

ANEJO N°7
Evolución histórica de
la costa

ESTADO DE LOS TRABAJOS

Versión	Fecha	Modificaciones
A	03/04/2014	
B	31/07/2014	Versión Proyecto Básico



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	ESTUDIO CUALITATIVO DE LA LÍNEA DE COSTA (hasta el siglo XX)	2
2.1	<i>ESCALA DE TIEMPO GEOLÓGICO: paleogeografía.....</i>	<i>2</i>
2.1.1	PALEOGEOGRAFÍA DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE NERJA.....	2
2.1.1.1	Depósitos del Plioceno Inferior (≈ 5 M.A. B.P.)	2
2.1.1.2	Depósitos del Plioceno Superior (≈ 4 M.A. B.P.).....	4
2.1.1.3	Depósitos del Pleistoceno (≈ 2.6 M.A. B.P.).....	4
2.1.1.4	Depósitos del Holoceno (≈ 11,784 años B.P.).....	6
2.1.2	PALEOGEOGRAFÍA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL	7
2.2	<i>HISTORIA RECIENTE: ANTROPIZACIÓN DEL LITORAL.....</i>	<i>10</i>
3	ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA LÍNEA DE COSTA (a partir de 1956).....	15
3.1	<i>INFORMACIÓN DE PARTIDA.....</i>	<i>15</i>
3.2	<i>METODOLOGÍA.....</i>	<i>17</i>
3.3	<i>LIMITACIONES DEL ESTUDIO.....</i>	<i>21</i>
3.4	<i>RESULTADOS.....</i>	<i>22</i>





1 INTRODUCCIÓN

En este apartado del estudio, se lleva a cabo el análisis de la evolución que ha sufrido la costa nerjeña de El Playazo a lo largo de los años, desde cuando se tienen indicios hasta el presente, con el fin identificar las causas que han dado lugar a su estado actual y su tendencia evolutiva reciente.

La metodología a seguir para su estudio va a depender de la época a analizar, pues las fuentes de información, tanto documental como geográfica, han mejorado con el paso del tiempo y los avances en las tecnologías, y de las escalas de los procesos que inducen cambios en la costa, muy diversas.

Así, para la caracterización de la evolución histórica de la costa previa al siglo XX, se ha efectuado un estudio cualitativo de los fenómenos acaecidos y las actuaciones llevadas a cabo en la misma, basado, en primer lugar, en los cambios sufridos por el entorno costero desde un punto de vista geológico y geográfico desde el final del periodo neógeno hasta la actualidad, escala de tiempo geológico, y en segundo lugar, en las modificaciones antrópicas del territorio consecuencia de su urbanización y explotación desde los orígenes musulmanes de Nerja, historia reciente.

La obtención de fotografías aéreas de vuelos litorales a partir de 1956, ha permitido la realización de un estudio cuantitativo de las variaciones sufridas por el borde costero en estudio en el último medio siglo, a partir de dicho año y hasta la actualidad, y de forma más detallada en los últimos 10 años, mediante la restitución de las líneas de orilla y su comparación en épocas sucesivas, la cual permite mensurar los avances y retrocesos en todo el tramo.



2 ESTUDIO CUALITATIVO DE LA LÍNEA DE COSTA (hasta el siglo XX)

2.1 ESCALA DE TIEMPO GEOLÓGICO: PALEOGEOGRAFÍA

2.1.1 PALEOGEOGRAFÍA DE LA CUENCA SEDIMENTARIA DE NERJA

El análisis de las características de los depósitos que componen la cuenca sedimentaria plio-cuaternaria de Nerja (Jordá Pardo, 2004)¹, a la que pertenece el borde litoral en estudio, permite conocer la evolución de los ambientes del entorno costero, establecer la secuencia cronológica de los episodios de transgresión (ascenso del nivel del mar e inundación costera) y regresión marina (descenso del nivel del mar y progresión continental) ocurridos en la zona, y posicionar, de un modo aproximado, el trazado de la línea de costa de distintas épocas geológicas.

Los depósitos caracterizados ocupan pequeñas extensiones en la franja costera y tienen su máximo de penetración hacia el interior en los alrededores de Frigiliana. En ellos se ha establecido una seriación estratigráfica que comprende el Plioceno (cuyo inicio se sitúa hace 5.332 millones de años, M.A.), el Pleistoceno (a partir de los -2.588 M.A.) y el Holoceno (desde 0.0118 M.A. B.P.², época geológica actual).

La disposición de sus facies, las características intrínsecas de cada una de ellas, las secuencias posicionales observables, su polaridad, o los fósiles hallados en ellas, entre otras, evidencian el ambiente en el que se formaron y su época.

2.1.1.1 Depósitos del Plioceno Inferior (≈ 5 M.A. B.P.)

Unidad constituida por areniscas líticas fosilíferas y calcarenitas, masivas o con laminación paralela, que en ocasiones presentan en la base conglomerados arenosolúticos de escasa potencia que contienen microfósiles marinos.

¹ Jordá Pardo, J.F. Análisis geomorfológico y paleográfico de la Costa del Sol Oriental en los alrededores de Nerja (Málaga, S de España).

² *Before Present* (anterior al presente).



La sedimentación durante el Plioceno inferior presenta un marcado carácter transgresivo que comienza rellenando las zonas deprimidas del paleorrelieve preexistente (Figura 1), originado éste por pequeños cursos fluviales de un sistema de drenaje instalado una vez generados los relieves alpujárrides de Sierra Almijara, cuyos colectores principales coinciden básicamente con los principales cursos actuales.

