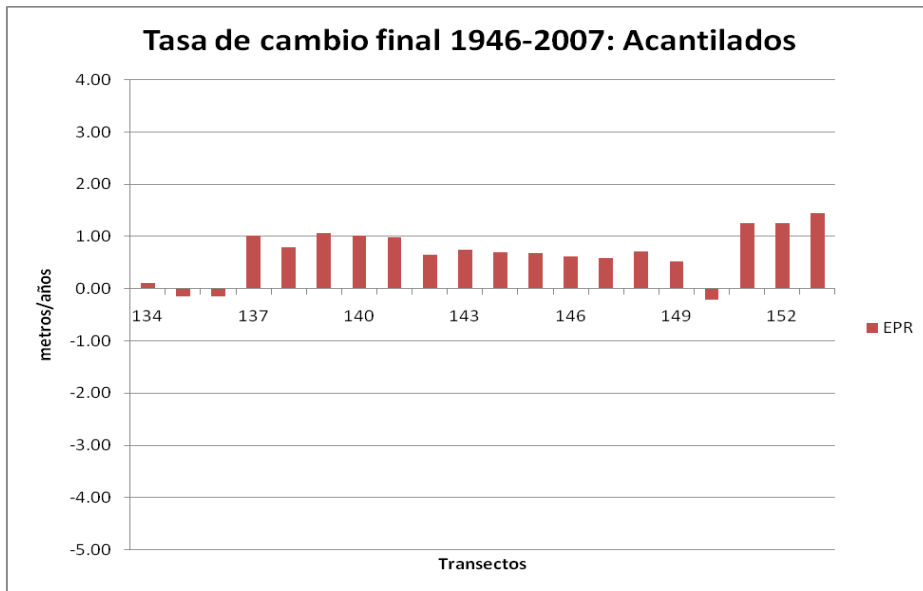


Figura 24: Tasa de cambio final 1946-2007: Acantilados. Elaboración propia

Al haber igualado las escalas en todos los gráficos, se puede ver donde obtenemos los mayores índices, lo que nos indican dónde encontramos las mayores dinámicas en la línea de costa en la Bahía de Paita. Es así que se puede definir como las zonas de mayores índices de tasa final las zonas del sur del río Chira, el Balneario de Colán y el Puerto de Paita.

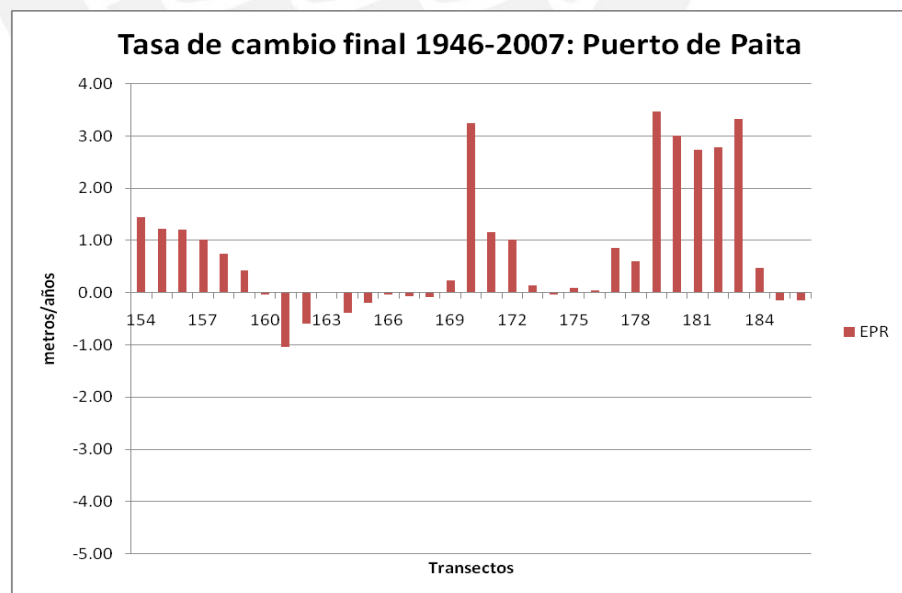
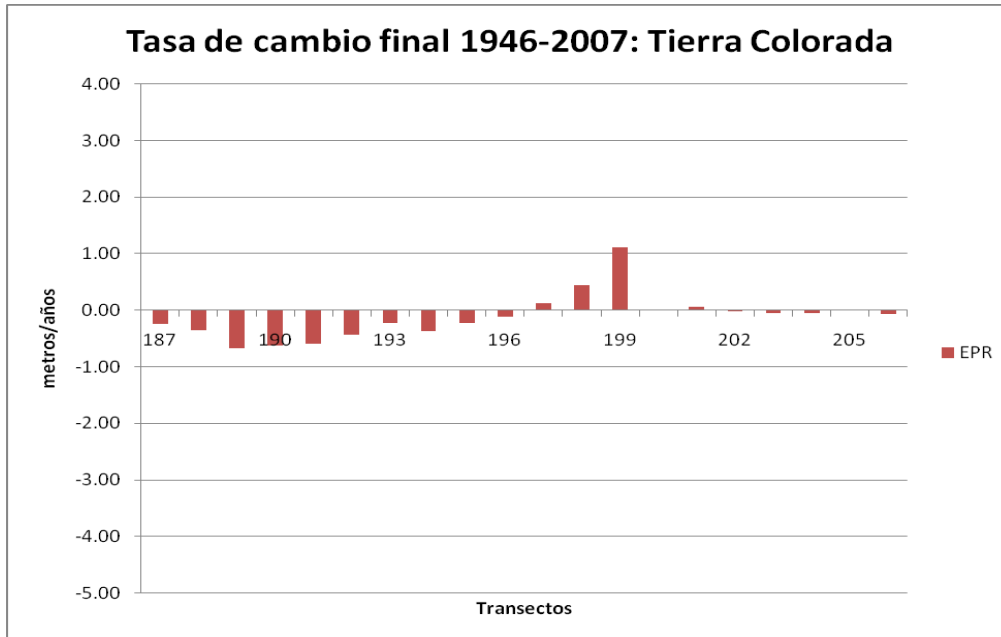


Figura 25: Tasa de cambio final 1946-2007: Puerto de Paita. Elaboración propia



**Figura 26:** Tasa de cambio final 1946-2007: Tierra Colorada. Elaboración propia

Como se ha podido observar al analizar los índices de la tasa de cambio final (EPR), entre el año 1946 y el año 2007, la zona del Puerto de Paita y la zona del sur del río Chira son las que presentan el mayor dinamismo, la primera presentando una tendencia sedimentaria y la segunda una tendencia erosiva.

Una vez analizados estos datos obtenidos a través del script DSAS y agregando los resultados obtenidos en los perfiles de playa, las observaciones de campo y los usos vistos del suelo, se ha elaborado un mapa geomorfológico (véase Figura 27).

