

## **INFORME PARCIAL Nº 2**

### **TOMO III**

## **EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA**



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA .....</b>	<b>1</b>
2.1	METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS .....	1
2.2	INFORMACIÓN RECOPIADA .....	2
2.2.4	ANÁLISIS DE LAS VARIACIONES OBSERVADAS.....	10
2.3	CÁLCULO DE LAS TASAS DE TRANSPORTE LITORAL, HORIZONTES MODELIZADOS.....	11
2.3.1	DESCRIPCIÓN DEL MODELO GENESIS.....	11
2.3.2	LIMITACIONES DEL MODELO .....	12
2.3.3	PROCESO DE CALIBRADO Y VALIDADO.....	12
2.3.4	ESTADO ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA.....	16
2.4	CONCLUSIONES.....	18

### **ANEXO I FOTOS HISTÓRICAS**

<b>FIGURA 1.</b>	<b>EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE COSTA AL SUR DEL PUERTO DE SALAVERRY.....</b>	<b>3</b>
<b>FIGURA 2</b>	<b>ÁREA EROSIONADA (1985 A 2010) ZONA DE LOS BALNEARIOS DE LAS DELICIAS Y BUENOS AIRES. ....</b>	<b>4</b>
<b>FIGURA 3:</b>	<b>ÁREA EROSIONADA DESDE 1978 A 2009 EN LA ZONA DEL BALNEARIS DE BUENOS AIRES. ....</b>	<b>5</b>
<b>FIGURA 4.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA PLAYA DE HUANCHACO.....</b>	<b>7</b>
<b>FIGURA 5.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA PLAYA DE SALAVERRY.....</b>	<b>9</b>
<b>FIGURA 6.</b>	<b>MALLA EMPLEADA EN EL MODELO GENESIS.....</b>	<b>13</b>
<b>FIGURA 7.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO SUR DURANTE EL PROCESO DE CALIBRADO (1986 - 2000). MODELO GENESIS.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 8.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO SUR DURANTE EL PROCESO DE VALIDACIÓN (2000 - 2014). MODELO GENESIS.....</b>	<b>14</b>
<b>FIGURA 9.</b>	<b>DESEMBOCADURA DEL RÍO MOCHE EN EL AÑO 2000.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 10.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (1) DURANTE EL PROCESO DE CALIBRADO (1986 - 2000). MODELO GENESIS.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 11.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (2) DURANTE EL PROCESO DE CALIBRADO (1986 - 2000). MODELO GENESIS.....</b>	<b>15</b>
<b>FIGURA 12.</b>	<b>EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (1) DURANTE EL PROCESO DE VALIDACIÓN (2000 - 2014). MODELO GENESIS.....</b>	<b>16</b>

---

FIGURA 13. EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (2) DURANTE EL PROCESO DE VALIDACIÓN (2000 - 2014). MODELO GENESIS..... 16

FIGURA 14. EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO SUR A MEDIO PLAZO (2014 - 2028). MODELO GENESIS. .... 17

FIGURA 14. EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (1) A MEDIO PLAZO (2014 - 2028). MODELO GENESIS ..... 17

FIGURA 14. EVOLUCIÓN DE LA COSTA EN EL TRAMO NORTE (2) A MEDIO PLAZO (2014 - 2028). MODELO GENESIS ..... 18

## 1 INTRODUCCIÓN

EL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES con fecha 22 de Octubre de 2013 publico el consentimiento de la Buena Pro otorgada al Consorcio Internacional AC-INC, conformado por las empresas ACCIONA INGENIERIA S.A SUCURSAL DEL PERU, INVESTIGACION Y CONTROL DE CALIDAD S.A. SUCURSAL DEL PERU Y FREUD EDISON MEZA HIJAR.

Producto de esta adjudicación con fecha 05 de Noviembre del 2013 se firma el CONTRATO N° 120-2013-MTC/10 para la realización del Servicio de Consultoría del “Estudio de Regeneración del Borde Costero de los Balnearios de las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco” con la finalidad de proponer las alternativas de actuación encaminadas a la mejora y estabilización de las playas en los mencionados balnearios, lo que se realizara en base al estudio integral de los procesos hidrodinámicos y de dinámica sedimentaria, de manera que la Administración competente pueda tomar las decisiones más convenientes en el medio y largo plazo en el marco de una Gestión Integrada de Zonas Costeras

El presente Informe corresponde al tomo I de la Entrega n° 2 del proyecto de referencia de acuerdo a los criterios establecido en el punto n° 19. Documentación a ser presentada por el Consultor, incluido en las Bases Integradas del Concurso. El contenido de este informe responde a lo indicado en las mencionadas Bases.

## 2 EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

### 2.1 METODOLOGÍA DE LOS TRABAJOS

Para el análisis de la evolución de la línea de costa objeto de estudio se procederá a la recopilación y el análisis de la información histórica (cartografía, fotografía aérea, imágenes satélites, líneas de orilla, estudios anteriores, etc.) y a la modelización numérica.

La digitalización y montaje de fotografías aéreas, constituye una de las metodologías más fiables para determinar cuál ha sido la evolución histórica de una zona costera, ya que, por lo general, constituye la única fuente histórica de información.

A pesar de ello, debido a que las escalas de las fotografías en distintos años son muy diferentes, la composición digital precisa gran habilidad para evitar que los errores de estimación sean de orden inferior a las variaciones de la variable de interés, en nuestro caso, la línea de orilla. Se ha de tener en cuenta, dentro del proceso de montaje y digitalización realizado, los errores inherentes a la percepción visual. Lógicamente éstos se han de transformar a las escalas con las que se trabaja.

Otros errores a tener en cuenta son los debidos a las variaciones de los niveles de marea, al “run-up” y “run-down”, así como los asociados al propio proceso de montaje y solape de las fotografías (error de percepción lineal y angular). Se ha estimado que el error total cometido en la determinación visual de la línea de orilla es del orden de 1-2 mm, asumiendo, por lo tanto, desviaciones de  $\pm 20$  m, debidas a la transformación a escala real, para definir la banda de error cometido en la estimación la línea de orilla de las imágenes digitalizadas.

Partiendo de la propagación de los principales oleajes hasta la costa, utilizaremos un modelo de evolución de la línea de costa como es el modelo **Génesis**, que permite definir en una malla 1D, el retroceso o avance de la línea de costa empleando los resultados de las tasas longitudinales de transporte, que son calculadas por medio de la simulación sucesiva de la serie de datos de oleaje local de un año medio.

Se analizan los escenarios pasados de evolución de línea de costa para intentar calibrar y validar el modelo, y posteriormente analizaremos los escenarios futuros ante la implantación de la alternativa “0”, es decir, que no haya ninguna actuación.



## 2.2 INFORMACIÓN RECOPIADA

### 2.2.1 INFORMACIÓN CARTOGRAFICA DISPONIBLE

Para el análisis de la evolución de la línea de costa objeto de estudio se ha procedido a la recopilación y el análisis de la información histórica (cartografía, fotografía aérea, imágenes satélites, líneas de orilla, estudios anteriores, etc. En primer lugar se contactó con el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con la Dirección Aerofotografía (DIRAF) para recaban información acerca de las series de años disponibles en la zona de estudio.

De acuerdo con la información facilitada por ambos organismos, para la zona de estudio existen un vuelo completo y dos parciales:

Organismo	Año	Escala	Estado
IGN	1962	1:60.000	Completo
DGAF	1987		Parcial
DGAF	2000		Parcial

Por otro lado, se dispone de la línea de costa digitalizada de la Carta Nacional, escala 1:100.000 editada por el Instituto Geográfico Nacional, y disponible en formato shapefile, aunque no se considera válida a efectos de analizar la evolución de la línea de costa.