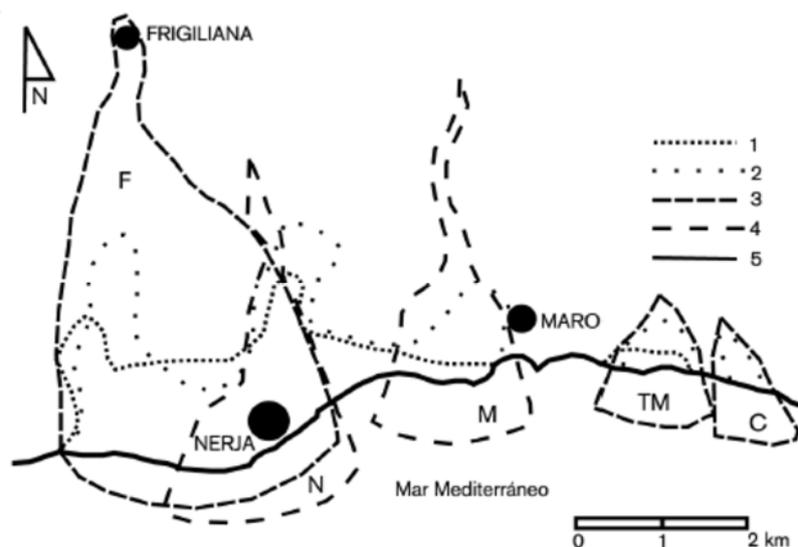


Figura 1. Esquema paleogeográfico que muestra la distribución de los depósitos pliocenos y pleistocenos en la zona de Nerja: (1) máxima penetración de los depósitos marinos en el Plioceno inferior; (2) máxima penetración de los depósitos de transición (sistemas deltaicos) en el Plioceno superior; (3) distribución espacial de los abanicos aluviales de Frigiliana (F), de la Torre de Maro (TM) y de los Colmenarejos (plioceno superior-plioceno inferior); (4) distribución espacial de los abanicos aluviales de Maro (M) (pleistoceno inferior-medio) y de Nerja (pleistoceno medio-superior); (5) línea de costa actual. Fuente: Jordá Pardo (2004).

Este depósito se produce en un medio costero de alta energía, de playa abierta próxima a un relieve acantilado. Hacia el W la sedimentación se produce en una zona algo más alejada del relieve, presentando características de menor energía, asimilables a la zona por debajo del límite de ruptura de las olas en un medio de playa abierta, relacionada con la plataforma proximal. La línea de costa presenta su máximo avance sobre el zócalo alpujárride, correspondiendo, al menos, con una línea de trazado irregular que uniría los afloramientos más septentrionales de la Unidad Inferior del Plioceno, alcanzando sus máximos transgresivos en las zonas deprimidas del paleorrelieve, asociadas probablemente a cursos fluviales antiguos. De W a E estas zonas son: el valle del río Higuierón prolongándose en el del río Seco, el valle del río Chillar, el valle del barranco de



Maro y el del Río de la Miel. Siguiendo estos máximos transgresivos, la línea de la paleocosta del Plioceno inferior se situaría de forma paralela a la falla de Frigiliana, que limita la cuenca sedimentaria de Nerja por el NE.

2.1.1.2 Depósitos del Plioceno Superior (\approx 4 M.A. B.P.)

Está formada por alternancias de conglomerados, areniscas líticas fosilíferas, calcarenitas y arenas, de carácter marino-transicional, y por conglomerados de relleno de canal, arenas, fangos, arcillas, calcarenitas y calizas micríticas de claro carácter continental.

Se trata de una sedimentación costera de tipo deltaico ligada a la desembocadura de varios cursos fluviales. Una fase tectónica intrapliocena bascula los materiales depositados durante el Plioceno Inferior, variando la configuración de la costa durante el Plioceno Superior que adquiere una fisonomía fuertemente acantilada a la vez que se desarrolla una importante regresión, instalándose en la costa varios sistemas deltaicos ligados a la desembocadura de cursos fluviales. Los materiales, depositados de forma discordante sobre los del Plioceno Inferior, presentan un carácter marino en la base, ganando continentalidad hacia el techo.

La línea de costa durante el Plioceno superior presenta, dadas las características del medio sedimentario, un trazado oscilante, pudiendo delimitar el borde proximal de la sedimentación deltaica mediante la línea que une las máximas penetraciones de la Unidad Superior del Plioceno. Esta línea se ajusta a una serie de zonas deprimidas, limitadas por umbrales, que al igual que en el caso anterior se corresponden con los cursos fluviales actuales más importantes.

Posteriormente, una nueva pulsación tectónica, situada al final del Plioceno superior o en el límite Plioceno-Pleistoceno, produce el basculamiento de los depósitos emplazados durante el Plioceno superior, originando su emersión en algunos puntos de la costa.

2.1.1.3 Depósitos del Pleistoceno (\approx 2.6 M.A. B.P.)

En general, la naturaleza de estos depósitos es claramente continental, presentando un marcado carácter erosivo. A grandes rasgos se diferencian dos grupos de materiales pleistocenos: uno constituido por los depósitos de mayor extensión y potencia que llegan



desde el relieve hasta la línea de costa actual, al que pertenecen los originados por varios sistemas de abanicos fluviales, y otro integrado por depósitos de menores proporciones de travertinos, terrazas fluviales, conos de deyección y depósitos de vertiente, ligados a diferentes relieves o morfologías.

Durante el Pleistoceno la sedimentación básicamente está constituida por sistemas de abanicos aluviales a los que sigue la instalación de un sistema fluvial encajado en ellos, desarrollándose además depósitos travertínicos asociados a surgencias kársticas y zonas de arrasamientos costeros.

Esta época estuvo marcada por la sucesión de distintas pulsaciones tectónicas causantes del rejuvenecimiento del relieve de la Sierra de Almirajara, originándose un gran colector que recogía los sedimentos aportados por el desmantelamiento de la sierra, terminando en un sistema de abanicos aluviales, entre ellos el de Nerja (Figura 1), cuyo colector principal se corresponde con el curso actual del río Chíllar.