### 8.4 MAPA GEOMORFOLÓGICO

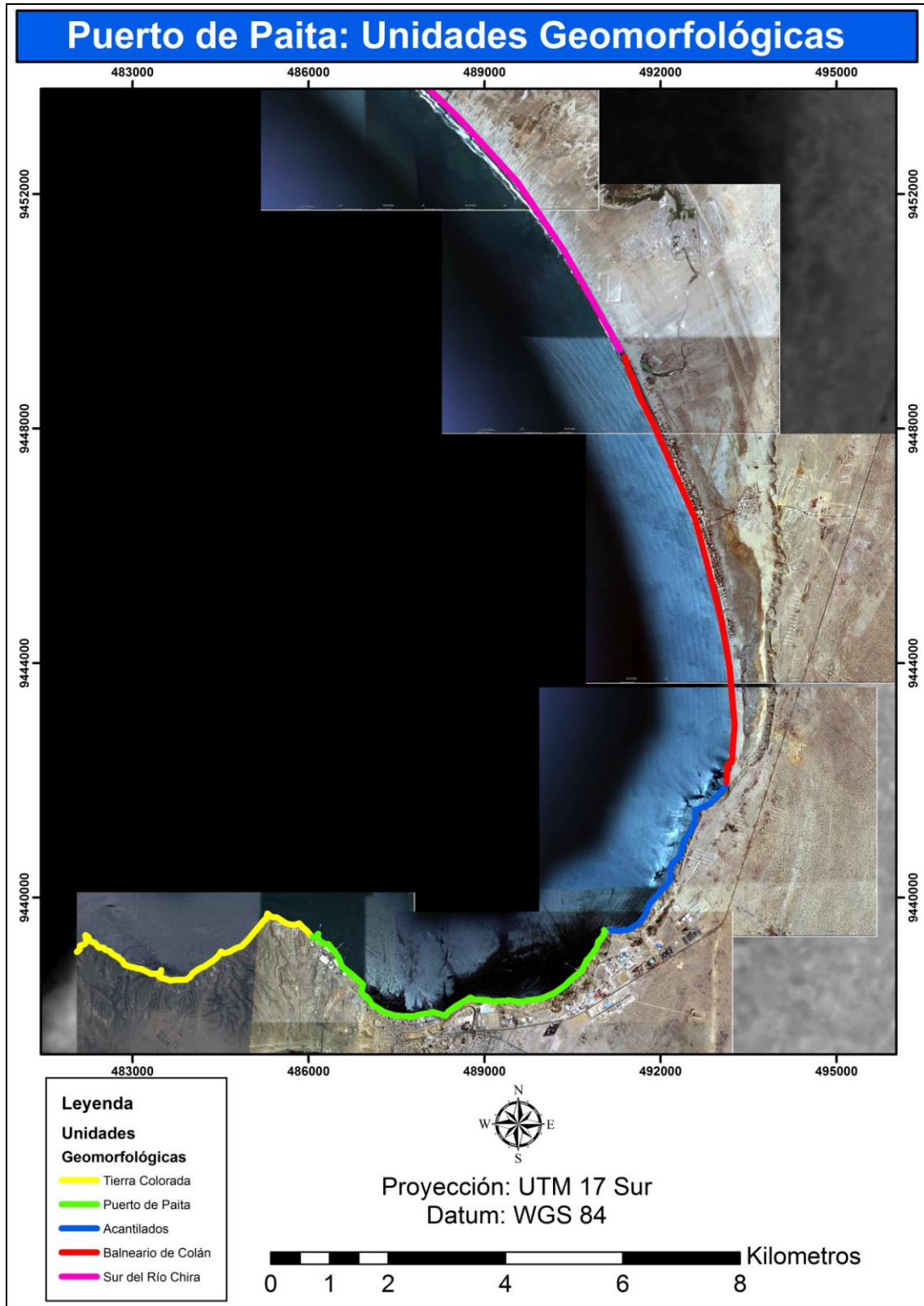


Figura 27. Unidades Geomorfológicas. Elaboración propia



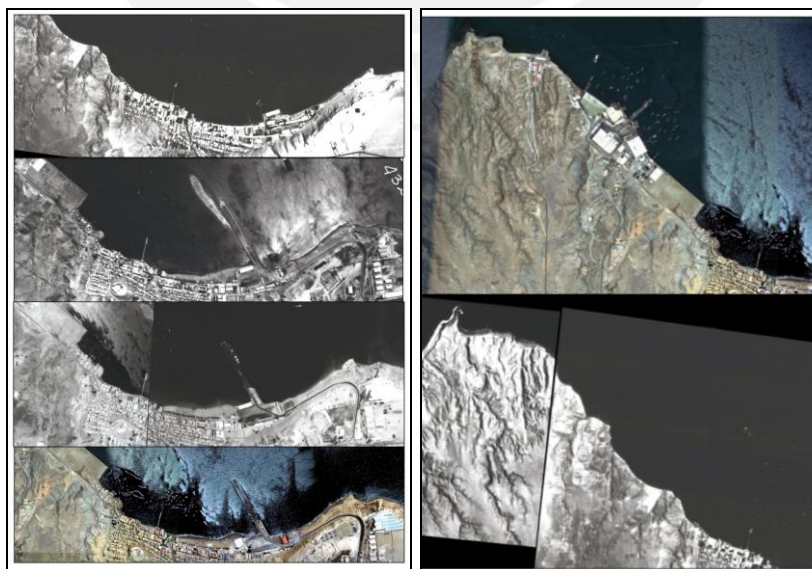
UNIDAD	DESCRIPCIÓN
N° 1: Tierra Colorada	Área de infraestructura portuaria. Geomorfológicamente presenta acumulaciones de sedimentos (playas) entre las estructuras costeras y grupos de peñas y elevaciones rocosas. La pendiente de playa es leve en las playas y fuerte en las zonas rocosas. La línea de costa presenta una erosión de 7 metros en los años de estudio. Sin embargo, en 60 años la tasa es de sedimentación (0.10 m/año).
N° 2: Puerto de Paita	Conjunto de playas e infraestructura portuaria. La playa presenta una pendiente promedio de 3° en el mismo puerto, siendo el perfil reflectivo. El comportamiento de la línea de costa es marcadamente sedimentario (0.8 m/año). La tendencia de la línea de costa observada es de una fuerte sedimentación luego de Evento El Niño. La arena es más gruesa que en la zona del Balneario de Colán. Tanto las acumulaciones de sedimentos como la infraestructura portuaria y el asentamiento de la población se dan sobre la plataforma costanera.
N° 3: Acantilados	Acantilados que forman parte de la plataforma costanera, con una pendiente de 45°. Casi no existen acumulaciones de sedimentos en su lecho, contacto directo del mar y el acantilado. Sin embargo, la línea de costa presenta una ligera sedimentación (0.68 m/año).
N° 4: Balneario de Colán	Presenta una pendiente de playa promedio de 2.5°, distinguiéndose dos sectores según su perfil: uno disipativo, cerca del Balneario de La Esmeralda y otro erosivo, en los sectores norte y sur del mismo balneario. Geomorfológicamente encontramos cordones litorales en la zona cercana a los acantilados y también en la zona cercana al río Chira. Estos están fijados por vegetación, principalmente verdolaga. En la zona cercana al río Chira la acción eólica es intensa, desarrollándose campos de dunas inmediatamente después de los cordones litorales. La tendencia de la línea de costa es sedimentaria pues presenta un índice de 1.13 metros/año.
N:° 5: Sur del río Chira	Estuario ribereño formado por depósitos fluviales del río Chira. Se observa un conjunto de cordones litorales y tierras de cultivos. La tendencia de la línea de costa es claramente erosiva (-1.77 metros/año). Esto debido a la dinámica generada durante los eventos El Niño que trae una gran cantidad de sedimentos y la acción de las olas, las cuales transportan el sedimento hacia el sur. Los sedimentos en esta zona son mixtos: granos finos y gruesos.

**Tabla VI. Unidades Geomorfológicas.** Elaboración propia.

## Discusión

El presente trabajo de investigación tenía como hipótesis que dada las tendencias actuales de elevación del nivel del mar mencionadas por el IPCC y dado los eventos El Niño que en la costa norte del Perú causan mayores impactos en el medio físico, la línea de costa iba a tener una tendencia erosiva. Si se examina los datos fríamente, podríamos señalar que es cierto, en la Bahía de Paita la tendencia global es erosiva (-0.02 metros/año). Sin embargo, el movimiento neto de la línea de costa presenta un balance positivo (3.11 metros) lo que permite señalar que en primer lugar no podríamos hablar de una tendencia erosiva, pues como hemos visto en los resultados obtenidos, a una escala mayor cada sector o zona dentro de la Bahía de Paita tiene unas características específicas. Estudios como los de Leceta (2009), Grández (2010) y Tavares & Drenkham (2010) confirman que a nivel local el aumento del nivel del mar no tiene el impacto que si tiene en otras partes del planeta, como Estados Unidos y Brasil. Mencionando esto se discuten a continuación los factores que influyen de manera más fuerte en la tendencia de la línea de costa en la Bahía de Paita.

Lo primero que se debe mencionar es la influencia antrópica en la zona del Puerto de Paita. Como se puede ver en las figuras que se encuentran a continuación, la ocupación ha ido aumentando con el paso de los años.



**Figuras 28 y 29: Puerto de Paita 1946-1992-1999-2007**

La instalación de esta infraestructura portuaria ha producido en la zona del Puerto de Paita y Tierra Colorada una sedimentación. Este proceso de sedimentación dista de los obtenidos en estudios como el de Leceta (2009), en la Bahía de Miraflores y León & Tavares (2003), en Salaverry, donde al instalarse infraestructura en la playa el fenómeno que se desarrolló fue el de una fuerte erosión. Sin embargo, se puede señalar que si bien la intervención antrópica está presente, la infraestructura instalada no es similar, ya que en los estudios antes mencionados se instalaron estructuras de protección (molones, rompeolas, barreras de piedra), que produjeron con el paso del tiempo una mayor erosión. En el caso del Puerto de Paita, la presencia de estructuras responde principalmente a muelles y plataformas, lo que genera un menor impacto a la dinámica de las olas. Además, al ser una bahía está muy protegida de la acción de olas de gran energía, por lo que el flujo de sedimentos puede ser atrapado entre los múltiples muelles que se encuentran a lo largo de la zona portuaria.

En cuanto al impacto del evento El Niño en la tendencia de la línea de costa, se ha observado que si bien en un principio debido a sus consecuencias inmediatas puede ser visto como un agente erosivo, con el tiempo genera una importante sedimentación. Con esto se descarta la hipótesis de que el evento El Niño genera o refuerza una tendencia erosiva, muy por el contrario, lleva a observar en el área de estudio una fuerte tendencia de sedimentación.

Woodman, R. & Mabres (1993), en el estudio sobre la formación de cordones litorales en Máncora, señalan que durante las extraordinarias lluvias los ríos y quebradas de Piura trajeron una gran cantidad de piedras y sedimentos, los cuáles fueron depositados en grandes abanicos en las cercanías de las desembocaduras. Esta acumulación de sedimentos respalda los resultados obtenidos donde la línea de costa del año 1999, inmediata al Evento El Niño 1997/1998, muestra una sedimentación extraordinaria, principalmente en la zona sur de la desembocadura del río Chira.

Sin embargo, como los mismos autores señalan, durante el evento de 1983 el primer impacto en el Balneario de Colán fue una fuerte erosión, producto del mayor nivel promedio del mar y el mayor oleaje, que trajeron la destrucción de los pilotes de las casas. Esto si bien podría parecer una contradicción con los resultados obtenidos no lo

es, porque todo este sedimento traído por el río Chira y los sedimentos removidos de las playas no desaparece, sino que simplemente migra.

En el caso de Colán, las arenas removidas por la erosión deben haberse acumulado en una barra inmediatamente detrás de la nueva línea de rompiente (Woodman & Mabres, 1993). En el mismo estudio, en el caso de una caleta de pescadores en Máncora, experimentaron el calado de sus botes, lo que muestra que luego del maretazo vino un progresivo periodo de sedimentación. Otro dato importante de rescatar es que en la zona del Balneario de Colán si tomamos la línea de costa del año 1946 y la comparamos con la actual la sedimentación es significativa.

Esto como hemos visto, se debería a los diferentes eventos El Niño pero además al relativo levantamiento de la costa, en una escala de miles de años (Woodman & Mabres, 1993). Estos dos elementos respaldarían los resultados obtenidos y llevarían a pensar que en las futuras líneas de costa seguirían el proceso de sedimentación. En la siguiente figura (Figura 29) se aprecia como evolucionó el asentamiento en Colán. En esta serie fotográfica se puede apreciar que el avance de la línea de costa a sido constante a lo largo de los años, lo que reafirma que se está ante una zona de sedimentación.



**Figura 30: Balneario de Colán 1946-1999-2007**



Por su parte tanto Woodman como Mabres en su estudio no trabajan en la misma desembocadura del río Chira, donde la línea de costa dista claramente del fenómeno apreciado más al sur de la misma: la erosión predomina sobre la sedimentación. Si bien no se ha encontrado bibliografía específica sobre esa zona su desarrollo antes, durante y después de los eventos El Niño, existen dos opciones que podrían manejarse.

En primer lugar, como lo manifiestan diversos autores de estudios similares, la comparación en esta zona se da entre una imagen satelital con una carta nacional lo que podría ser una fuente de error debido a la comparación de escalas y nivel de precisión. Esto podría ser considerado como un factor de distorsión, sin embargo, al tener un margen de error de casi 37 metros y la erosión en el área de estudio supera ampliamente este margen lleva a consultar otros autores que han desarrollado temas similares en otras zonas.

Es ahí donde es rescatable mencionar el estudio de Teves (1993), el cual desarrolla un estudio sobre los procesos de erosión y sedimentación después del evento El Niño 1982-1983.

Lo interesante de este estudio es que dentro de las zonas o áreas que trabaja se encuentra la desembocadura del río Piura, ubicado más al sur de la Bahía de Paita. El proceso que se dio en el Río Piura durante y después el evento El Niño 1982-1983 fue el de una fuerte erosión, principalmente en los márgenes y en la desembocadura. Según el autor, la socavación del cauce del río Piura se midió mensualmente y este alcanzó cinco metros de profundidad y noventa metros de ancho. Además Teves (1993) señala que fenómenos similares se dan al norte del río Chira y en el río Santa. Esta información permite señalar que el proceso erosivo obtenido al sur del río Chira podría estar relacionado a estos fenómenos.

Finalmente el tema de la sedimentación al sur de la desembocadura del río Chira puede verse apoyada por diversos estudios sobre la formación de cordones litorales en Colán. Estos cordones litorales que son formados por eventos El Niño extremos, de gran intensidad, están principalmente constituidos por cantos rodados, lo que lleva a pensar que el río es la fuente de estos sedimentos confirmando una mayor afluencia de sedimentos a las playas (Ortlieb et al, 1993).



## Conclusiones

La cuantificación de la variación de la línea de costa tiene en los Sistemas de Información Geográfica una gran herramienta de análisis. El script DSAS permite cuantificar una variación espacial-temporal de manera adecuada. No obstante, el trabajar con fuentes de primera mano, como las fotografías aéreas, asegura una mayor precisión y confianza con relación a las fuentes cartográficas.

Con respecto a la actual línea de costa la Bahía de Paita se distinguen claramente sectores de gran dinamismo y otros más estables. El mayor dinamismo de la línea de costa se encuentra principalmente al sur del río Chira, donde se distinguen procesos de erosión y sedimentación. Al carecer estas zonas de infraestructura antrópica, como muelles, rompe olas, espigones, etc.; los cambios en la línea de costa son debido a factores naturales. Dentro de esto, destaca la variación comprendida entre los periodos 1992-1999, donde se desarrollo una gran sedimentación en la zona del Balneario de Colán. A diferencia de otros asentamientos al borde del mar, las casas ubicadas en Colán no presentan protecciones de piedra sino que están asentadas sobre pilotes de madera, lo que permite a las olas realizar su recorrido normal sobre la playa anterior, evitando así generar procesos erosivos. Más al norte de Colán, en el sector conocido como Bocana del Río, el proceso que predomina es el erosivo, cuantificado entre los años 1960-2007. El agente que afecta directamente a esta zona es el río Chira, el cuál presenta un caudal tan importante que merece ser estudiado de manera especial.

El otro sector en la Bahía de Paita que presenta un dinamismo importante es el Puerto de Paita. Sin embargo, a diferencia del sector anterior, en el Puerto de Paita la dinámica de la línea de costa responde claramente a una influencia antrópica. La construcción de infraestructura portuaria a partir de los años 70's ocasionó un avance de la línea de costa. Este avance o sedimentación de la línea de costa se vio acrecentando en el periodo 1992-1999, una vez más debido al Evento El Niño 1997/1998. Esta infraestructura portuaria genera un efecto diferente al de las estructuras costeras de protección, pues no genera erosión, sino que permite que los sedimentos se asienten sobre la playa, quedándose atrapados ahí. También es importante mencionar que al ser

una bahía, las olas llegan con una intensidad menor a la que podemos encontrar en playas abiertas.

A nivel global el aumento de nivel del mar no puede ser visto en esta área de estudio, pues en promedio la tasa de cambio final, es decir, la variación en metros entre el número de años transcurridos presenta un índice de  $-0.02$  metros/año, siendo poco significativo para señalar que estamos ante un proceso de elevación de nivel del mar.

Para reafirmar esto, si tomamos en cuenta el promedio del movimiento neto de la línea de costa, este es un valor positivo:  $3.11$  metros lo cual refuerza aun más que no estamos en un proceso de elevación del nivel del mar en el área de estudio.