Igualmente se dispone de la línea de costa definida por la empresa Intecsa-Inarsa en el año 2011, en tres tramos de la zona de estudio, e incluida en el estudio "Asesoramiento y control de la reposición del borde costero en los balnearios de Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco".

### 2.2.2 ESTUDIOS PREVIOS EXISTENTES

La zona de los balnearios de Las Delicias, Buenos Aires y Huanchaco sufre desde hace varias décadas un progresivo deterioro del estado del borde litoral debido a la erosión. Esto ha motivado que en los últimos años se hayan elaborado numerosos estudios en los que se aborda el análisis de todo o parte del borde costero en lo referente a su evolución.

Entre los estudios e informes analizados se encuentran los siguientes:

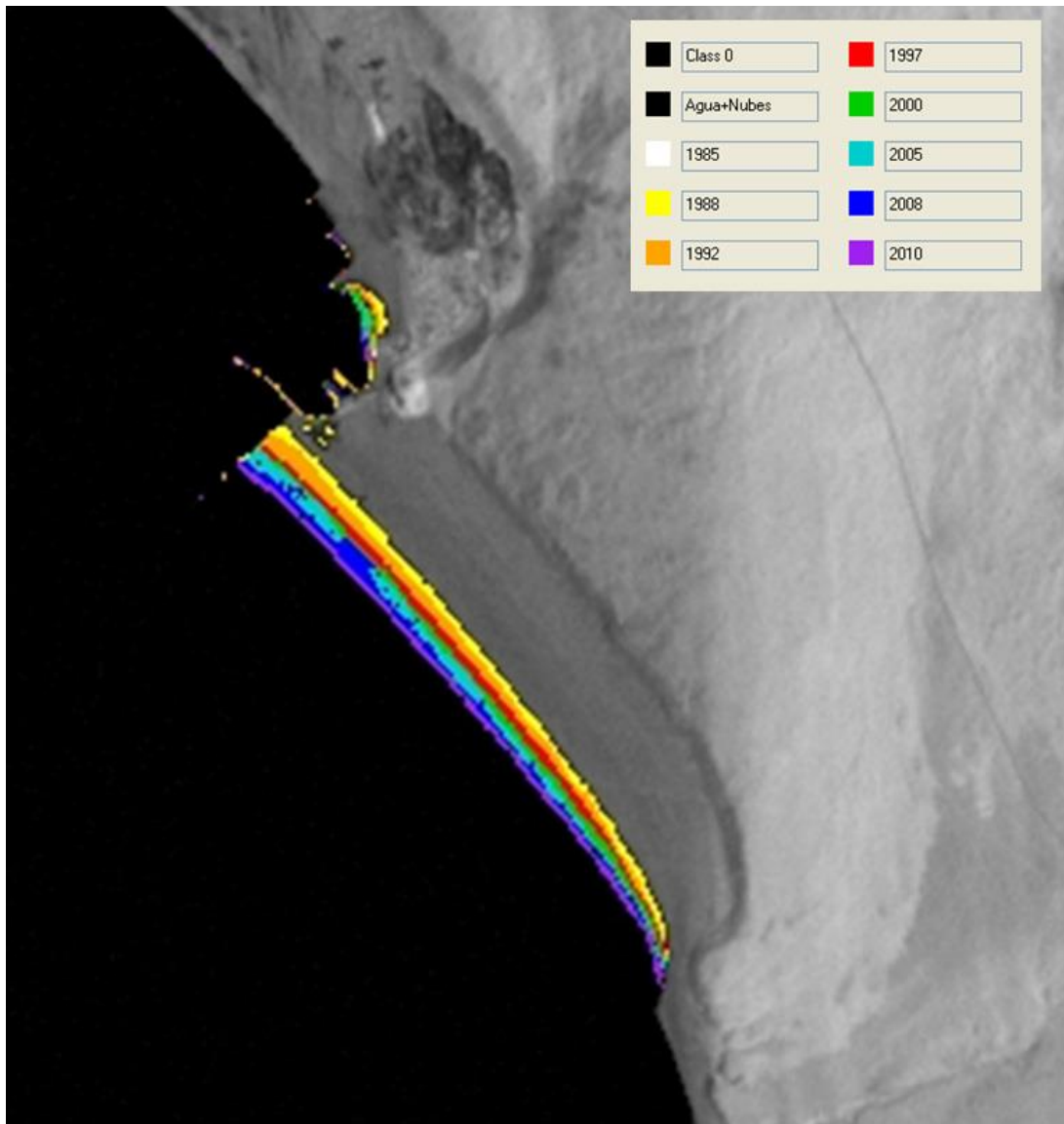
- "Evaluación probabilística de la peligrosidad y la vulnerabilidad frente a desastres naturales basado en proyecciones de cambio climático en el área metropolitana de Trujillo". Elaborado por IHCantabria en noviembre de 2012, para la Municipalidad provincial de Trujillo con fondos del BID:
- "Caracterización de la dinámica marina entre Salaverry y Huanchaco". Elaborado por la Dirección General de Hidrografía y Navegación en Octubre de 2011.

El primero de los estudios mencionados analiza distintas imágenes Landsat, desde 1985 hasta 2010 y realiza una comparación entre la zona situada al sur del puerto de Salaverry, donde se

ha producido una gran acumulación de sedimentos en los últimos años y los balnearios localizados al norte del puerto, donde por el contrario se ha producido una pérdida de material.

El estudio refleja cómo durante el periodo de tiempo analizado se han llevado a cabo dos prolongaciones del dique de Salaverry: una primera de 100 m en 1989 (se pasó de una longitud de 750 m a 850 m) y una segunda de 200 m en 2002 (en la que se pasó de una longitud de 850 m a 1050 m).

Cada prolongación ha sido planteada como consecuencia de la saturación del dique en su capacidad de retención de sedimentos y que, una vez construido dicho recrecimiento, el efecto de acumulación de sedimentos será máximo, conforme al volumen potencial de almacenamiento inicial, disminuyendo progresivamente según se vaya colmatando.