Con posterioridad al emplazamiento de los abanicos tiene lugar el desarrollo de un sistema fluvial, que comienza antes en las zonas de los abanicos antiguos, iniciándose la destrucción de éstos y su desmantelamiento.

Así, los diferentes colectores que dieron lugar a los abanicos comienzan a encajarse en éstos, produciéndose cambios de dirección, como en el caso del arroyo de los Colmenarejos, e incluso capturas, como ocurre con el río Higuierón, capturado por el Chillar. Todos los ríos de la zona sufren un fuerte encajamiento, destacando el profundo cañón originado por el sistema de los ríos Chillar-Higuierón en los mármoles y esquistos alpujárrides y en los materiales del abanico de Nerja.

También se desarrollan durante el Pleistoceno, plataformas de abrasión ligadas a las oscilaciones del nivel del mar. La plataforma de abrasión situada a +2 m en la playa de la Torrecilla y en la playa de Burriana corresponderían a la transgresión Flandriense del comienzo del Holoceno (Zazo, 1980).

Durante el Pleistoceno Superior final la costa analizada estaba configurada por una amplia franja litoral arenoso-fangosa (grandes playas y medios costeros restringidos, con



estuarios en las zonas de desembocadura de los ríos y con grandes playas y *lagoons* en las zonas situadas entre desembocaduras) (Aura *et al.*, 1993, 2000, 2002).

2.1.1.4 Depósitos del Holoceno ($\approx 11,784$ años B.P.)

Los materiales holocenos de Nerja y su entorno corresponden básicamente a terrazas bajas, llanuras de inundación y lechos aluviales de los ríos, depósitos de vertiente y playas.

El Holoceno se inicia con una rápida transgresión (provocada por el ascenso del nivel del mar como consecuencia del deshielo de la última glaciación ante la subida de las temperaturas) que hace desaparecer los medios restringidos y de transición instalados a lo largo de la línea de costa durante las últimas etapas del Pleistoceno superior, a la vez que alcanzan los depósitos Pliocenos y Cuaternarios y en el zócalo esquistoso y dando lugar al desarrollo de acantilados y al rejuvenecimiento de los paleoacantilados existentes (Aura *et al.*, 1993, 2000, 2002).

La transgresión holocena hace que la costa pase a tener un carácter abrupto, desarrollándose importantes acantilados a lo largo de toda ella, tanto sobre los esquistos alpujárrides, mayoritarios, como en los materiales pliocenos y pleistocenos que la jalonan. Es en estos momentos iniciales del Holoceno cuando se retrabajan los acantilados de la playa de Burriana y se labran las plataformas de abrasión de la Torrecilla y Burriana.

La línea de costa en los primeros momentos del Holoceno, estaba situada más hacia el interior que en la actualidad, coincidiendo en muchos casos su trazado con los límites de la terraza baja de los principales cursos fluviales. Esta línea de costa presentaba de esta forma gran sinuosidad, condicionada por los estuarios originados en las desembocaduras de los ríos, ahora colmatados, y en aquellos momentos invadidos por las aguas de la transgresión holocena. A medida que va avanzando el Holoceno, la transgresión pierde intensidad, retrayéndose el mar algunos metros, de forma que al pie de los acantilados comienzan a desarrollarse estrechas playas, en la mayoría de los casos asociadas a la desembocadura de pequeños curso fluviales.

Hacia la parte media del Holoceno, la actividad antrópica provoca el inicio de la deforestación, lo que conlleva la destrucción de los suelos y el arrastre de materiales hacia



los cursos fluviales, lo que conducirá a su progresiva colmatación. No obstante, la situación permanece estable hasta aproximadamente los 2.700 años BP, momento a partir del cual los aportes sólidos de los cursos fluviales van incrementándose produciéndose una lenta colmatación de los estuarios (Hoffmann, 1988).

Además, la situación climática de estos momentos caracterizada por unas condiciones de altas temperaturas y sequedad, con precipitaciones concentradas en determinadas épocas del año, intensifica y favorece el desarrollo de este tipo de procesos. En el río Chillar, el pequeño estuario existente a principios del Holoceno se colmata progresivamente a partir de la segunda mitad de este periodo, fundamentalmente en el último milenio, dando lugar a la terraza baja y a un pequeño delta. Este hecho viene determinado por el abandono de las prácticas agrícolas que siguió a la expulsión de los árabes y a la posterior expulsión de los moriscos, y por las deforestaciones masivas llevadas a cabo a lo largo de los últimos cinco siglos con objeto de obtener combustibles vegetales y madera para industrias de transformación del mineral de hierro y astilleros.

Con todo esto, la línea de costa va adquiriendo su fisonomía actual, detectándose a partir de los dos últimos siglos un ligero avance de las aguas del mar, que producen un pequeño retraimiento de algunas playas, hecho que se observa en las torres de vigilancia costera construidas durante la Edad Moderna, que en algunos casos se encuentran descalzadas y parcialmente destruidas por el oleaje.

2.1.2 PALEOGEOGRAFÍA DE LA PLATAFORMA CONTINENTAL

Los diferentes niveles de terraza sumergida, definidos por Hernández-Molina *et al.* (1994)³, que definen antiguas líneas de costa estables durante cierto tiempo, permiten determinar

³ Hernández-Molina, F.J., Somoza, L., Rey, J. & Palomar, L. 1994. *Late Pleistocene-Holocene sediments on the Spanish continental shelves: Model for very high resolution sequence stratigraphy*. Marine Geology, 120: 129-174.



las variaciones en la localización y profundidad de la costa con respecto al nivel actual durante el Pleistoceno superior final y el Holoceno⁴.