Por su parte, el Evento El Niño sí tiene un impacto directo en la línea de costa. En un primer momento puede ocasionar oleajes fuertes y maretazos, para luego generar un retroceso del mar generando un proceso de sedimentación. Este proceso de sedimentación extraordinario en la línea de costa no es estable, pues luego la línea de costa tiende a retroceder hasta estabilizarse.

Finalmente, con la elaboración del mapa geomorfológico del área de estudio se ha podido identificar que las playas donde se encuentra asentada la población, especialmente en el Puerto de Paita y el Balneario de Colán, presenta una vulnerabilidad moderada, pues en primer lugar la pendiente promedio de la zona de estudio es baja, por lo que un aumento de la marea o de la línea de costa tendría mayor impacto. Esto principalmente en Colán, pues las casas ubicadas actualmente corresponde a una segunda línea, ya que las primeras fueron destruidas por los eventos el Niño de los años 82/83 y 97/98. En el puerto de Paita la situación es parecida, pues encontramos instalaciones como restaurantes que se encuentran en contacto directo con el mar, sin embargo en la playa no hay casas sino una infraestructura de juegos para niños, del tipo recreativo, por lo que un aumento del nivel del mar no tendría un impacto directo a la población. En resumen, la dinámica de la línea de costa, la poca pendiente de la playa y la presencia de asentamientos cerca de la línea de costa hace a estas poblaciones vulnerables ante la variación o cambios en la línea de costa.

## Bibliografía

- Anfuso, G. & Benavente, J. 2006. Las playas entre Chipiona y Rota (Cádiz, SO de España: Aproximación a su clasificación y comportamiento morfodinámico. Ciencias Marinas, diciembre, año/vol 32, número 004. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, México. 605-616 pp.
- Bindoff, N., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave, A., Gregory, J., Guiev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D., Unnikrishnan, A. 2007. Observations: Oceanic Climate Changes and Sea Level. United Kingdom and New York, Cambridge University Press.
- Bird, E. C. F.: 1985, *Coastline Changes*, Wiley & Sons, New York, 219 pp.
- Boak, H & Turner, I. 2005. *Shoreline Definition and Detection: Review*. En: Journal of Coastal Research, Julio del 2005.
- Cabrera, C., Guadalupe, E., Maldonado, M., Arévalo, W., Pacheco, R., Giraldo, A., Quispe, J. 2005. *Evaluación Ambiental de la Bahía de Paita*. Revista del Instituto de Investigación FIGMMG. Vol. 8, N.º 15, 14-18. Universidad Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
- Carter, R.W.G. 1988. Coastal environments an introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. London; New York: Academic Press, 617p.
- CINYDEC S.A.C. 2010. *Línea de Base Social*. Capítulo V, Pág 1-25.
- Clark, John. 1977. *Coastal Ecosystem Management*. New York, Wiley.
- Correa, D., Gonzáles, E., Alvarado, V. 2007. *Modelamiento del flujo de mareas en la Bahía de Paita*. IMARPE-UNMSM. Lima, Perú.
- Cruos & Pintó. 2005. *Análisis de los cambios costeros recientes en el litoral del baix ter (Costa brava, Girona)*. Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge (LAGP), Universitat de Girona. Catalunya.
- Daniels, R. C., Huxford, R. H. & Mccandless, D. 1998. *Coastline Mapping and Identification of Erosion Hazard Areas in Pacific County, Washington*. In ESRI 1998 International Users Conference, San Diego, California.
- Dávila Burga, Jorge. 1995. *Diccionario Geológico*. Lima.

- Emery, K. O. 1961. *A Simple Method of Measuring Beach Profiles*. Limnology and Oceanography 6.
- Galvin, C. J., Jr. 1968. *Breaker Type Classification on Three Laboratory Beaches*. Journal of Geophysical Research 73, 3651–3659 pp.
- Grández, M. I. 2010. *Evolución de línea de costa en las playas: La Chira, La Encantada de Villa, Mamacona y Conchan. Distritos de Chorrillos, Villa el Salvador y Lurín*. Tesis de Licenciatura en Geografía y Medio Ambiente, Facultad de Letras y Ciencias Humanas, Pontificia Universidad Católica del Perú. (Inédita)
- John J B Rooney; Charles H Fletcher III. 2005. *Shoreline Change and Pacific Climatic Oscillations in Kihei, Maui, Hawaii*. En: Journal of Coastal Research; Mayo del 2005; ProQuest Science Journals.
- Komar, P. D. 1983. *CRC handbook of coastal processes and erosion*. En: CRC series in marine science pp. 305 S., Boca Raton, Fla.: CRC Press.
- Leceta, F. 2009. *Análisis de variabilidad temporal de la línea de costa mediante la aplicación de métodos de teledetección y Sistemas de Información Geográfica: Bahía De Miraflores, Perú 1936-2005*. Tesis de Licenciatura, PUCP, Lima, Perú.
- León, J. & Tavares, C. 2003. *Quantification of shoreline in Salaverry, Peru*. In International Coastal Symposium, Ed. J. O. C. Reserch, Itají, SC - Brazil.
- Morton & Miller. 2005. *National Assessment Of Shoreline Change: Part 2. Historical Shoreline Changes And Associated Coastal Land Loss Along The U.S. Southeast Atlantic Coast*. USGS.
- Novoa Goicochea, Zaniel. 2007. *Geografía de las zonas Marino-Costeras: El Litoral Pacífico Peruano*. Sociedad Geográfica de Lima.
- Ortiz, Mario & Pérez, Azucena. 1999. *Evidencia documental de los cambios en la línea de costa por sedimentación rápida en la bahía de Matanchén, Nayarit, México*. En: Investigaciones Geográficas. Boletín 40.
- Ortlieb, L; Fournier, M; Macharé, J. 1993. *Beach-ridge series in Northern Perú: Chronolog, Correlation and Relationship with major late holocene El Niño events*. En: Boletín Instituto Francés de Estudios Andinos 22 (1): 191-212. Lima ,Perú.
- Otiniano, Jorge. 2001. *Calentamiento Y Aumento Del Nivel Mar En La Costa Peruana Por Arribo De Una Onda Kelvin Oceanica*. Lima, Perú.

- Palacios Moncayo, O. 1994. *Geología de los Cuadrángulos de Paita, Piura, Talara, Sullana, Lobitos, Quebrada Seca, Zorritos, Tumbes y Zarumilla*. IMGEMMET, Lima, Perú
- Paskoff, R. 1978. *Sur l'évolution géomorphologie du grand escarpement côtier du désert Chilien*. *Geographie physique et Quaternaire* 32, 351–360 pp.
- Pinet, Paul. 2006. *Invitation to Ocenography*. Londres, John and Bartlett Publishers, Cuarta Edición.
- Rogers, S. S., Sandweiss, D. H., Maasch, K. A., Belknap, D. F. & Agouris, P. 2004. *Coastal Change and Beach Ridges along the Northwest Coast of Peru: Image and GIS Analysis of the Chira, Piura, and Colán Beach-Ridge Plains*. *Journal of Coastal Research* 20, 1102-1125.
- Santiago, Iván. 2006. *Fundamentos de ArcGis, Segunda Parte*. Oficina de Gerencia y Presupuesto del Estado. Puerto Rico.
- Strahler, Arthur. 1999. *Geografía Física*. Barcelona.
- Suárez de Vivero, Juan. 2005. *Delimitación y Definición del Espacio Litoral*. Departamento de Geografía Humana. Universidad de Sevilla.
- Tavares, Carlos & Drenkham, Fabian. 2010. *Variación de la línea de litoral entre el Puerto Chicama y Puémape, La Libertad, Perú (1961 – 2006)*. Lima, Perú.
- Teves, Néstor. 1993. *Erosion and accretion processes Turing El Niño Phenomenon of 1982-1983 and its relation to previous events*. En: *Boletín Instituto Francés de Estudios Andinos* 22 (1): 99-110. Lima, Perú.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., y Miller, T.L. 2005. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1304.
- Woodman, R. & Mabres, A. 1993. *Formación de un cordón litoral en Máncora, Perú, a raíz de El Niño de 1983*. En: *Boletín Instituto Francés de Estudios Andinos* 22 (1): 213-226. Lima, Perú.
- Wright & Short. 1993. *Morphodynamic Variability Of Surf Zones And Beaches: A Synthesis*. En: *Marine Geology*. Elsevier Science Publisher. Amsterdam.
- Wright, L. D. & Short, A. D. 1984. *Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis*. *Marine Geology* 56, 93-118 pp.

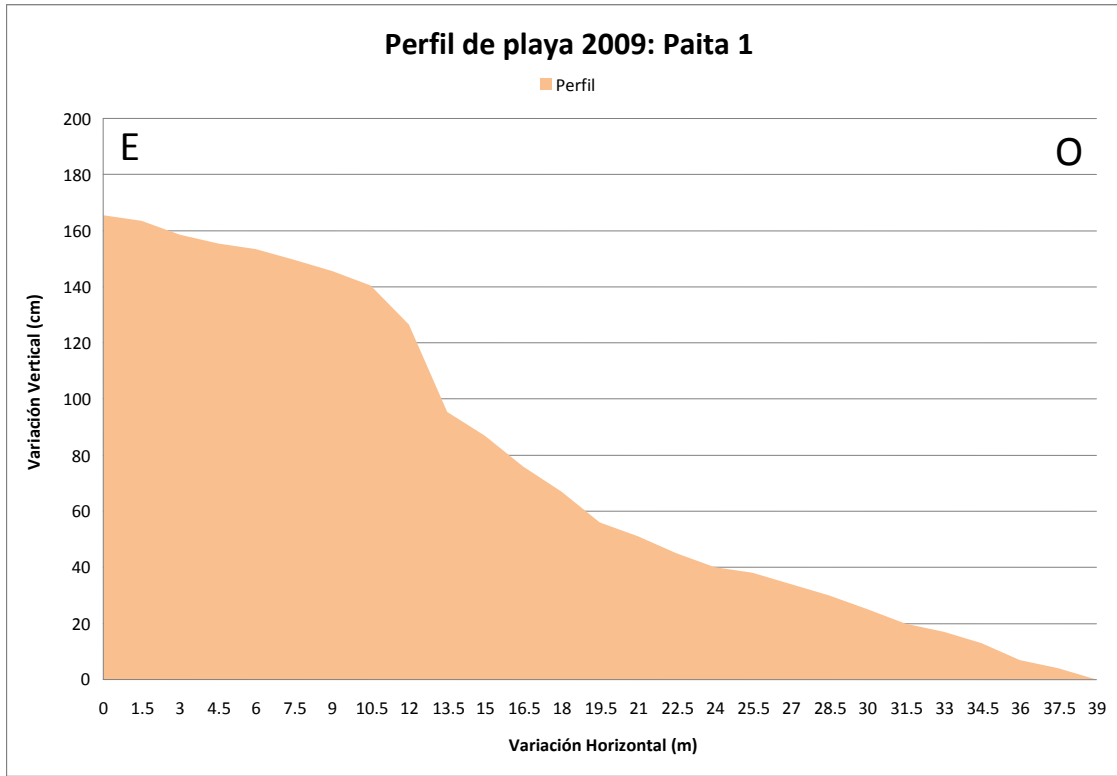


### Fuentes de Internet

- [www.escale.minedu.gob.pe](http://www.escale.minedu.gob.pe)
- [www.imarpe.gob.pe](http://www.imarpe.gob.pe)
- [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe)
- [www.ingemmet.gob.pe](http://www.ingemmet.gob.pe)
- [www.paita.netfirms.com](http://www.paita.netfirms.com)
- [www.produce.gob.pe](http://www.produce.gob.pe)
- [www.ub.es](http://www.ub.es)