**Figura 1.** Evolución histórica de la línea de costa al sur del puerto de Salaverry.

Fuente: IH-Cantabria

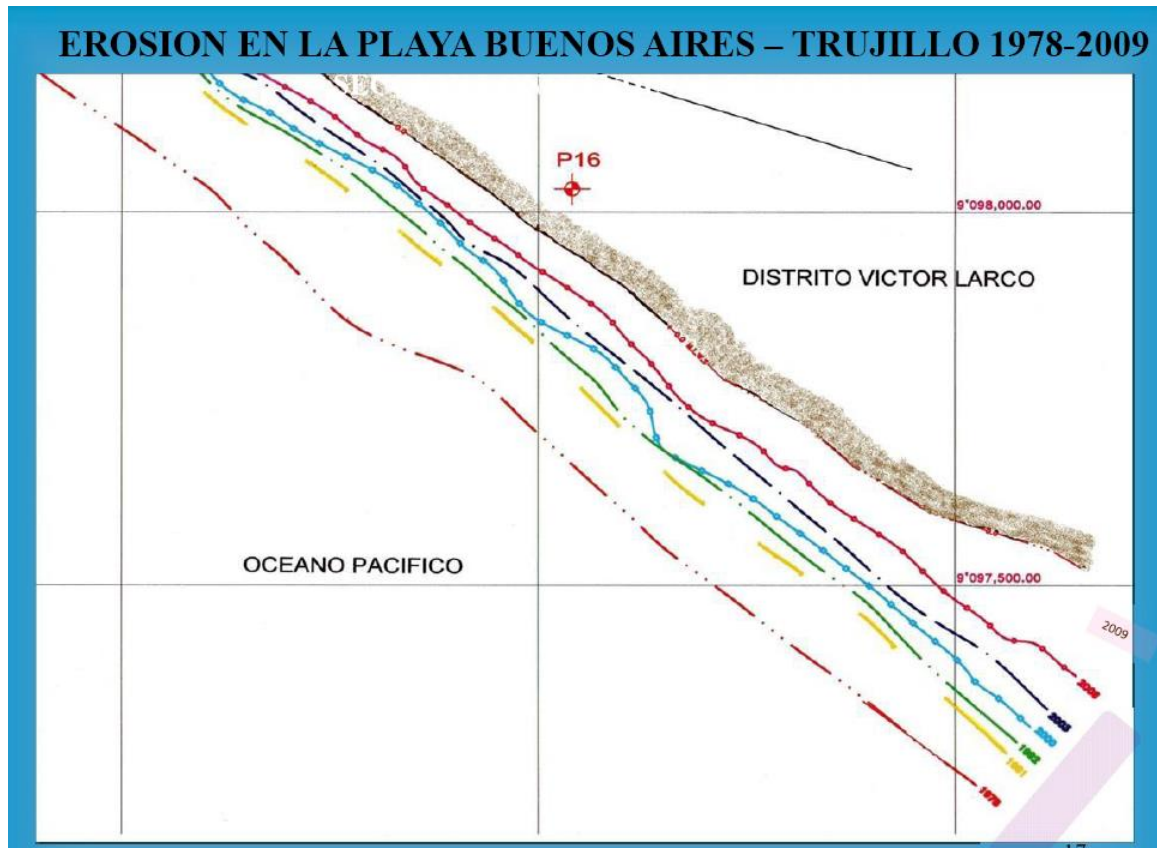
Por otro lado, el estudio analiza cómo se ha modificado el área de playas debido a la erosión, aunque menciona que entre los años 1997 y 2000 se produjo una entrada de sedimentos al sistema litoral que generó una pequeña etapa de sedimentación en las playas.

El estudio concluye que la acumulación de sedimentos ha sido variable a lo largo de los años debido, entre otras causas, a la variabilidad interanual del transporte potencial de sedimentos causados por la rotura del oleaje y por el recrecimiento del molo retenedor en el puerto de Salaverry.



**Figura 2 .**Área erosionada (1985 a 2010) zona de los balnearios de Las Delicias y Buenos Aires.

Fuente: IH-Cantabria



**Figura 3:** Área erosionada desde 1978 a 2009 en la zona del balnearis de Buenos Aires.

Fuente: DHN

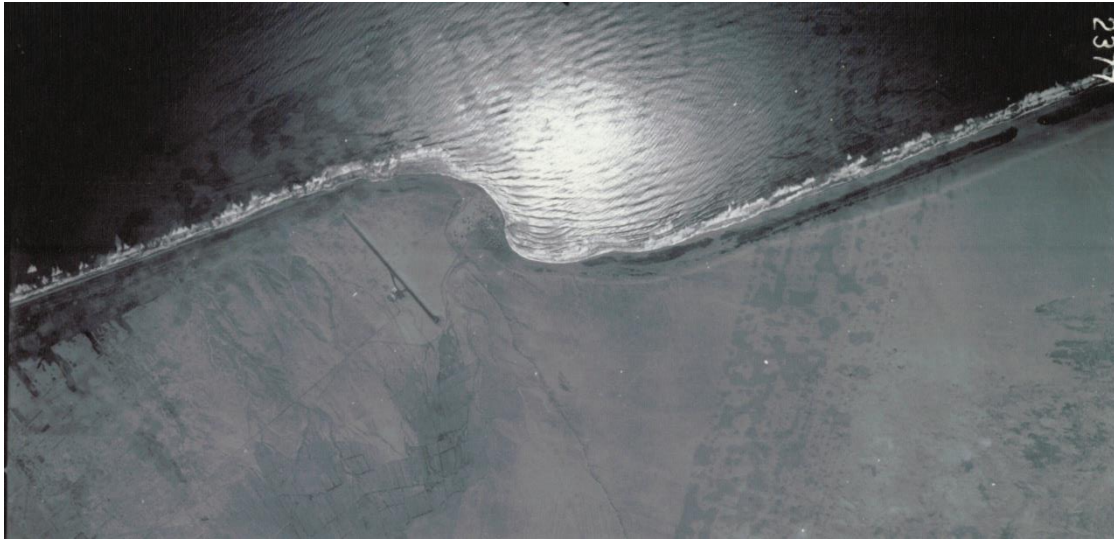
### 2.2.3 FOTOGRAFIAS AÉREAS ANALIZADAS

Se incluye a continuación una muestra de las fotografías aéreas analizadas para la elaboración de este informe. En el Anexo I se incluye la totalidad de los fotogramas empleados en cada una de las series históricas empleadas.

A modo de comparación se han seleccionado dos puntos, uno en la zona de Huanchaco, extremo norte del estudio y otro en el entorno del puerto de Salaverry.