Partiendo del estadio del máximo glaciar o mínimo eustático ocurrido entre 20000 y 19000 años cal BP, donde la línea de costa se localizaría a una profundidad media de 120 m (intervalo 1, Figura 3). En esta situación la costa se situaría a unos 4,5 km mar adentro respecto a la actual (Figura 2) y la superficie emergida en el entorno de la zona de estudio aumentaría en unos 245 km². A partir de ese momento empieza un periodo de calentamiento generalizado que provoca la fusión de los casquetes polares y el aumento progresivo del nivel del mar (último postglaciar o transgresión Versiliense). Entre 16500 y 16000 años cal BP la línea de costa se situaría a una profundidad de aproximadamente 90 m (intervalo 2, Figura 3), localizándose a 3,5 km mar adentro respecto a la actual. Esto supone una disminución de la superficie emergida con respecto a la situación anterior de unos 43 km². En el intervalo de tiempo comprendido entre 14000 y 12000 años cal BP la costa se localiza a unos 70 m de profundidad (intervalo 3, Figura 3) y a unos 3 km mar adentro con respecto a la actual (Figura 2), dando lugar a una disminución del área emergida de aproximadamente 46 km² respecto a la situación previa. El nivel del mar sigue ascendiendo hasta estabilizarse a una profundidad de 50 m respecto al nivel actual en el intervalo de tiempo comprendido entre 11000 y 8500 años cal BP, Preboreal y Boreal, (intervalo 4, Figura 3). En ese momento la costa se localizaría a un kilómetro de su posición actual (Figura 2) y la superficie emergida en el entorno de la Cueva de Nerja sería de unos 83 km² mayor al actual. Finalmente, entre 7500 y 5000 años cal BP, Atlántico y Subboreal, la costa se situaría a unos 20 m de profundidad (intervalo 5, Figura 3) y aproximadamente a 400 m mar adentro de la posición actual (Figura 2). En esta situación la disminución del área emergida es de unos 56 km² con respecto a la situación anterior.

⁴ Jordá Pardo, J.F., et al. 2011. "Evolución paleogeográfica, paleoclimática y paleoambiental de la costa meridional de la Península Ibérica durante el Pleistoceno superior. El caso de la Cueva de Nerja (Málaga, Andalucía, España)." Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Geol., 105 (1-4), 137-147.



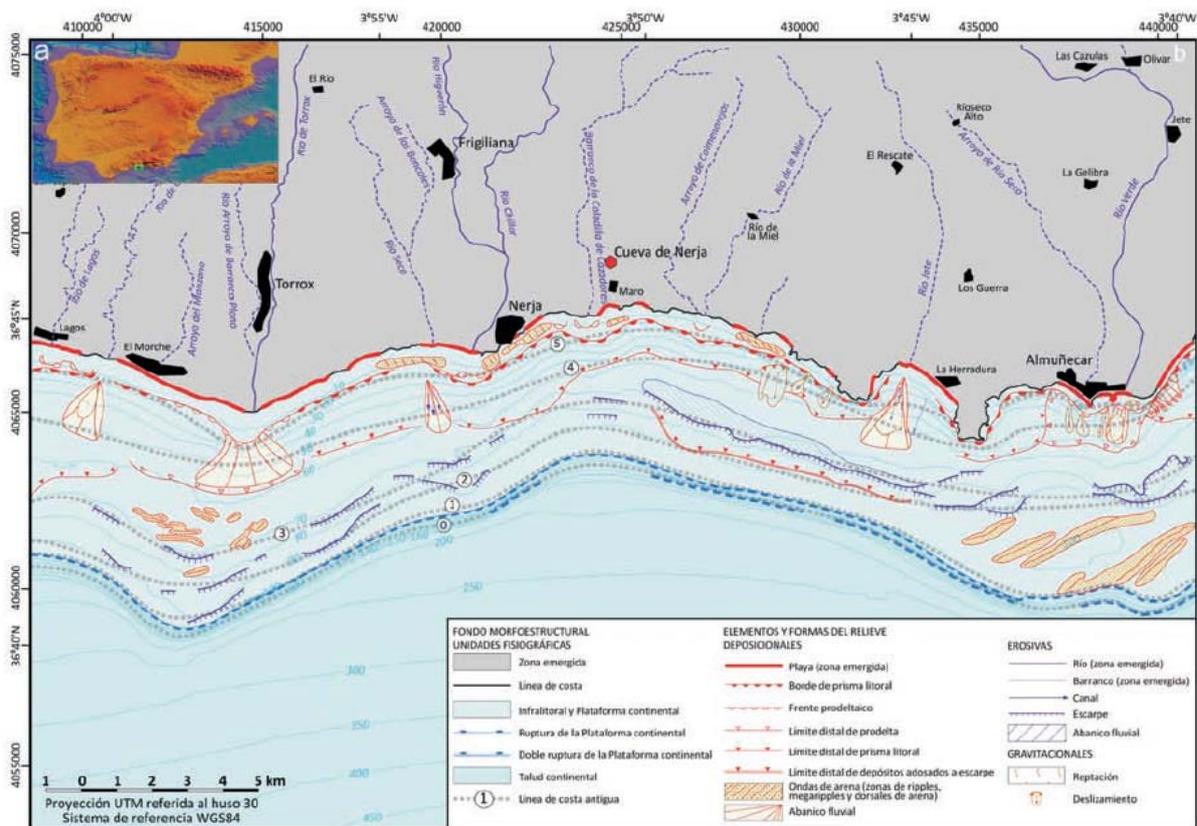


Figura 2. a) Situación de la zona estudiada en la Península Ibérica. b) Síntesis geomorfológica de la plataforma continental en las proximidades de Nerja modificada de la hoja MC055 (Almuñecar) a escala 1:100,000 (Sanz et al., 2006). Fuente: Jordá Pardo, et al. (2011).