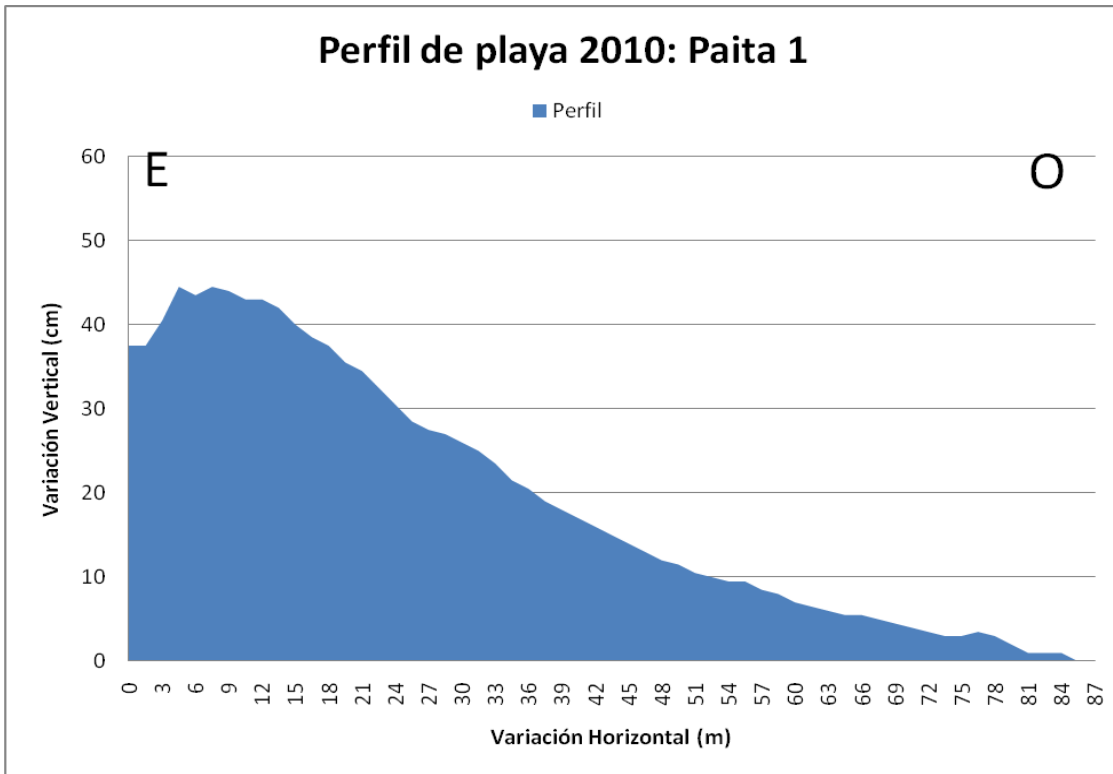


Anexos



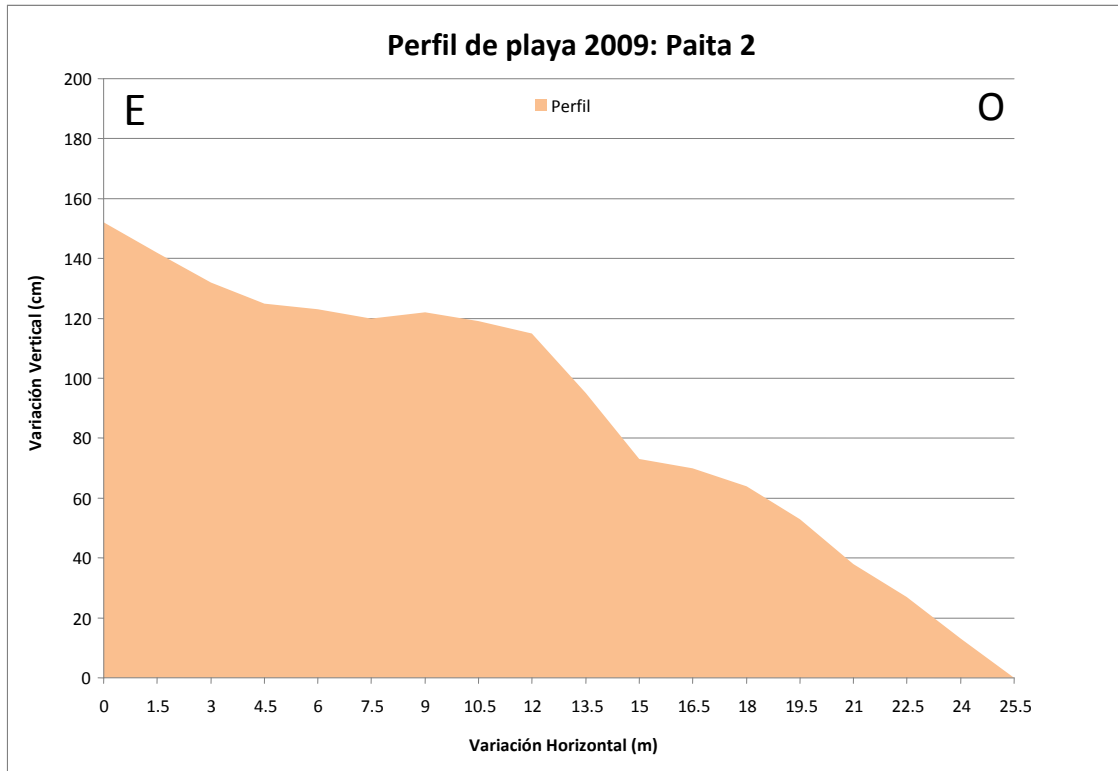
Ficha		
<b>Playa</b>	Paita: Viernes 20 de Febrero del 2009	
<b>Inicio del Perfil</b>	10:47 a.m.	
<b>Fin del Perfil</b>	11:30 a.m.	
<b>Datos del X-Tide</b>	Hora	Metros
	Punto más alto	02:00 p.m.    1.2
	Punto medio de marea	-                    -
	Descenso	07:00 a.m.    0.33
<b>Observación</b>	Se observa una tendencia erosiva, pues la acción de las olas genera una pendiente muy pronunciada, especialmente a partir de los 12 metros de iniciado el perfil. Es en este momento donde el perfil presenta su pendiente máxima, la cual continua siendo pronunciada pero es más constante a lo largo del mismo.	





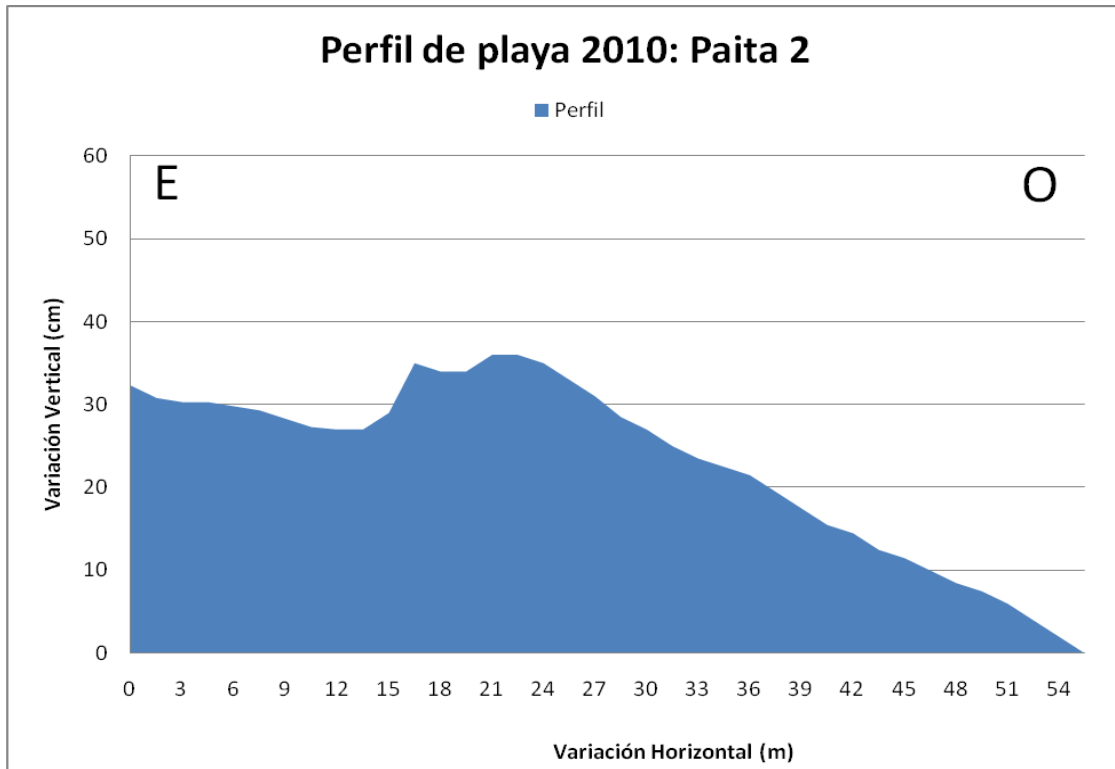
Ficha			
<b>Playa</b>	Paita: Jueves 1 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	11:20 a.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	12:13 p.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	06:00 a.m.	1.62
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	00:00 a.m.	-0.14
<b>Observación</b>	<p>El perfil presenta como característica principal una pendiente suave que empieza a partir de los 6 metros en el eje horizontal. La acción de las olas erosiona suavemente la cara de la playa. Hay influencia antrópica en el perfil, pues es una zona de tránsito.</p>		





Ficha		
<b>Playa</b>	Paita: Viernes 20 de Febrero del 2009	
<b>Inicio del Perfil</b>	11:50 a.m.	
<b>Fin del Perfil</b>	12:15 p.m.	
<b>Datos del X-Tide</b>	Hora	Metros
	Punto más alto	02:00 p.m.    1.2
	Punto medio de marea	-                    -
	Descenso	07:00 a.m.    0.33
<b>Observación</b>	El perfil es menos erosivo que el anterior pues presenta una cierta estabilidad al inicio (pendiente suave), que igual que el perfil anterior es a partir de los 12 metros en el eje horizontal que presenta su pendiente más fuerte, siendo un perfil menos erosivo que el primero. Podemos señalar que la acción de las olas es más débil en este sector de la playa.	

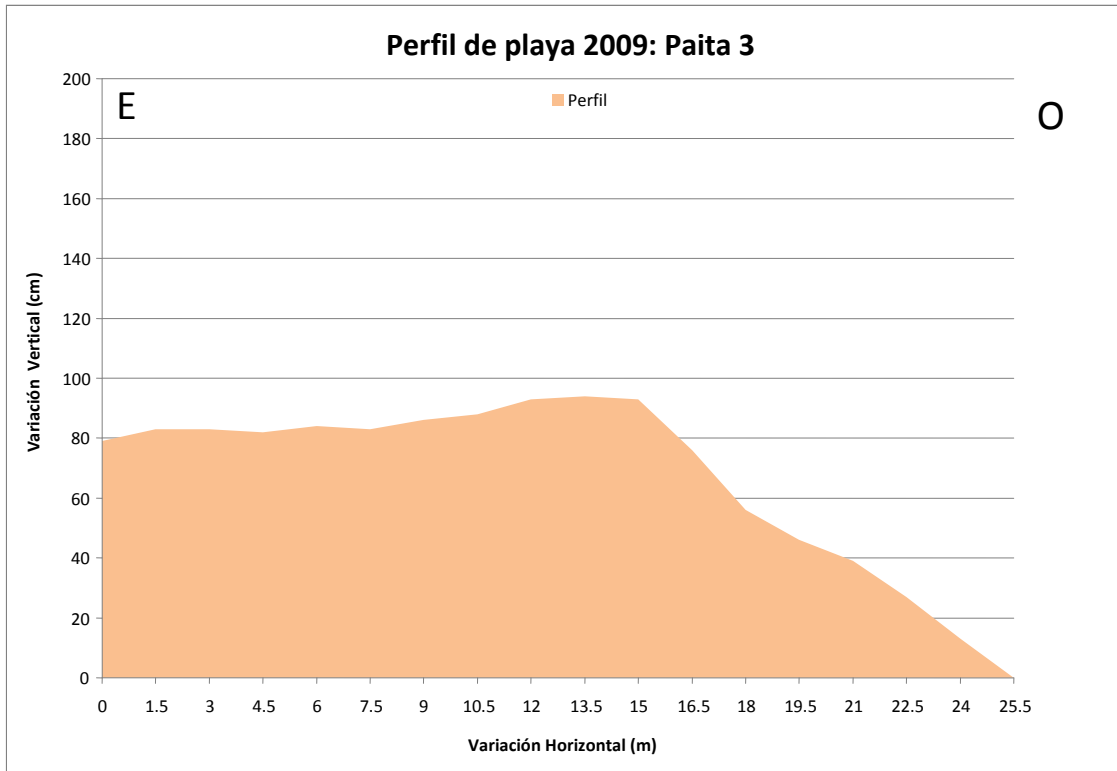




Ficha			
<b>Playa</b>	Paita: Jueves 1 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	12:23 p.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	12:54 p.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	06:00 a.m.	1.62
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	00:00 a.m.	-0.14
<b>Observación</b>	Perfil que desde los 12 metros en el eje horizontal presenta una suave pendiente producto de la acción de las olas. Cerca del punto donde se realizó el perfil encontramos embarcaciones de los pescadores artesanales de la zona.		