**Zona de Huanchaco**



Fotograma 1961



Fotograma 1987



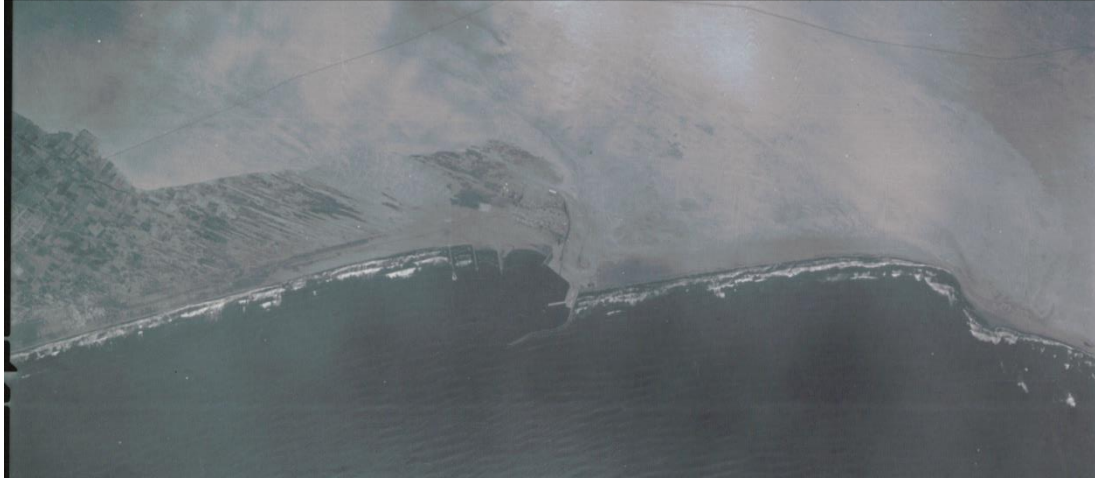
Fotograma 2000



Fotograma 2014

**Figura 4.** Evolución de la playa de Huanchaco.

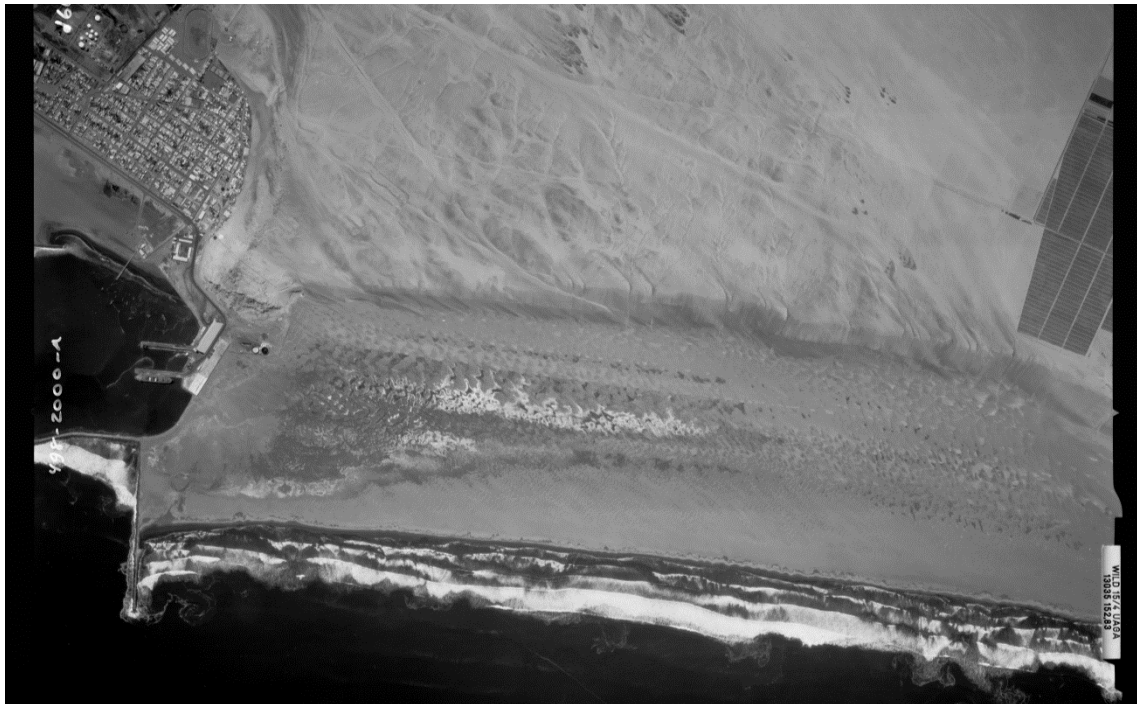
**Zona Puerto de Salaverry**



Fotograma 1960



Fotograma 1987



Fotograma 2014

*Figura 5. Evolución de la playa de Salaverry.*

En las fotografías siguientes se muestra el estado actual de las dos playas que se han utilizado de ejemplo para la comparación de los fotogramas.



Playa de Huanchaco



Molo retenedor desde la playa de Ramada

#### 2.2.4 ANALISIS DE LAS VARIACIONES OBSERVADAS

A partir de las fotografías aéreas de los años 1961, 1986, 2000, 2011 y 2014 se ha restituido la línea de costa en el tramo de estudio. No todos los años disponen del tramo completo, pero por suerte esto si ha sido posible en los años 1961, 2000 y 2014, por lo es posible medir cual ha sido la variación a lo largo del borde costero.

Para ellos se han medido la diferencia (en metros) sobre un número representativo de perfiles de playa, de modo que en fases posteriores de este trabajo, puedan utilizarse las conclusiones que se obtengan. Se ha trabajado sobre veinte (20) perfiles de playa (uno cada dos kilómetros), obteniéndose los resultados que figura en la tabla siguiente.

Se refleja en color rojo y con valor negativo el retroceso de la playa. El dato representa la variación en el año de la medición respecto al año anterior. (en el año 1986, la playa retrocedió 41,7 m respecto al mismo punto en el año 1961):

##### Evolución de los perfiles de playa (m)

Año	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	P-9	P-10
1961									
1986				-41,7	-18,7	21,3	52,6	51,8	54,3
2000					-24,8	10,9	17,3	-9,1	-27,6
2011									
2014	46,5	-0,4	-11,8	-24,8	0,0	11,3	-17,3	-30,4	-54,5
<b>Total</b>	46,5	-0,4	-11,8	-66,5	-43,5	43,5	52,6	12,3	-27,8

### Evolución de los perfiles de playa (m)

Año	P-11	P-12	P-13	P-14	P-15	P-16	P-17	P-18	P-19	P-20
1961										
1986	26,5	-9,9	-66,1	-123,4	-122,1	-11,6		528,2	484,0	
2000	-16,0	32,7	15,3	0,0	-9,5	17,4		167,6		
2011	-14,6	-92,5		-22,7						
2014	-33,7	-10,6	-113,0	-66,9	0,0	-17,4		225,8	367,2	132,8
<b>Total</b>	<b>-37,8</b>	<b>-80,3</b>	<b>-163,8</b>	<b>-213,0</b>	<b>-131,6</b>	<b>-11,6</b>	0,0	921,6	851,2	132,8

De acuerdo con estos datos las mayores variaciones negativas se han producido en los balnearios de Delicias y Buenos Aires, mientras que los mayores crecimientos se han dado en la playa localizada al sur del puerto de Salaverry. Los años en los que se produce crecimiento en algún perfil suele coincidir con alguna obra de emergencia, aunque en la mayor parte de los casos, esa ganancia se pierde en los años siguientes.

## 2.3 CALCULO DE LAS TASAS DE TRANSPORTE LITORAL, HORIZONTES MODELIZADOS

### 2.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO GENESIS

El modelo GENESIS es un modelo matemático para el estudio de la evolución de la línea de costa a medio y largo plazo. Su aplicación para este tipo de estudios se ha mostrado como un método eficaz para el análisis de impacto a largo plazo del diseño de estructuras de protección y defensa de costas, así como de los procesos de realimentación (by-pass) de arenas.

La técnica de modelización que subyace en este tipo de modelos se fundamenta en el concepto de que la forma en planta de la costa depende principalmente del valor del ratio de transporte longitudinal de sedimentos y su gradiente de variación. GENESIS considera únicamente el transporte longitudinal de arenas originado por oleajes en rotura que inciden en la costa oblicuamente.

El modelo incluye un sofisticado módulo interno de transformación del oleaje que analiza la rotura del mismo a lo largo del tramo modelizado. Mediante el método del flujo de energía descrito en el Shore Protection Manual (1984) se calculan las tasas de transporte de sedimentos. Posteriormente, se calcula la evolución de la línea de orilla estudiando los balances sedimentarios en cada célula de la costa en que se ha fragmentado el tramo en estudio.

Basándose en la hipótesis de que el perfil de playa permanece en estado de quasi-equilibrio a largo plazo (años), la erosión o acreción de la costa produce un desplazamiento completo del perfil hacia tierra o hacia mar, respectivamente.

GENESIS permite especificar y modelar un casi ilimitado número de supuestos costeros, así como configuraciones estructurales. El programa analiza la influencia de las estructuras costeras sobre la configuración de la línea de costa, sean éstas espigones, diques, muros de defensa longitudinales y diques exentos.

El uso de GENESIS requiere del conocimiento de ciertos datos físicos de campo del problema en estudio para dos fines concretos:

- Efectuar un juicio correcto e integral de los procesos costeros que se desarrollan en un tramo de costa perteneciente a una región geográfica más amplia.
- Calibrar, verificar y establecer predicciones con el modelo.



Para un mayor detalle técnico del modelo GENESIS puede consultarse el informe técnico del CERC-89-19 titulado: "GENESIS, Generalized Model for Simulating Shoreline Changes" (Hanson & Kraus, 1989).