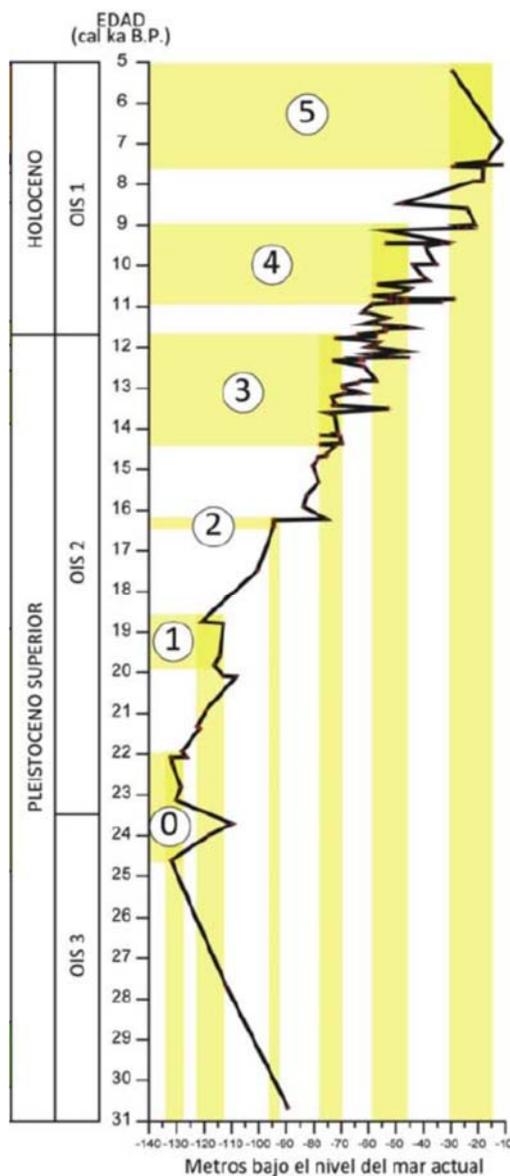


Figura 3. Curva de alta resolución de las variaciones del nivel del mar de los últimos 30,000 años obtenida de la escala de tiempo SPECMAP calibrada radiométricamente (Thompson & Goldstein, 2006) en la que se indican los intervalos temporales durante los cuales la línea de costa ha permanecido estable con respecto al nivel del mar. Fuente: Jordá Pardo, et al. (2011).

2.2 HISTORIA RECIENTE: ANTROPIZACIÓN DEL LITORAL

El nombre actual de Nerja procede del árabe *Narija* o *Naricha* ("manantial abundante"), y es a su vez una derivación de un término romano. La ocupación árabe se remonta a la época medieval, entorno al año 711. De época romana (\approx 210 a.C.) se encuentran diversos restos, como un tramo de la antigua calzada que unía *Sexi* (Almuñécar) con *Caviclum*



(Torrox) y un puente que serviría de comunicación con la ciudad romana de *Detunda* (Maro).

Pero la presencia del hombre en estas tierras se remonta al Paleolítico Superior (40000-30000 años B.P.), como lo demuestran los restos humanos encontrados en la Cueva de Nerja.

En el siglo X se la describe como una gran alquería en medio de un campo de moreras y frondosas huertas. Afamada por su producción de tejidos de seda de fina factura.

La villa se amparaba junto a un fuerte castillo, cuyos restos todavía se observan en el camino de Frigiliana.

Tras la caída de Vélez-Málaga en manos de las tropas de los Reyes Católicos, en 1487, Nerja se somete al dominio cristiano, y pasa a formar parte de Vélez desde 1501.

En 1509, y para defensa de la costa de los ataques de los piratas berberiscos, se termina la edificación de una fortaleza sobre un bastión rocoso que asoma al mar, donde actualmente se encuentra el Balcón de Europa.

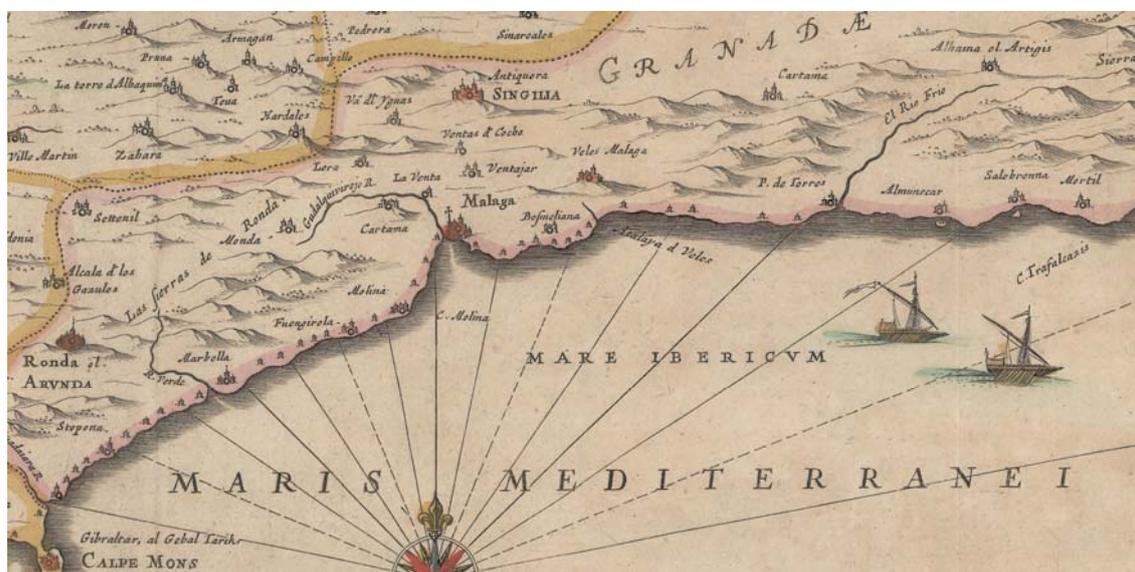


Figura 4. Extracto del mapa "Andaluzia" datado durante el reinado de Felipe IV, 1646. Costa occidental del Reino de Granada. Autor: Joan Blaeu. Fuente: Fondo Cartográfico del Instituto Geográfico Nacional (IGN).