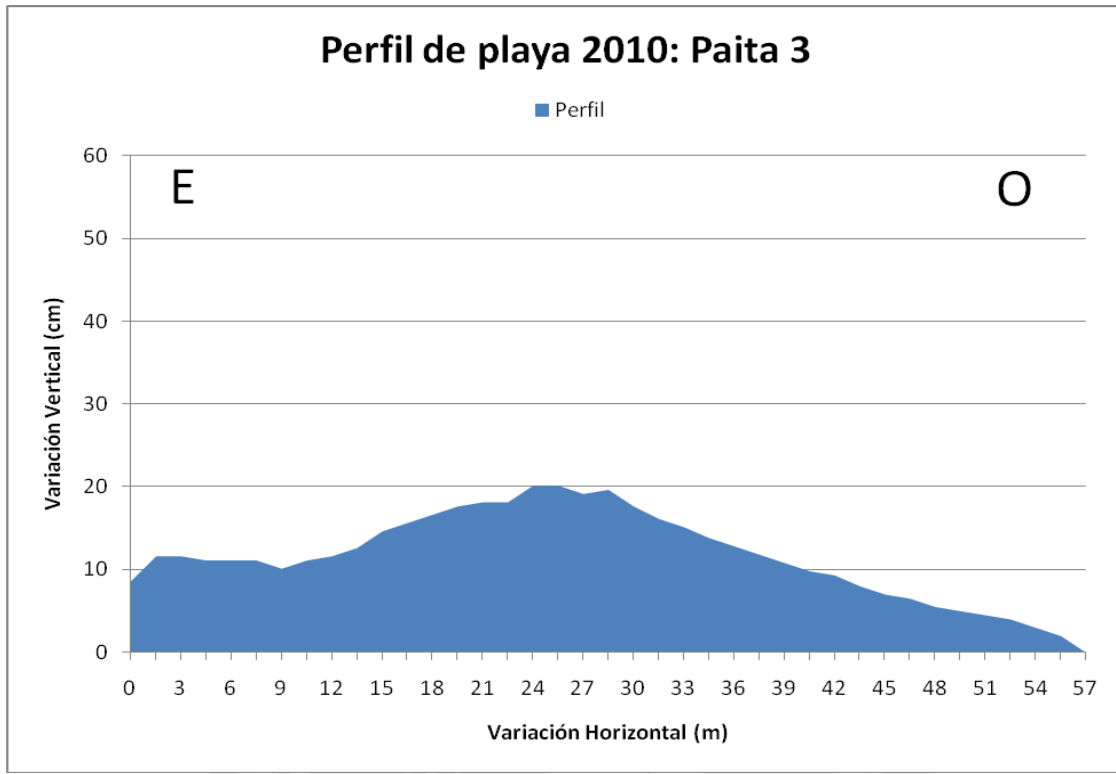




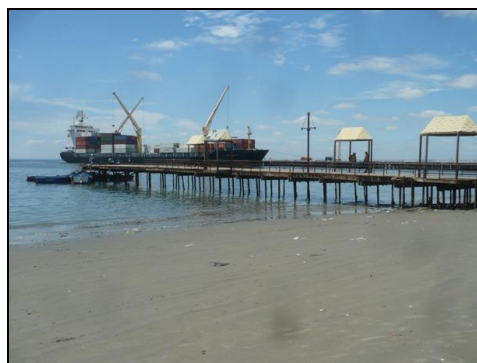


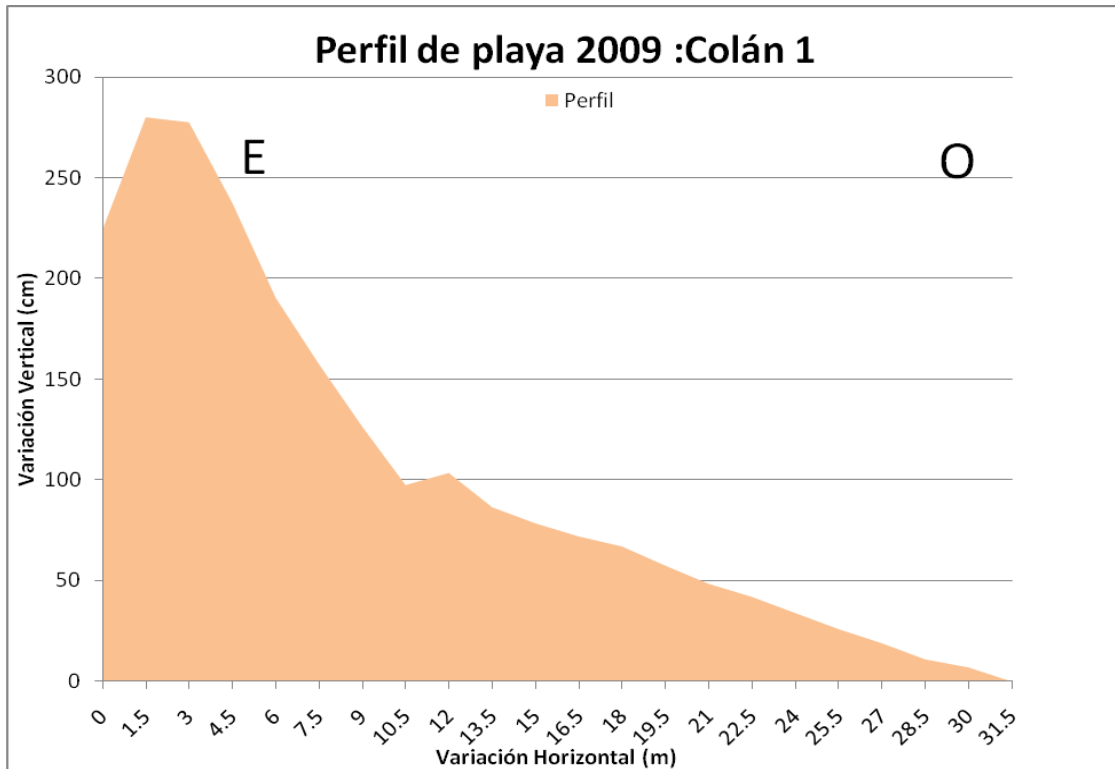
Ficha		
<b>Playa</b>	Paita: Viernes 20 de Febrero del 2009	
<b>Inicio del Perfil</b>	12:24 p.m.	
<b>Fin del Perfil</b>	12:50 p.m.	
<b>Datos del X-Tide</b>	Hora	Metros
	Punto más alto	02:00 p.m.    1.2
	Punto medio de marea	-                    -
	Descenso	07:00 a.m.    0.33
<b>Observación</b>	El perfil caracterizado por presentar una amplia zona de pendiente casi nula con una elevación en la zona media, formando una cúspide, que ha sido formada debido a la acción de las olas. De la cúspide hacia el mar la acción de las olas es fuertemente erosiva, pues genera una gran pendiente.	





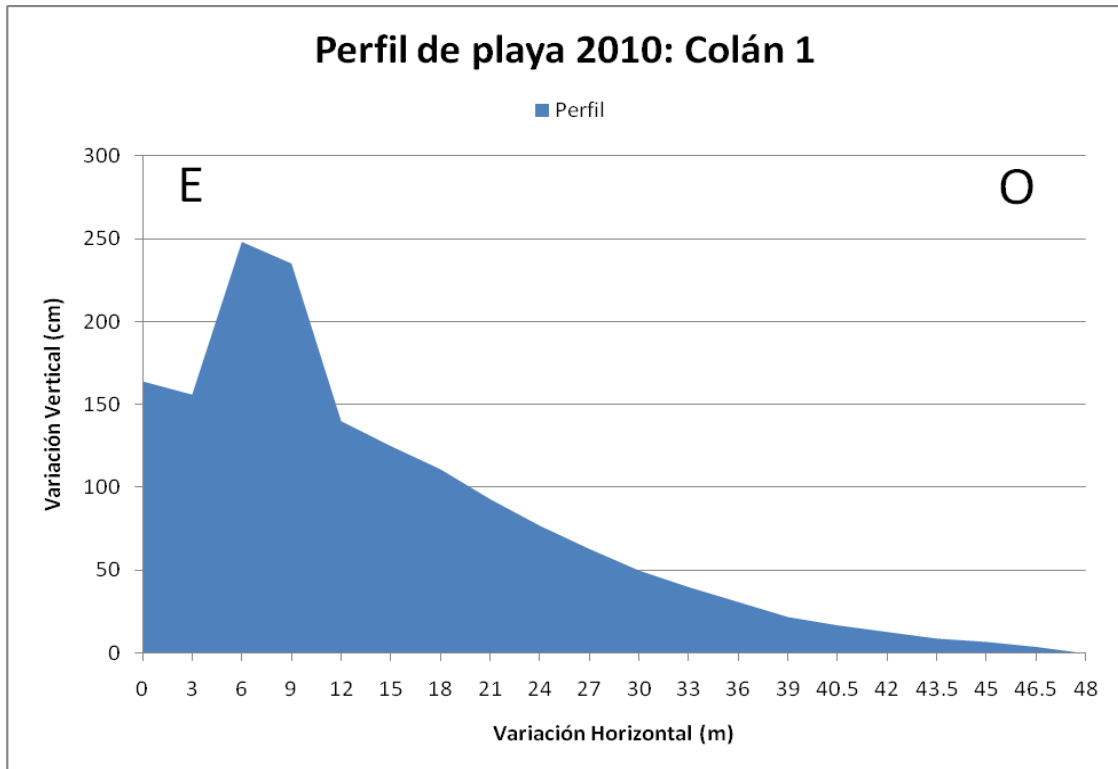
Ficha			
<b>Playa</b>	Paíta: Jueves 1 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	01:06 p.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	01:39 p.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	06:00 a.m.	1.62
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	00:00 a.m.	-0.14
<b>Observación</b>	Perfil casi plano, cercano al muelle. Existe una cúspide que se encuentra entre los 21 y 30 metros en el eje horizontal, luego de la cual se presenta una pendiente leve. Es una zona de tránsito debido a la cercanía con el muelle.		