### 2.3.2 LIMITACIONES DEL MODELO

Cabe mencionar que el Modelo GENESIS a pesar de ser un modelo versátil y de fácil utilidad para el análisis de alternativas como herramienta rápida de la evolución de la línea de costa que permite comparar las distintas respuestas de un tramo costero, tiene ciertas limitaciones:

- En primer lugar, los resultados obtenidos tienen un alto valor conceptual, o cualitativo, pero no es muy preciso en los resultados cuantitativos. Por lo tanto, es una herramienta apta e indicada para la comparación de posibles líneas de actuación, pero de difícil aplicación para definir el estado actual de una zona. Lógicamente mediante un proceso de calibrado y validado pueden obtenerse los mejores resultados posibles
- Para el proceso de calibrado es necesario disponer de una línea histórica de la costa inicial en equilibrio, una actuación puntual que altere ese equilibrio y una línea histórica de la costa tras la evolución que de nuevo se encuentre en el equilibrio. GENESIS puede calibrarse analizando la evolución de un estado de equilibrio a otro, alterando las condiciones iniciales, con la actuación puntual (obras de defensa, puertos, etc). Por desgracia, esta información no suele estar disponible, aunque se puede tantear mediante el proceso de evolución entre dos líneas de costa histórica
- Para el proceso de validación, de nuevo, se necesitan dos líneas de costa en épocas distintas, ambas en equilibrio y con una actuación intermedia. Lógicamente, si ya es difícil disponer de esa información para el proceso de calibrado, todavía lo es más para el proceso de validación. Igualmente, se puede realizar dicho proceso con un par de líneas históricas consecutivas y una evolución debida a cualquier tipo de alteración entre ambas
- Para que las simulaciones tengan sentido, el tramo de costa simulado, debe contener en sus extremos puntos no sujetos a cambios en la línea de costa, ya sea por estar en zonas abiertas sin gradientes sedimentarios (ni erosiones ni acreciones) o bien límites de Unidad fisiográfica o contornos naturales o artificiales que represente un cierre total al transporte longitudinal. Por desgracia, las líneas de costa de las que se dispone de información histórica no suelen estar representadas entre dos extremos cerrados en ese aspecto, por lo que posibles errores en los contornos pueden generarse en los resultados
- Finalmente, existen singularidades que por la propia tipología del modelo no pueden simularse de manera adecuada. Al tratarse de un modelo 1D, las variaciones en los taludes del perfil sumergido no quedan representadas, puesto que el modelo supone un perfil de equilibrio constante en todo el tramo. Y por otro lado, el modelo está pensado para playas rectilíneas e uniformes, por lo que grandes cambios en la orientación de la playa suelen ser difíciles de simular con precisión. La mayoría de estas singularidades se deben a una mayor consolidación de los terrenos o a un cambio en la tipología del material que conforma las playas, por lo que, se podrían definir como erosionables, pero con unas tasas mucho más lentas. GENESIS es incapaz de simular este tipo de singularidades, puesto que tan sólo se puede definir la costa en tramos erosionables o no erosionables

### 2.3.3 PROCESO DE CALIBRADO Y VALIDADO

A pesar de los inconvenientes o limitaciones que el modelo presenta, su aplicación será muy útil para valorar de manera rápida y sencilla la mayor o menor eficiencia de posibles soluciones. Es por ello que se ha procedido a realizar un proceso de calibrado y validado del

tramo costero simulado, que abarca 40 km, desde el sur del Puerto de Salaverry hasta el norte de Huanchaco (Figura 6).

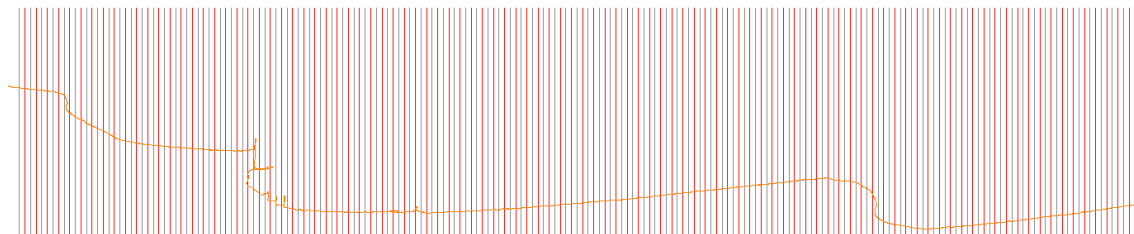


Figura 6. Malla empleada en el Modelo GENESIS.

Se emplea una malla lineal de 100 nodos, con 400 m cada nodo, y se han obtenido los valores del oleaje a pie de talud, de acuerdo a las propagaciones realizadas. A partir de la transformación de los distintos oleajes tipo simulados y que GENESIS tiene en consideración, se ha generado un registro de un año medio de estados de mar cada 3h, que el modelo repite año tras año para analizar la evolución de la línea costa.

El modelo se encarga de la transformación del oleaje hasta la línea de rotura, parámetros que usa en cada instante de tiempo para definir las tasas de transporte y a partir de los gradientes del mismo generar en cada paso de tiempo los cambios generados en la línea de costa. De manera iterativa, el modelo va generando a lo largo del tiempo la evolución de la costa desde el estado inicial hasta el estado final.

Como se ha visto en el apartado anterior, se dispone de 5 líneas históricas de la línea de costa, que más o menos cubren todo el tramo de estudio. De entre ellas se usarán las líneas de 1986 y 2000 para simular 14 años de evolución, y realizar un proceso de calibrado del modelo.

En base a los resultados se simulará la evolución de los siguientes 14 años, partiendo de la línea del año 2000 hasta la actualidad, con el fin de validar los resultados. En el siguiente apartado se analizará la situación actual y la evolución futura de la costa bajo el supuesto de no realizar ninguna actuación.

Dado que el tramo sur del puerto de Salaverry recibe una evolución de la línea de costa independientemente del tramo norte, es decir, que su evolución depende únicamente de la longitud del molo retenedor, se analiza en primer lugar dicho tramo.

En la Figura 7 se muestra los resultados del trozo de malla correspondiente al tramo sur, en el que se ve la línea de costa de 1986, junto con la línea de costa del año 2000, más la línea obtenida tras 14 años de evolución de la costa con el Modelo GENESIS.

Tal y como se aprecia en dicha figura, los resultados obtenidos muestran un gran correlación con la situación real medida entre el periodo transcurrido entre 1986 al 2000. De acuerdo a estos resultados la línea de costa avanzó de media unos 185 m, lo que suponen unos 13.2 m de avance al año.

Usando los mismo parámetros de calibrado se procedió al validado del modelo, analizando 14 años más, entre las líneas de costa del 2000 y el 2014. En la Figura 8 se muestra los resultados obtenidos, que ofrecen una buena correlación, si bien la línea de costa modelada se queda algo retrasada. En este periodo la costa avanzó unos 220 m (15.7 m/año).



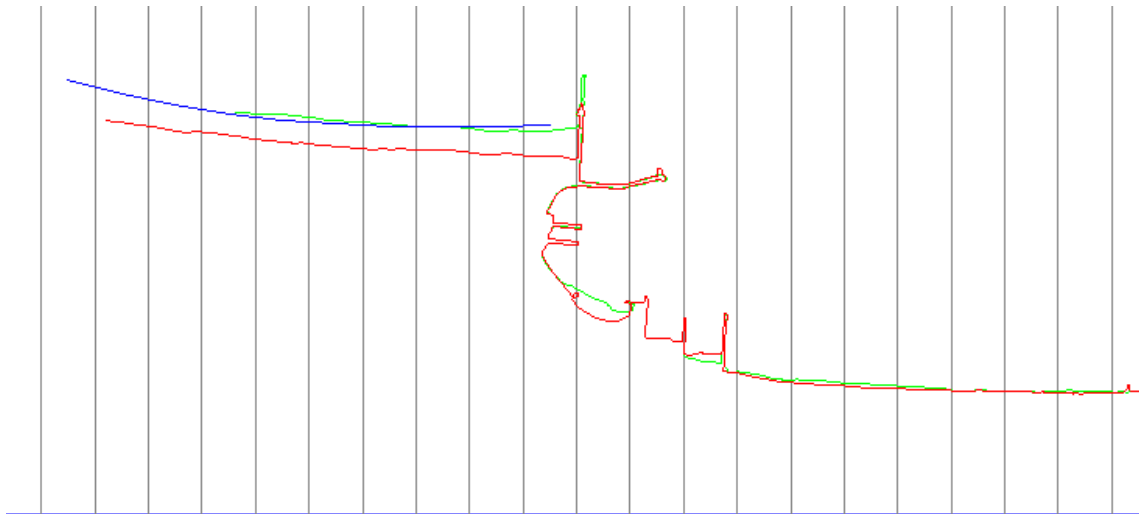


Figura 7. Evolución de la costa en el tramo sur durante el proceso de calibrado (1986 - 2000).  
Modelo GENESIS.