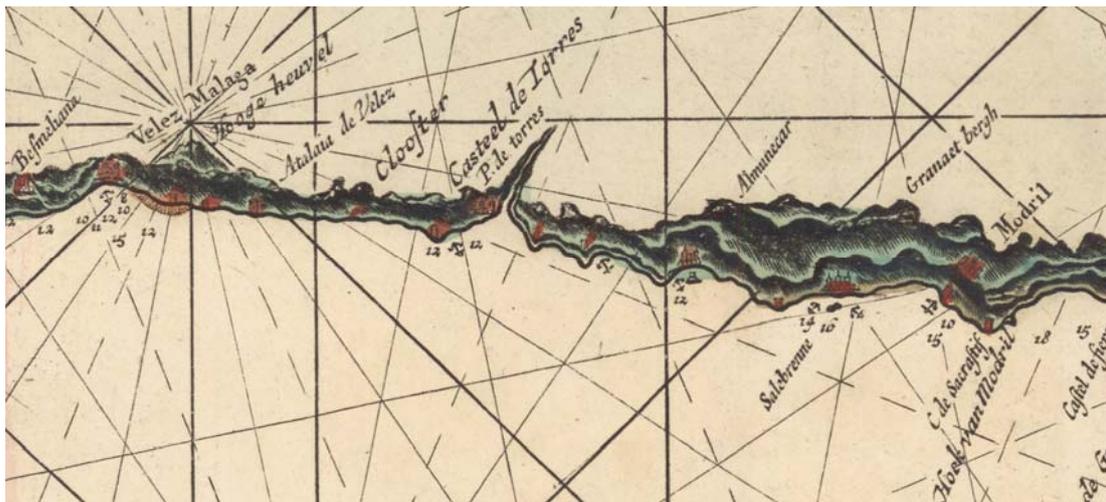


Figura 5. Detalle del entorno de la costa en estudio procedente de una carta náutica de 1695, editado durante el reinado de Carlos II. Fuente: Fondo Cartográfico del IGN.

El inmediato abandono de estas tierras por sus anteriores vecinos moriscos hará que pronto, hacia 1515, se haga repoblar con cristianos viejos procedentes de Vizcaya, Galicia, Valencia, Sevilla y otros puntos de Andalucía, independizándose de Vélez-Málaga. Su territorio quedó delimitado por el río Chíllar, Fuente del Esparto, El Madroño, el Río de la Miel y Cantarriján. Como actividad particular en la zona, se puede destacar la cría del gusano de seda.

En 1570 se produce la definitiva expulsión de los moriscos. Tras este hecho histórico, los únicos restos arábigos que quedaron en Nerja fueron la Torre de los Guardas y las ruinas de Castillo Alto.

Este fue el momento en el que las torres vigías fueron construidas en toda la costa malagueña, con la función de avistar barcos piratas para así poderles hacer frente. Cuando se divisaban embarcaciones, se daba el toque de "a rebato", que significaba "moros en la costa". En Nerja se alzó "La Torrecilla", hoy en día derruida.

El siglo XVIII ha sido descrito como el "siglo de oro" en Nerja, etapa de crecimiento de la localidad. Surgieron sistemas de agricultura más eficientes, con la técnica de canalización de riegos, que asimismo permitió el aumento en la producción y el desarrollo de nuevas industrias. Se benefició del éxito en el comercio de vino, miel, azúcar y harina propios de la tierra, y se dio paso a la explotación de minas y a la tala de árboles. Asimismo, Nerja abrió sus puertas a Málaga y a Almería, con la construcción de una carretera.





Figura 6. Extracto del mapa geográfico del "Reyno de Granada" de 1795 editado por D. Tomas Lopez, geógrafo de los dominios de S.M., en el que aparecen los torres vigía construidas en la época a lo largo del entorno costero en estudio.

Otro episodio notable en la crónica histórica de Nerja se produce durante la Guerra de la Independencia, las tropas napoleónicas toman la villa y se emplazan una defensa costera en el castillo, que será destruido por la Armada inglesa en 1812. Esta época (s. XIX) estuvo marcada por un periodo de crisis, con sequías, pérdidas de cosechas y epidemias de cólera y tífus.

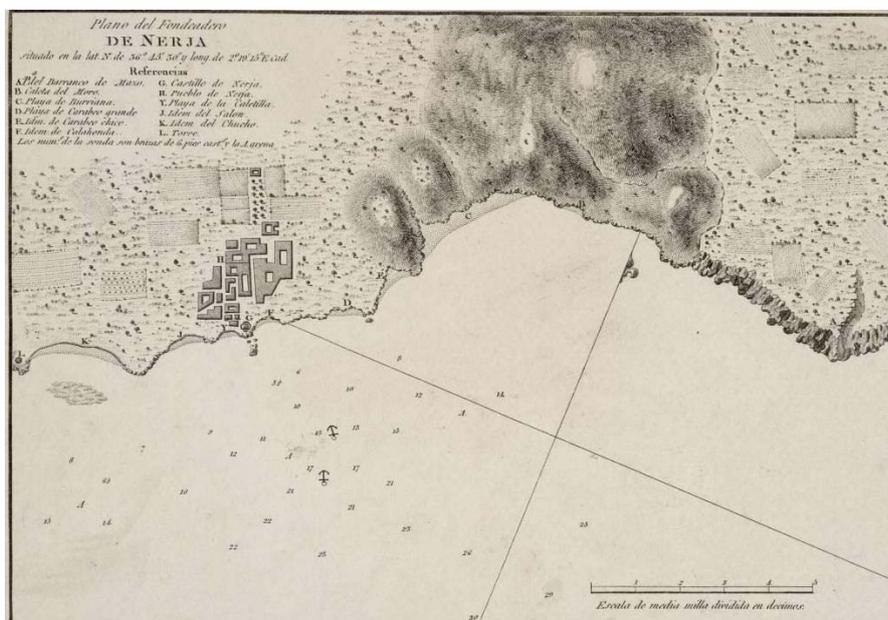


Figura 7. Plano del fondeadero de Nerja de 1813. En él queda reflejado el estado de desarrollo urbano del pueblo (letra H) y la presencia de la torre vigía "La Torrecilla" (letra L), ubicada al E de la zona de Proyecto.