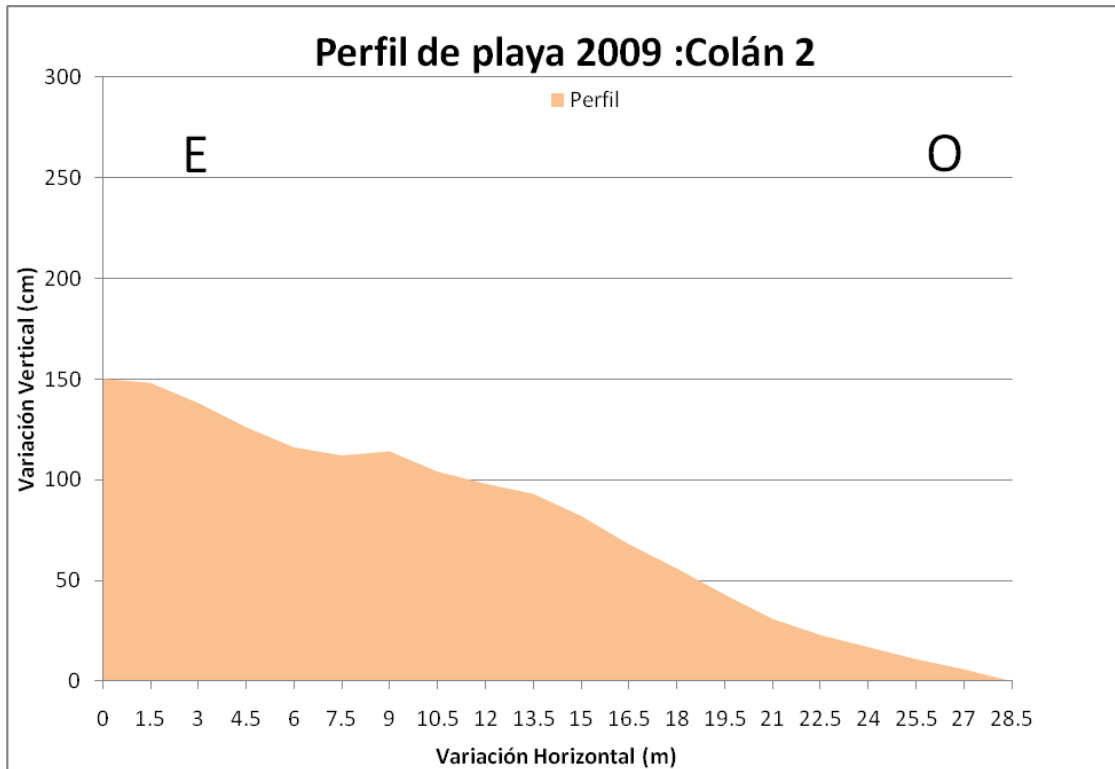
Ficha		
<b>Playa</b>	Colán: Domingo 22 de Febrero del 2009	
<b>Inicio del Perfil</b>	01:41 p.m.	
<b>Fin del Perfil</b>	02:15 p.m.	
<b>Datos del X-Tide</b>	Hora	Metros
	Punto más alto	03:00 p.m.    1.3
	Punto medio de marea	-    -
	Descenso	09:00a.m.    0.17
<b>Observación</b>	<p>El perfil muestra claramente la presencia de un cordón litoral, el cuál se encuentra a lo largo de todo el sector de la playa, siendo este fijado por vegetación natural. El ancho aproximado de este cordón litoral es de 2 metros, siendo un vestigio de la acción de las olas. La fuerte pendiente erosiva que se observa inmediatamente después del cordón litoral, así como la suave pendiente posterior a esta nos indica que la acción de las olas no es tan fuerte en este sector de la playa.</p>	





Ficha			
<b>Playa</b>	Colán: Sábado 3 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	10:34 a.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	10:49 a.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	07:00 a.m.	1.48
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	01:00 a.m.	-0.04
<b>Observación</b>	En el perfil podemos observar que al igual que el año 2009, el cordón litoral sigue estando presente en este sector de la playa. El cordón litoral marca el límite de acción erosiva de las olas.		

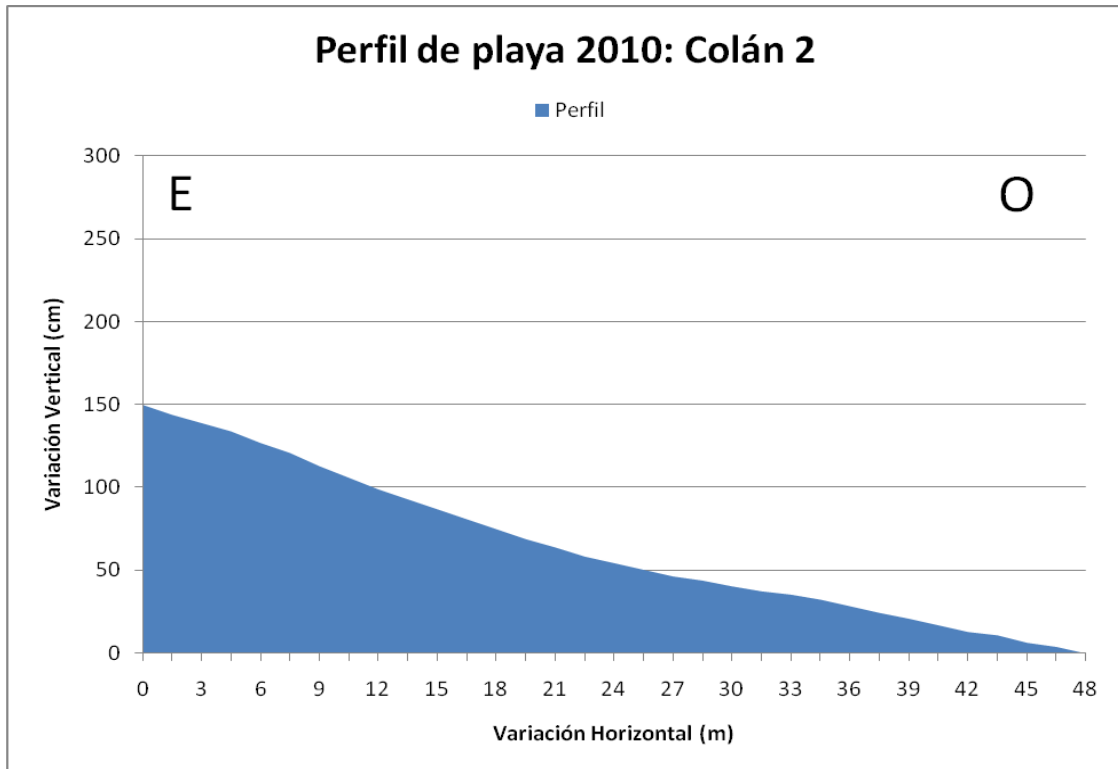




Ficha		
<b>Playa</b>	Colán: Domingo 22 de Febrero del 2009	
<b>Inicio del Perfil</b>	02:31 p.m.	
<b>Fin del Perfil</b>	03:00 p.m.	
<b>Datos del X-Tide</b>	Hora	Metros
	Punto más alto	03:00 p.m. / 1.3
	Punto medio de marea	- / -
	Descenso	09:00a.m. / 0.17
<b>Observación</b>	El perfil es claramente erosivo, sin embargo las pendientes no son tan fuertes como en los perfiles obtenidos en el puerto de Paita, donde teníamos una gran variación muy bien definida. En este sector de la playa no existe la presencia de cordones litorales, ya que estos se encuentran dispersos a lo largo de la playa.	

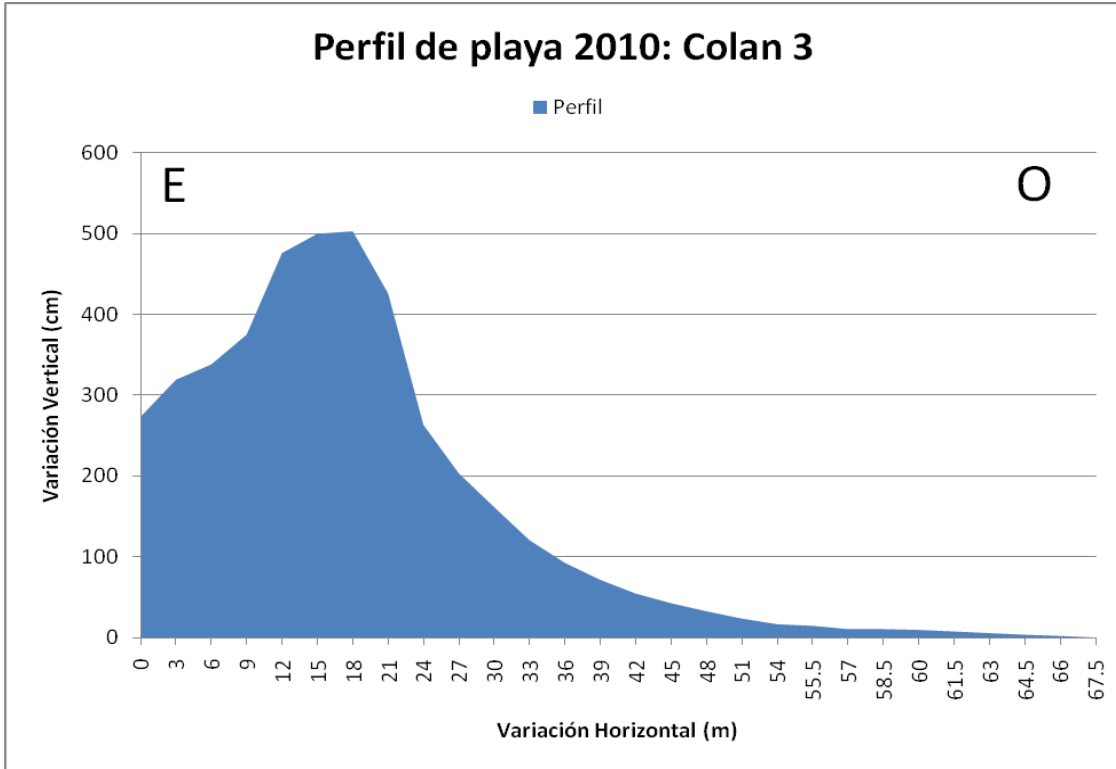




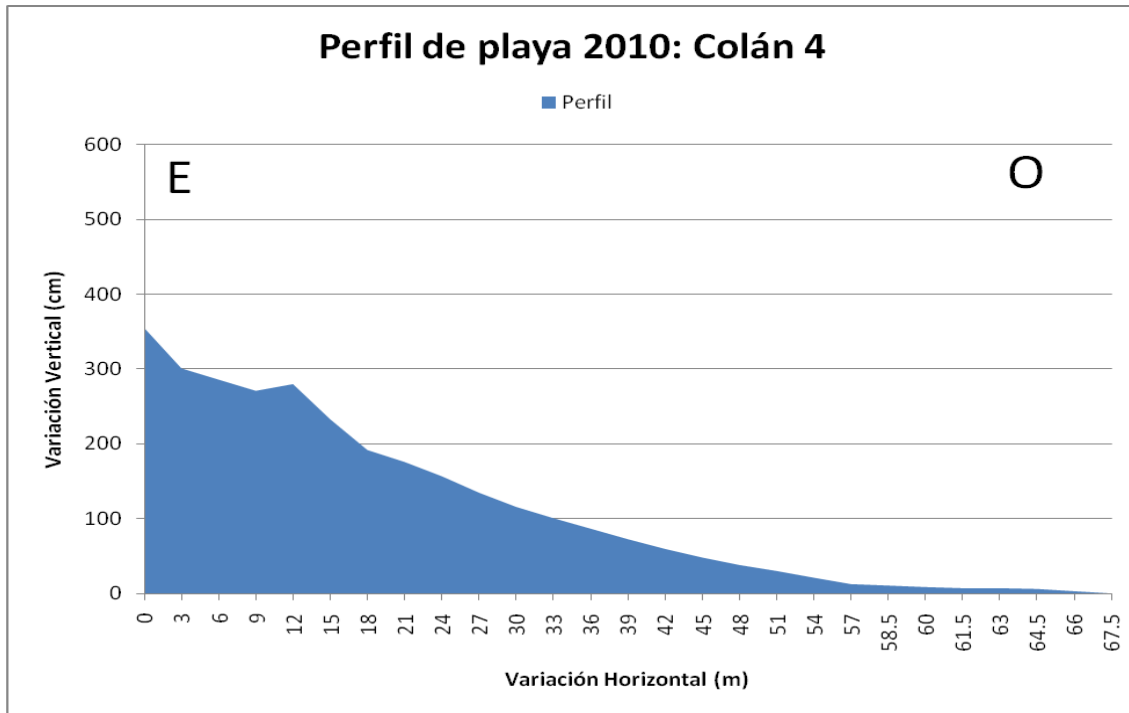


Ficha			
<b>Playa</b>	Colán: Sábado 3 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	11:03 a.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	11:22 a.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	07:00 a.m.	1.48
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	01:00 a.m.	-0.04
<b>Observación</b>	Perfil claramente erosivo, pues presenta una inclinación constante, sin embargo, la erosión es leve pues la pendiente no es pronunciada. Es una zona por donde la gente camina regularmente y existe presencia de casas en los alrededores.		