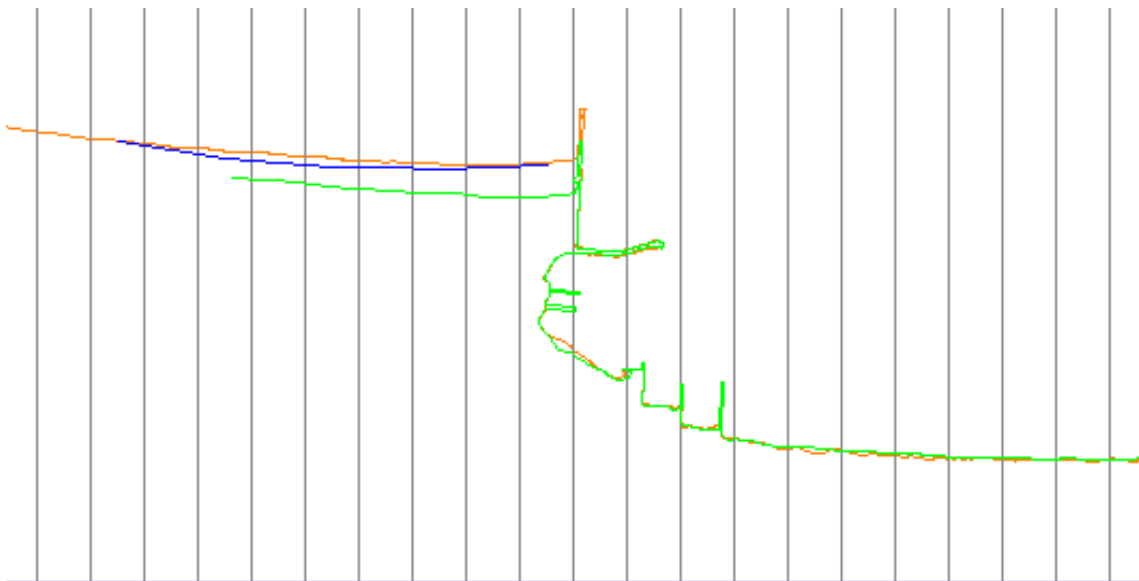


Figura 8. Evolución de la costa en el tramo sur durante el proceso de validación (2000 - 2014).  
Modelo GENESIS.

Del mismo modo, para el tramo al norte del Puerto de Salaverry, se han establecido los procesos de calibrado y validación, teniendo en cuenta una pequeña singularidad de la línea de costa del año 2000. Tal y como se aprecia en la línea magenta de la Figura 9, la línea de costa justo delante del río Moche presenta un saliente característico de cono de deyección, debido posiblemente a algún episodio reciente de avenida. A pesar de no tener que considerarse dicha particularidad en el futuro, en el proceso de calibrado se han obtenido resultados satisfactorios (ver Figura 10 para el tramo de Las Delicias y Buenos Aires y Figura 11 para el tramo de Huanchaco). Del mismo modo, en el proceso de validación, los resultados han sido satisfactorios, puesto que en la zona comprendida entre Las Delicias y Huanchaco, los efectos de la erosión son altamente notables, con ratios de hasta 6.4 m al año (Figura 12). En la zona de Huanchaco por ahora, los procesos de erosión parecen no ser muy evidentes, si bien es una zona compleja de resolver para el modelo GENESIS (Figura 13).

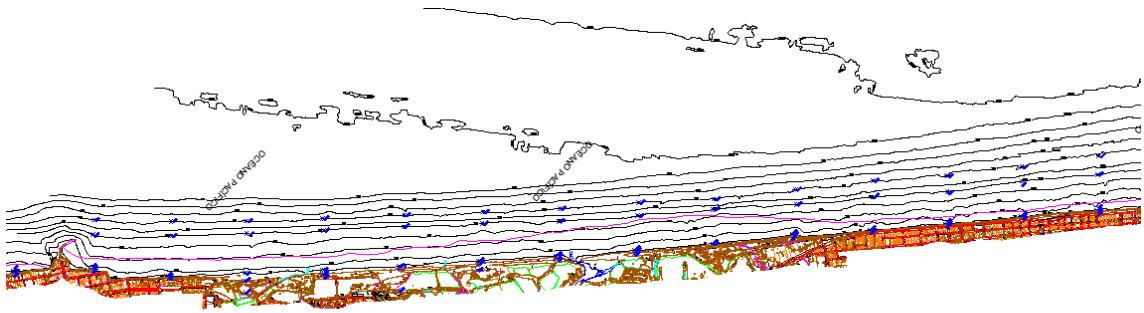


Figura 9. Desembocadura del río Moche en el año 2000.

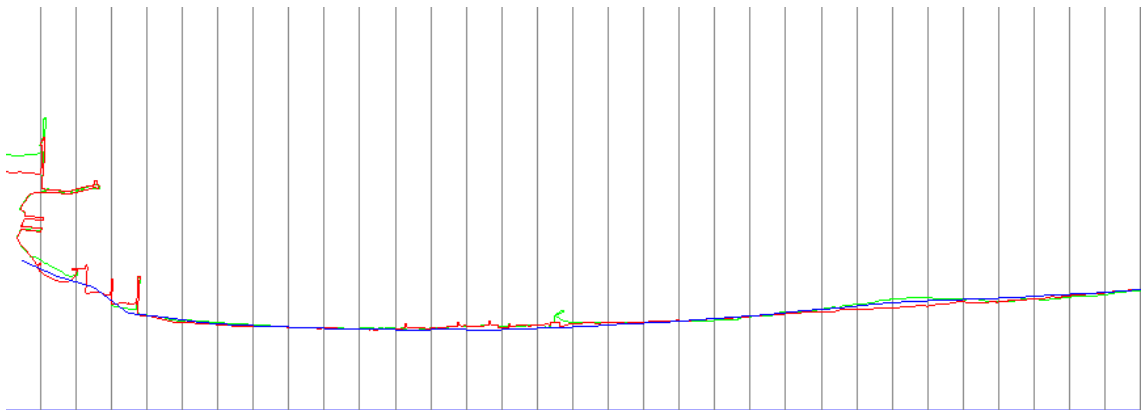


Figura 10. Evolución de la costa en el tramo norte (1) durante el proceso de calibrado (1986 - 2000). Modelo GENESIS.