Un nuevo impulso, que viene a cambiar definitivamente la fisonomía de Nerja y su término municipal, así como la actividad económica y la forma de vida de sus habitantes, se produce en la segunda mitad del siglo XX, cuando el progresivo desarrollo turístico, que se inicia en los años sesenta, transforma a esta localidad en una de las más sobresalientes del panorama turístico mediterráneo.

En la fotografía aérea del "vuelo interministerial" llevado a cabo en 1977, puede apreciarse los comienzos de dicha transformación, con el crecimiento del núcleo urbano que se extiende hacia el W, zona de la Torrecilla, y la construcción en el extremo oriental del tramo en estudio del hotel "Marinas de Nerja".



Figura 10. Fotografía aérea del vuelo de 1977. Fuente: Fototeca del Centro Nacional de Información Geográfica, IGN.

3 ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA LÍNEA DE COSTA (a partir de 1956)

3.1 INFORMACIÓN DE PARTIDA

La obtención de líneas de costa mediante su restitución a partir de fotografías aéreas y su posterior comparación permite el conocimiento indirecto de las variaciones en la posición de la costa a través de escalas temporales largas (periodo entre 1956 y 2009) y amplias zonas, resultando útil para estimar tendencias generales de evolución.

Las fotografías aéreas se toman desde aviones siguiendo bandas o pasadas, con una superposición de alrededor del 25% entre bandas consecutivas y del 60% entre fotografías contiguas, con distinta escala según el vuelo.



La toma de las fotografías y su representación en un documento bidimensional supone una proyección cónica de la superficie tridimensional del terreno, lo cual introduce una cierta distorsión o desplazamiento hacia el exterior, más acusado en los objetos que tienen mayor desnivel. Por otro lado, los balanceos del avión, sus cambios de altitud o las imperfecciones de la lente fotográfica introducen otras deformaciones adicionales en la imagen que hacen que la escala de ésta varíe de un punto a otro en el fotograma.

Para corregir las distorsiones de las fotografías aéreas se realiza una ortorrectificación o restitución fotogramétrica de las imágenes, mediante *software* especializado, que consiste en corregir las fotografías para transformar la proyección cónica en una proyección cilíndrica ortogonal (en la que los rayos proyectantes paralelos entre sí y perpendiculares al plano de proyección, que es la fotografía). Esta transformación elimina los efectos del desplazamiento del relieve, de la inclinación del avión, etc., haciendo que la fotografía pueda ser utilizada como un mapa.⁵ Este tipo de fotografías en las que todos los puntos tienen proyección ortogonal se denominan ortofotografías (comúnmente ortofotos), y, por los motivos expuestos, son la base para el desarrollo del presente estudio.

Las series de ortofotos utilizadas para la restitución de la línea de costa de las playas de El Playazo y El Chucho (que conforman la unidad fisiográfica), todas ellas digitales y georreferenciadas, pertenecen a los vuelos siguientes:

Año	Vuelo	Fuente	Escala/Resolución	Georreferenciación
1956	Americano	CNIG (IGN) ⁶	Blanco y negro (pancromática); 1m/píxel	ED50, 30N
1999	Fotogramétrico de Andalucía	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía	1:60,000; color; 1m/píxel	ED50, 30N
2002	Fotogramétrico de Andalucía	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía	1:20,000; pancromática; 0.5m/píxel	ED50, 30N
2003	Costero	ECOMÁLAGA	1:5,000; color	ED50, 30N

⁵ Del Río Rodríguez, L., Gracia Prieto, F.J. 2008. "Fotointerpretación aplicada al análisis dinámico de la línea de costa". Actas de las Jornadas Técnicas *Las nuevas técnicas de información geográfica al servicio de la gestión de zonas costeras: análisis de evolución de playas y dunas*.

⁶ Centro Nacional de Información Geográfica, Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento.



Año	Vuelo	Fuente	Escala/Resolución	Georreferenciación
2004	Fotogramétrico de Andalucía	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía	1:60,000; color; 1m/píxel	ED50, 30N
2007	Fotogramétrico	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía	Color; 1m/píxel	ED50, 30N
2009	Proyecto PNOA ⁷	Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía	Color; 0.5m/píxel	ED50, 30N

Tabla 1. Información disponible para el estudio de evolución de la línea de costa del presente estudio.

Asimismo, se ha incorporado al análisis la línea de orilla de 2004-2005 levantada mediante campaña de campo como parte del estudio ECOMÁLAGA (descrito en *Anejo 2.- Estudios previos*).

3.2 METODOLOGÍA

Una vez posicionadas todas las ortofotos en un plano georreferenciado mediante la aplicación informática AutoCAD Civil 3D (de Autodesk), especializado para diseño de ingeniería civil, y comprobada su correcta georreferenciación y sistema de coordenadas planimétrico, a través de su comparación con cartografía oficial (parcelas de la Sede del Catastro) y vértices geodésicos de coordenadas fijas (IGN), se ha procedido a la restitución de la línea de orilla de cada uno de los vuelos considerados.

Para ello, es necesario establecer en primer lugar, qué se entiende por línea de costa.