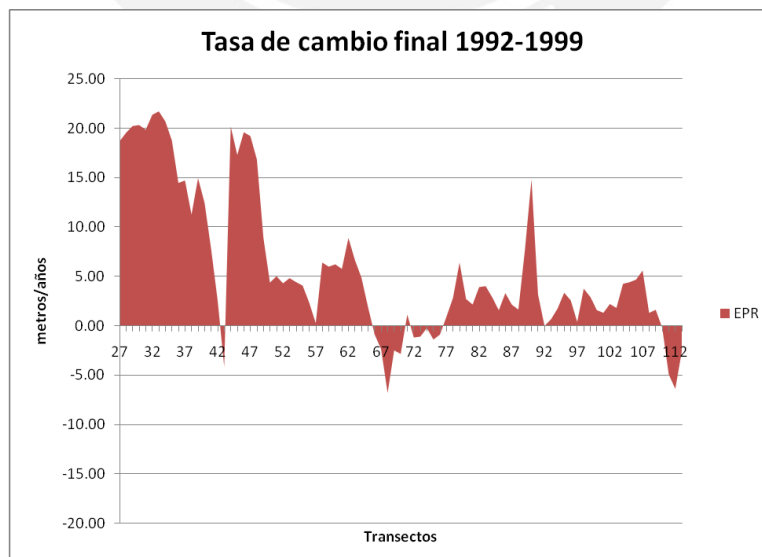
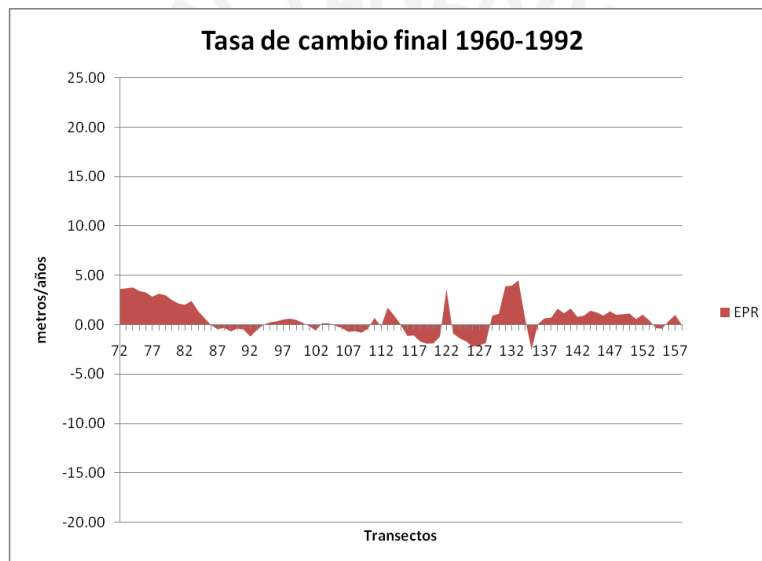
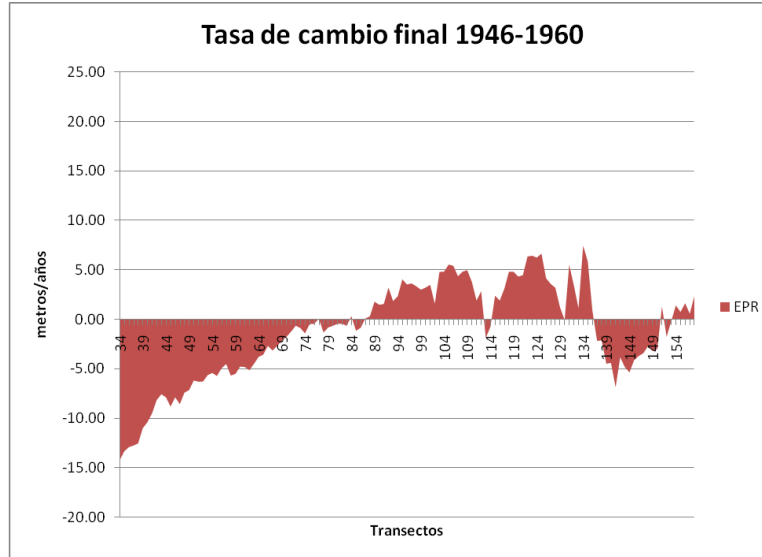


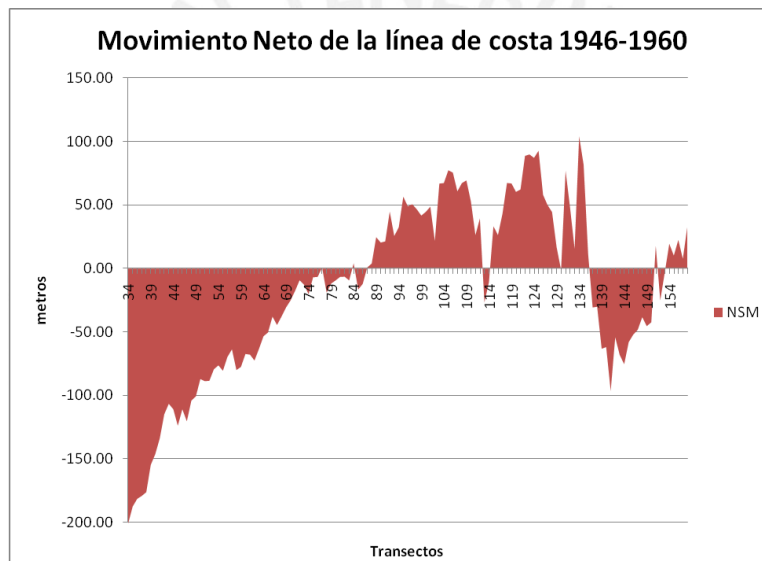
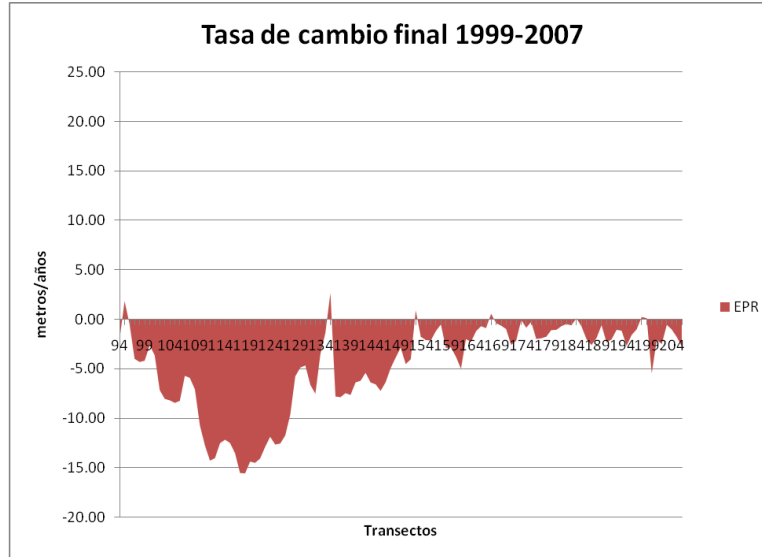


Ficha			
<b>Playa</b>	Colán: Viernes 2 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	12:10 p.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	12:42 p.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	06:00 a.m.	1.57
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	00:00 a.m.	-0.14
<b>Observación</b>	El perfil muestra de una manera bien definida el cordón litoral presente en esta zona, pues como se ve en la foto y en el perfil, este supera los 2 metros de altura. Se presenta una gran pendiente inmediatamente después del cordón litoral.		

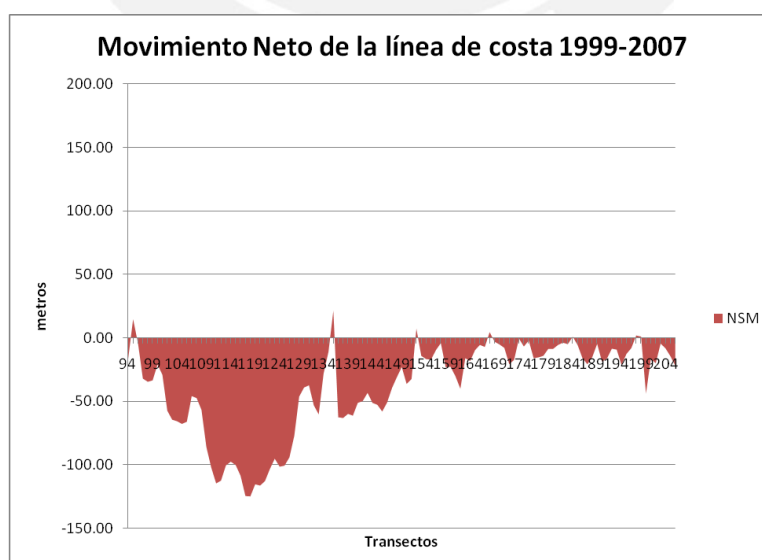
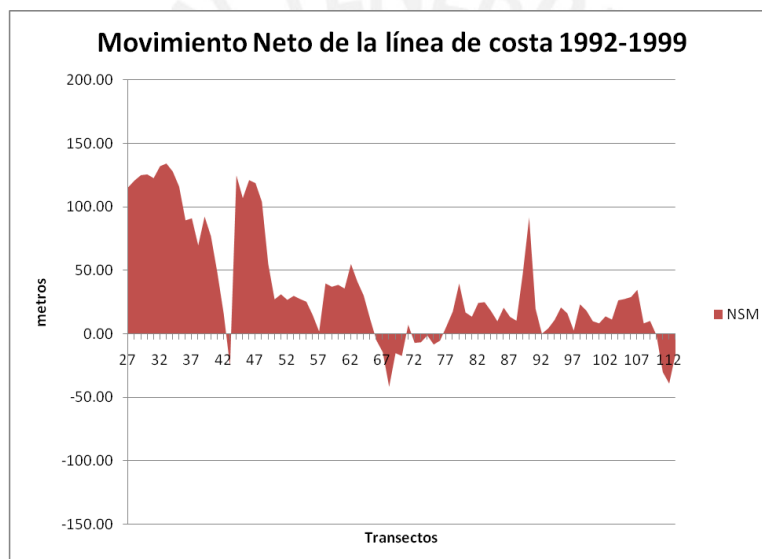
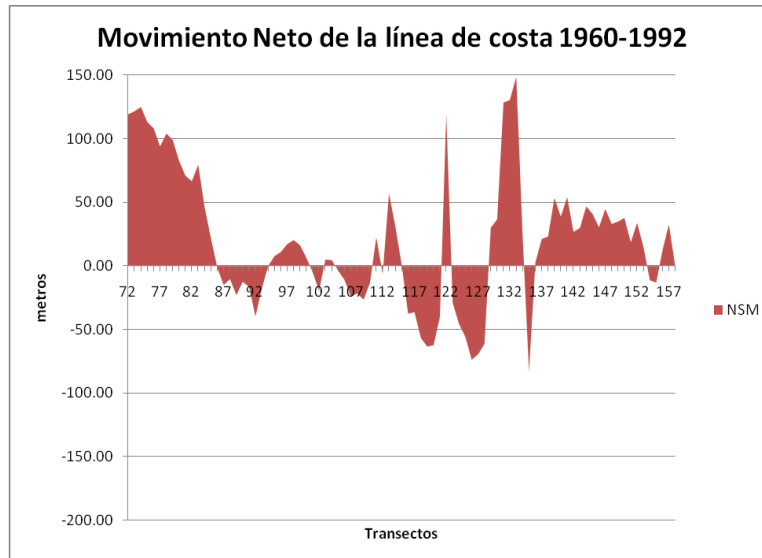