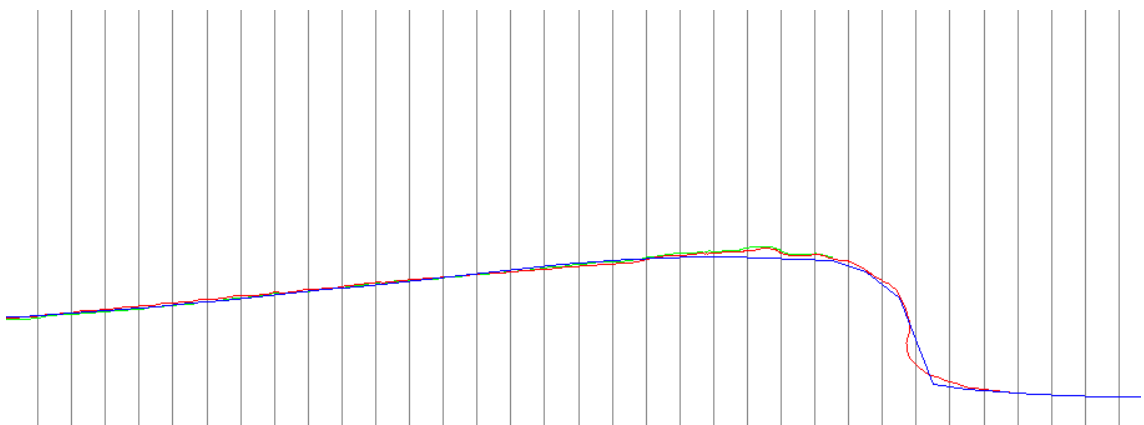


Figura 11. Evolución de la costa en el tramo norte (2) durante el proceso de calibrado (1986 - 2000). Modelo GENESIS.

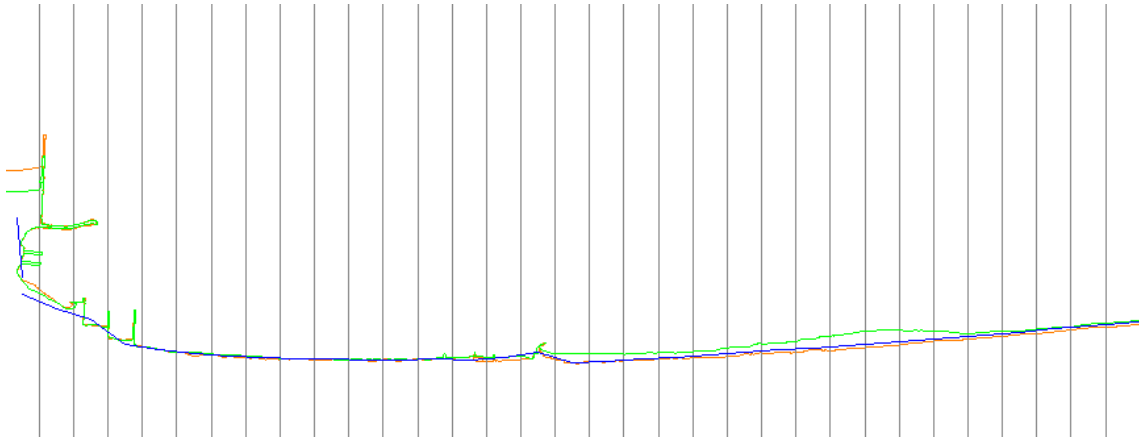


Figura 12. Evolución de la costa en el tramo norte (1) durante el proceso de validación (2000 - 2014). Modelo GENESIS.

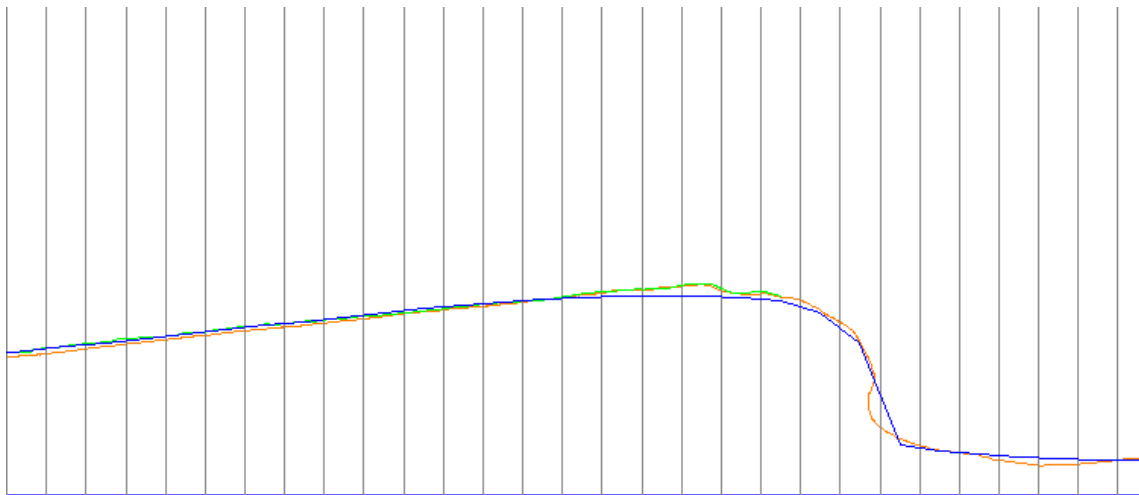


Figura 13. Evolución de la costa en el tramo norte (2) durante el proceso de validación (2000 - 2014). Modelo GENESIS.

### 2.3.4 ESTADO ACTUAL Y EVOLUCIÓN FUTURA

Una vez realizado el calibrado, se ha resuelto modelar el estado futuro del tramo costero durante los próximos años, con la finalidad de establecer qué ocurriría en caso de que no se llevaran a cabo actuaciones de control sobre la línea de costa. Para ello, y a fin de obtener ratios de avance o retroceso de la línea de costa comparables con los del proceso de calibrado y validación, se han simulado los siguientes próximos 14 años

En la Figura 14, se muestra la ubicación de la playa en el 2028, en la que se aprecia claramente como el proceso de acumulación de material no se detiene.

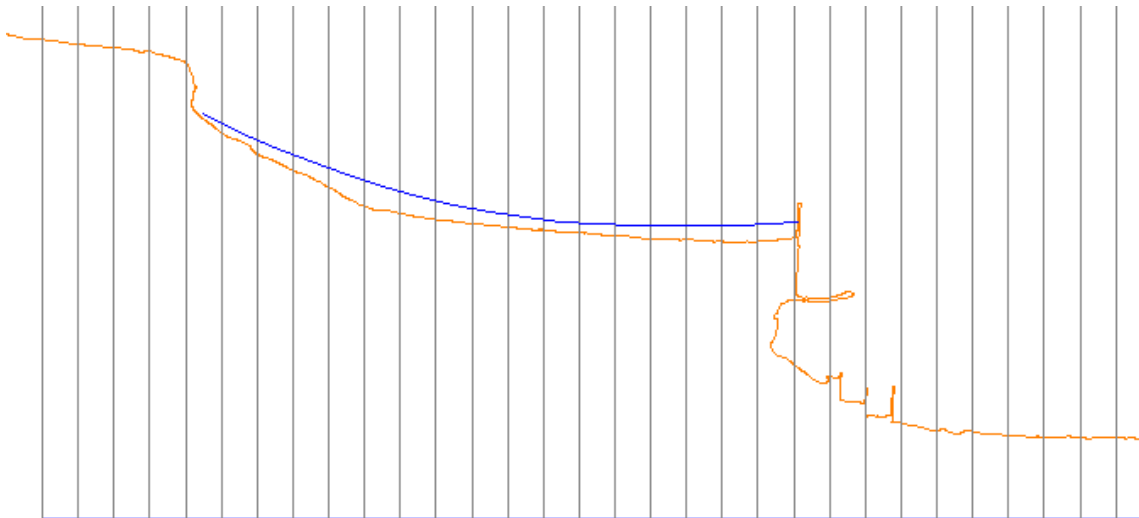


Figura 14. Evolución de la costa en el tramo sur a medio plazo (2014 - 2028). Modelo GENESIS.

Según estos resultados, la línea de costa durante los próximos años, seguiría avanzando a ritmo de poco más de 10 m al año, hasta que el molo retenedor quedara totalmente colmatado, lo que obligaría a iniciar de nuevo una prolongación para seguir acumulando material. Lógicamente este planteamiento queda totalmente descartado como solución sostenible al tramo de costa analizado.

Finalmente, las simulaciones de la evolución futura de la línea de costa en el tramo al norte del Puerto de Salaverry para los próximos años, muestra como las erosiones continuarán produciéndose. El ratio anual de las erosiones en la zona central, frente al Balneario de Buenos Aires (Figura 15), se detiene debido principalmente al escollerado, pero sin embargo se traslada hacia el norte generando un efecto cascada hacia Huanchaco (Figura 16).

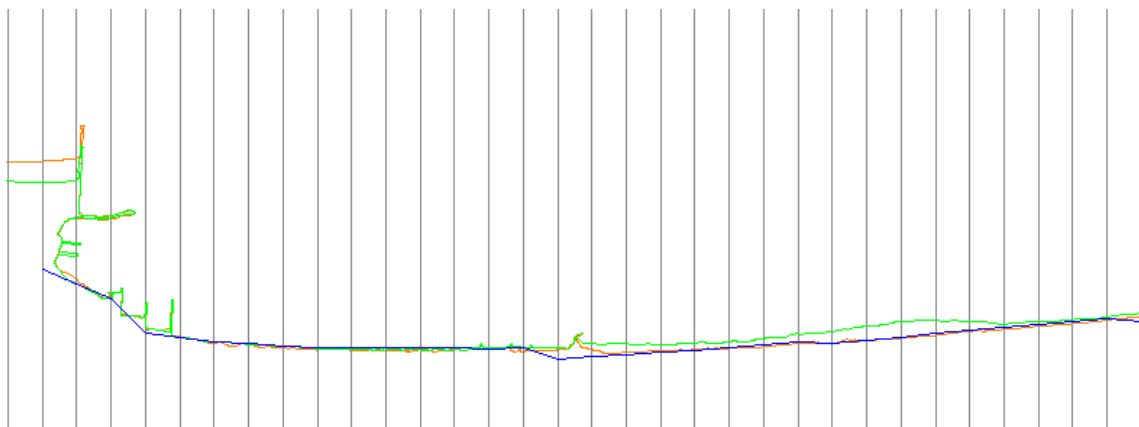


Figura 15. Evolución de la costa en el tramo norte (1) a medio plazo (2014 - 2028). Modelo GENESIS

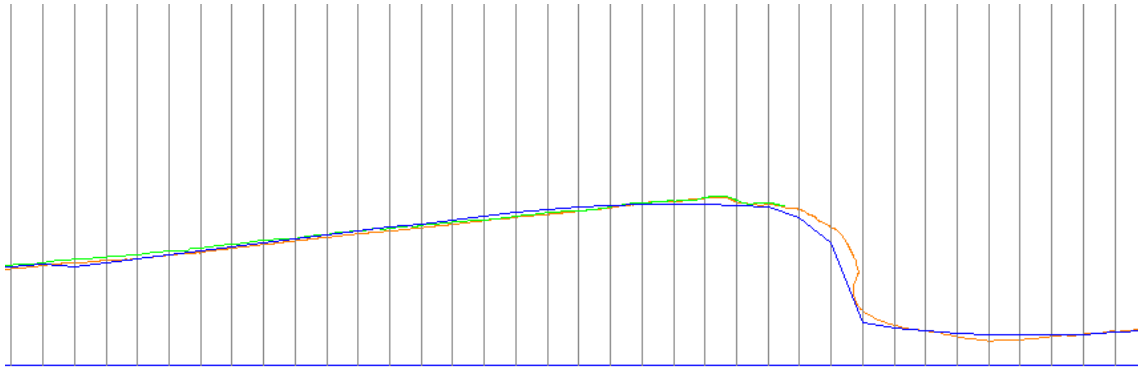


Figura 16. Evolución de la costa en el tramo norte (2) a medio plazo (2014 - 2028). Modelo GENESIS

## 2.4 CONCLUSIONES

Tras el análisis de la revisión de las líneas de costa históricas, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- Se han analizado 4 líneas de costa históricas, correspondientes a los años 1961, 1986, 2000 y 2014
- En la zona del sur del Puerto de Salaverry, los valores del avance de la línea de costa son continuos en todos los periodos, donde se aprecia además como se ha tenido que ir prolongando el molo retenedor a medida que la playa avanzaba.
- En el tramo central se aprecian las mayores erosiones, que van desde Las Delicias hasta Buenos Aires, en especial en los últimos 14 años.
- En el año 2000 se observa un saliente justo en la desembocadura del río Moche, lo que hace pensar en un evento reciente de avenida con aporte importante de sedimentos. En la actualidad no se aprecia nada de dicho saliente y la erosión en ese tramo llegó a ser de hasta 200 m en 14 años.
- El tramo situado al norte antes de Huanchaco ha presentado un ligero avance respecto a la línea de costa de 1961, aunque en la actualidad parece haber retrocedido un poco.
- En Huanchaco no se aprecian erosiones importantes, mas se da el caso de que en el año 1986 la línea de costa presenta un avance sustancial con respecto al resto de años analizado. Justo en ese tramo no se dispone de información del año 2000, pero puede suponerse que la urbanización y la construcción del paseo marítimo se realizó durante un periodo en que la costa presentaba un avance respecto a otras épocas, por lo cual hoy día presenta problemas de erosión.
- Mediante el Modelo GENESIS se ha simulado la evolución histórica de la línea de costa.
- A partir de las líneas de 1986 y 2000 se ha procedido a calibrar el modelo, obteniéndose buenos resultados tanto en la zona de acumulación al sur de Salaverry como en la zona de erosiones entre Las Delicias y Buenos Aires.
- Posteriormente se ha validado el modelo simulando la evolución de la costa entre el año 2000 y el 2014 observándose buenos resultados, salvo zonas puntuales.

- Finalmente se han simulado los próximos 14 años partiendo de la situación actual, constatando que la presencia del escollerado en el tramo central (Víctor Larco) ayuda a frenar las erosiones, pero traslada el problema aguas arriba (efecto cascada) llegando a generarse importantes erosiones en la zona de Huanchaco, donde no se habían producido todavía.
- La solución sostenible que se derive de este análisis de la situación actual tendrá que evitar la continua acumulación de materiales al sur del Puerto, así como evitar las continuas erosiones que se van desplazando hacia Huanchaco, con el fin de establecer una solución lo más sostenible posible.

Lima, 13 de junio 2014



## **ANEXO I**

### **FOTOS HISTÓRICAS**



**AÑO 1961**





**AÑO 1987**





PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

*ESTUDIO DE PRE INVERSION A NIVEL DE PERFIL.  
REGENERACION DEL BORDE COSTERO DE LOS  
BALNEARIOS DE LAS DELICIAS BUENOS AIRES Y  
HUANCHACO*

---

INFORME  
PARCIAL Nº 2

**AÑO 2000**



**CONSORCIO  
INTERNACIONAL  
AC-INC**



PERÚ

Ministerio  
de Transportes  
y Comunicaciones

*ESTUDIO DE PRE INVERSION A NIVEL DE PERFIL.  
REGENERACION DEL BORDE COSTERO DE LOS  
BALNEARIOS DE LAS DELICIAS BUENOS AIRES Y  
HUANCHACO*

---

INFORME  
PARCIAL Nº 2



**CONSORCIO  
INTERNACIONAL  
AC-INC**