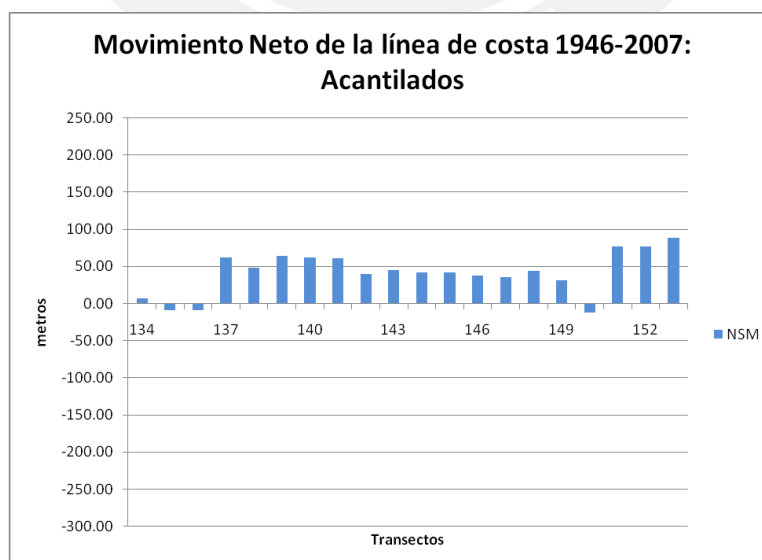
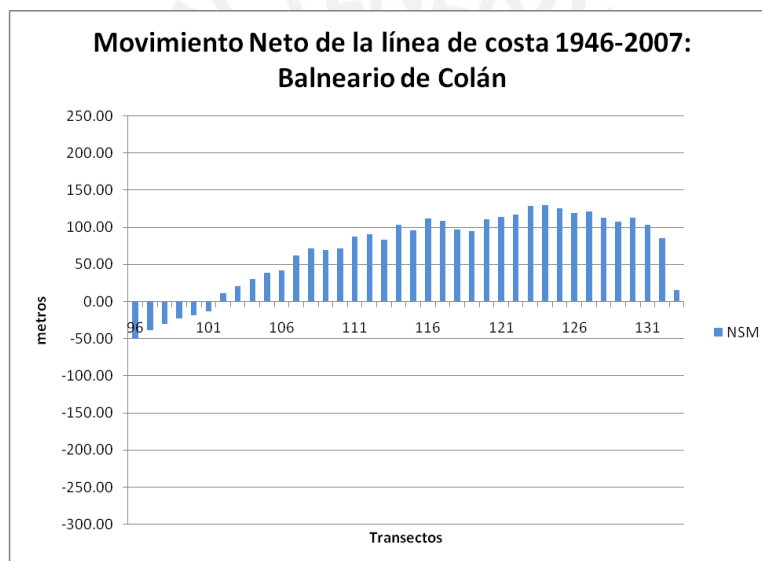
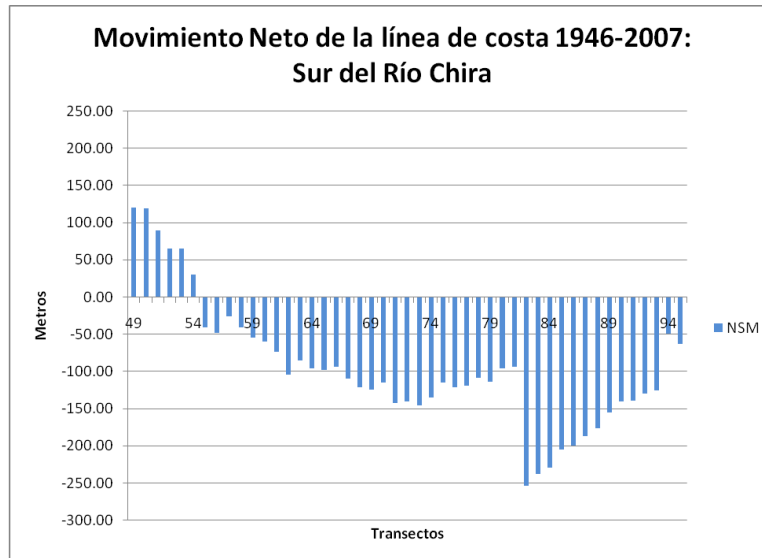
Ficha			
<b>Playa</b>	Colán: Viernes 2 de Abril del 2010		
<b>Inicio del Perfil</b>	01:25 p.m.		
<b>Fin del Perfil</b>	02:04 p.m.		
<b>Datos del X-Tide</b>		Hora	Metros
	Punto más alto	06:00 a.m.	1.57
	Punto medio de marea	-	-
	Descenso	00:00 a.m.	-0.14
<b>Observación</b>	Este perfil fue tomado desde la cúspide de un conjunto de pequeñas dunas fijadas por vegetación, pues representaba el tipo de playa que se encontraba en la zona. Esta formación de pequeñas dunas sufría la acción de las olas, como se puede apreciar en el perfil altamente erosivo que presenta. En las zonas posteriores a la playa se podía apreciar la acción del viento, el cual formaba campos de dunas.		

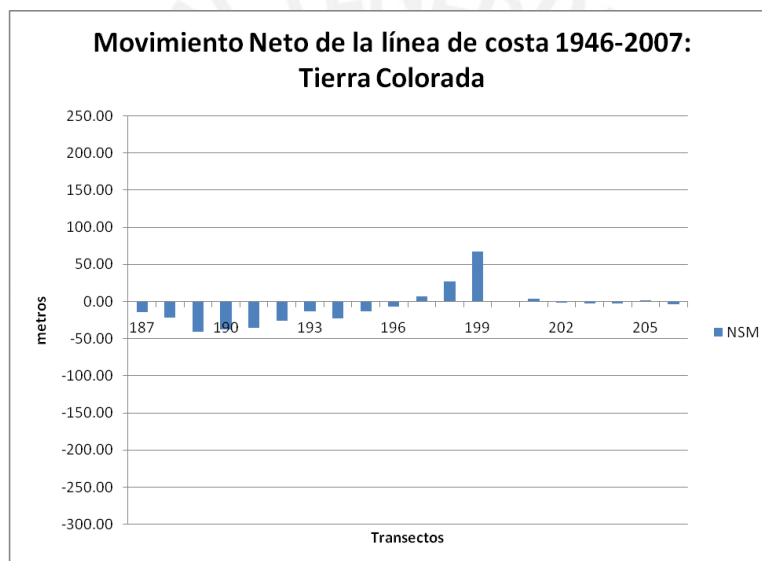
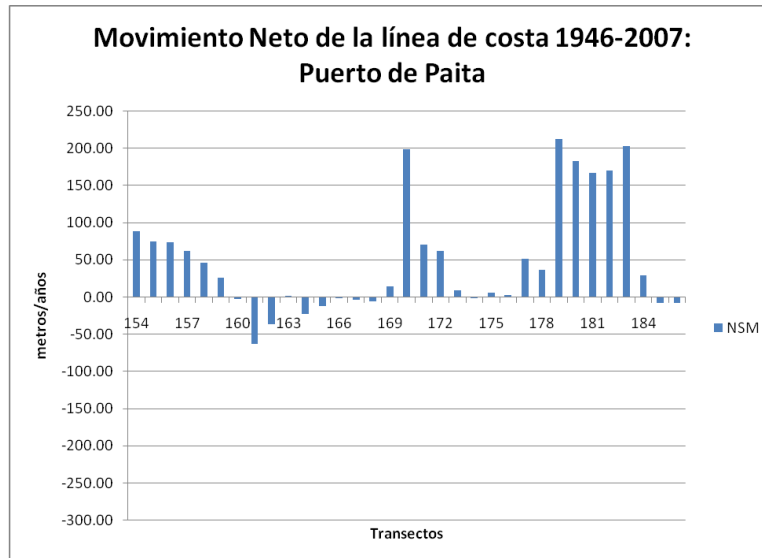












	OBJECTID	TransectId	EPR	SCE					
Sur de la Desembocadura del río Chira	49	49	2.55	119.98	Balneario de Colán	89	89	-2.54	155.09
	50	50	2.54	119.30		90	90	-2.31	140.81
	51	51	1.89	88.97		91	91	-2.29	139.65
	52	52	1.39	65.31		92	92	-2.13	130.22
	53	53	1.38	64.94		93	93	-2.06	125.94
	54	54	0.64	30.19		94	94	-0.81	64.34
	55	55	-0.87	40.84		95	95	-1.03	79.43
	56	56	-1.04	48.71		96	96	-0.83	60.37
	57	57	-0.56	26.33		97	97	-0.64	55.22
	58	58	-0.87	41.09		98	98	-0.50	50.09
	59	59	-1.16	54.62		99	99	-0.38	57.18
	60	60	-1.28	59.96		100	100	-0.31	52.05
	61	61	-1.57	73.59		101	101	-0.21	50.97
	62	62	-2.22	104.36		102	102	0.17	104.32
	63	63	-1.81	84.88		103	103	0.33	123.01
	64	64	-2.04	95.71		104	104	0.50	121.89
	65	65	-2.08	97.70		105	105	0.63	127.03
	66	66	-2.00	93.89		106	106	0.68	146.35
	67	67	-2.33	109.33		107	107	1.01	156.37
	68	68	-2.57	120.98		108	108	1.17	137.18
	69	69	-2.66	124.93		109	109	1.13	148.24
	70	70	-2.45	115.02		110	110	1.18	183.82
	71	71	-3.03	142.31		111	111	1.43	203.32
	72	72	-3.00	140.81		112	112	1.49	207.30
	73	73	-3.10	145.48		113	113	1.36	198.24
	74	74	-2.88	135.25		114	114	1.69	203.59
	75	75	-2.45	115.07		115	115	1.58	193.68
	76	76	-2.58	121.20		116	116	1.83	211.80
	77	77	-2.54	119.44		117	117	1.77	216.67
	78	78	-2.31	108.59		118	118	1.58	220.81
	79	79	-2.42	113.87		119	119	1.56	219.61
	80	80	-2.04	95.66		120	120	1.81	225.59
	81	81	-2.00	93.94		121	121	1.86	229.84
	82	82	-4.16	253.69		122	122	1.92	229.83
	83	83	-3.91	238.25		123	123	2.11	231.81
	84	84	-3.76	229.19		124	124	2.12	224.34
	85	85	-3.36	205.00		125	125	2.06	226.76
	86	86	-3.27	199.47		126	126	1.95	219.40
	87	87	-3.06	186.85		127	127	1.98	215.38
	88	88	-2.89	176.58		128	128	1.84	189.38
					129	129	1.76	153.78	
					130	130	1.84	151.11	

Acantillados	131	131	1.68	139.76
	132	132	1.39	144.85
	133	133	0.24	73.13
	134	134	0.11	35.10
	135	135	-0.15	46.58
	136	136	-0.15	66.01
	137	137	1.01	125.70
	138	138	0.79	114.68
	139	139	1.06	126.54
	140	140	1.01	124.23
	141	141	0.99	112.02
	142	142	0.65	88.02
	143	143	0.74	108.58
144	144	0.69	98.05	
145	145	0.68	99.96	
146	146	0.62	96.22	
147	147	0.59	86.62	
148	148	0.72	85.26	
149	149	0.52	77.16	
150	150	-0.21	47.66	
151	151	1.25	122.28	
152	152	1.26	119.39	
153	153	1.44	131.65	
Puerto de Paita	154	154	1.45	126.18
	155	155	1.22	104.05
	156	156	1.20	109.57
	157	157	1.02	103.59
	158	158	0.75	88.18
	159	159	0.42	62.23
	160	160	-0.04	46.39
	161	161	-1.04	92.56
	162	162	-0.60	61.20
	163	163	0.01	75.56
	164	164	-0.38	73.06
	165	165	-0.19	67.61
	166	166	-0.04	108.21
	167	167	-0.07	111.46
	168	168	-0.09	98.71
	169	169	0.24	88.28

Tierra Colorada	170	170	3.25	203.27
	171	171	1.16	87.31
	172	172	1.02	93.48
	173	173	0.14	59.56
	174	174	-0.03	71.09
	175	175	0.09	43.60
	176	176	0.04	41.46
	177	177	0.85	68.20
	178	178	0.60	103.04
	179	179	3.47	226.71
	180	180	3.00	191.40
	181	181	2.73	200.25
	182	182	2.79	175.55
	183	183	3.33	203.13
	184	184	0.47	54.81
	185	185	-0.14	9.51
	186	186	-0.14	31.06
187	187	-0.24	19.62	
188	188	-0.36	24.39	
189	189	-0.67	50.39	
190	190	-0.62	40.43	
191	191	-0.59	35.81	
192	192	-0.43	40.46	
193	193	-0.22	23.85	
194	194	-0.37	22.58	
195	195	-0.22	25.33	
196	196	-0.12	22.02	
197	197	0.12	30.59	
198	198	0.44	52.02	
199	199	1.11	68.53	
200	200	0.00	51.79	
201	201	0.06	21.03	
202	202	-0.02	32.24	
203	203	-0.05	25.03	
204	204	-0.05	42.35	
205	205	0.01	69.10	
206	206	-0.06	48.43	