El contacto mar-tierra, cuya expresión más inmediata sería el nivel del mar instantáneo en el momento en que se toma la fotografía, es extremadamente cambiante y dinámico y está sujeto a oscilaciones de muy diversa naturaleza (cambios a escala de segundos debidos al vaivén del oleaje, cambios horarios debidos a la marea, cambios diarios debidos a las condiciones meteorológicas, cambios mensuales debidos a las variaciones del perfil de playa, etc). Por todo ello, generalmente se hace necesario emplear un indicador de la posición de la línea de costa que refleje adecuadamente las tendencias del

⁷ Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento.



litoral, y que garantice que sus posibles variaciones son consecuencia de cambios costeros reales. Las características geomorfológicas locales influyen mucho en la elección del identificador idóneo para una determinada zona. En este sentido, existe una gran variedad de elementos que han sido empleados como indicadores de la línea de costa: escalón de playa, línea de *runup* del oleaje, línea de pleamares, escarpe erosivo, cresta de la berma, línea de vegetación estable, pie o cresta de duna, pie o borde superior del acantilado, etc. El indicador más empleado para aproximar la posición de la línea de costa sobre fotografías aéreas es la línea de pleamares, considerada como equivalente al alcance medio de la pleamar sobre la playa e identificable por el cambio de tono que corresponde a la huella dejada en el sedimento por la pleamar anterior a la toma de la fotografía (consultable en anuarios de marea), llamada marca de agua. No obstante, el asumir la posición de la marca de agua como equivalente a la línea de pleamares medias presenta limitaciones, como la sobreelevación por tormentas, por representar en realidad la suma de la pleamar y el efecto del ascenso de las rompientes sobre el frente de playa (*runup*), por el efecto de la pendiente de la playa, que varía a lo largo del año, etc. En ocasiones la marca de agua correspondiente a la última pleamar apenas es apreciable, y el elemento que destaca es el *runup* del oleaje más reciente, aspecto especialmente problemático en playas de baja pendiente intermareal.⁵

Se ha establecido como criterio identificador de la línea de costa, constante para la restitución de todos los vuelos, la marca de agua en la playa por encima de la rotura del oleaje.

En las siguientes figuras se presentan las ortofotos de los distintos vuelos mencionados entre 1956 y 2009, con la línea de costa restituida de cada año:



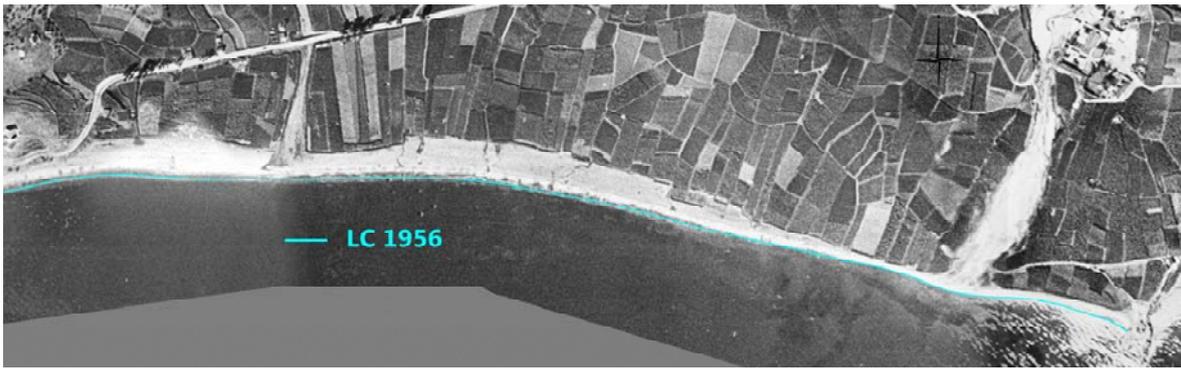


Figura 11. Ortofoto de 1956 con línea de costa (LC) restituida.



Figura 12. Ortofoto de 1999 con línea de costa (LC) restituida.



Figura 13. Ortofoto de 2002 con línea de costa (LC) restituida.



Figura 14. Ortofoto de 2003 con línea de costa (LC) restituida.





Figura 15. Ortofoto de 2004 con línea de costa (LC) restituída.



Figura 16. Ortofoto de 2007 con línea de costa (LC) restituída.

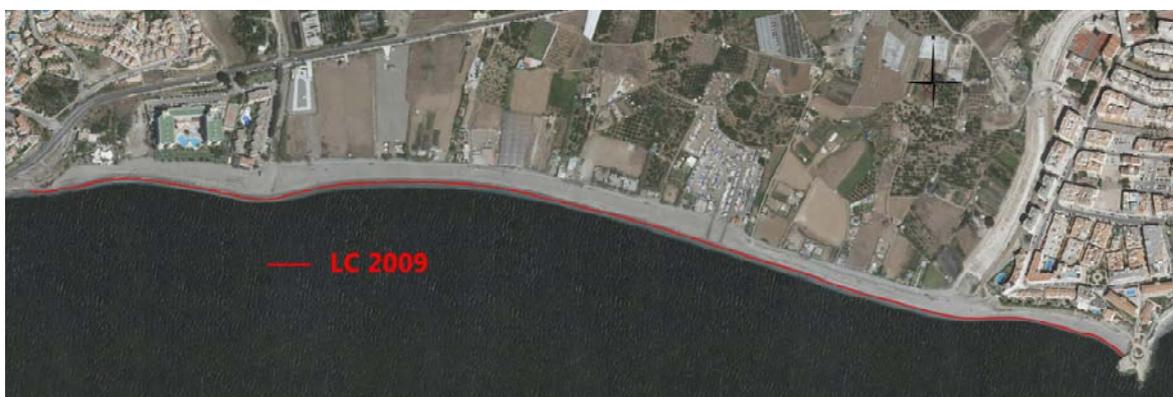


Figura 17. Ortofoto de 2009 con línea de costa (LC) restituída.

Para cuantificar las variaciones sufridas en la costa entre los años considerados, se ha diseñado una cuadrícula de referencia fija que divide el borde litoral entre los acantilados de Punta Lara (al W) y el saliente rocoso de La Torrecilla (al E), de unos 1730 m de longitud, en 5 tramos de 346 m, separados por líneas equidistantes orientadas al norte (ver Figura 18).



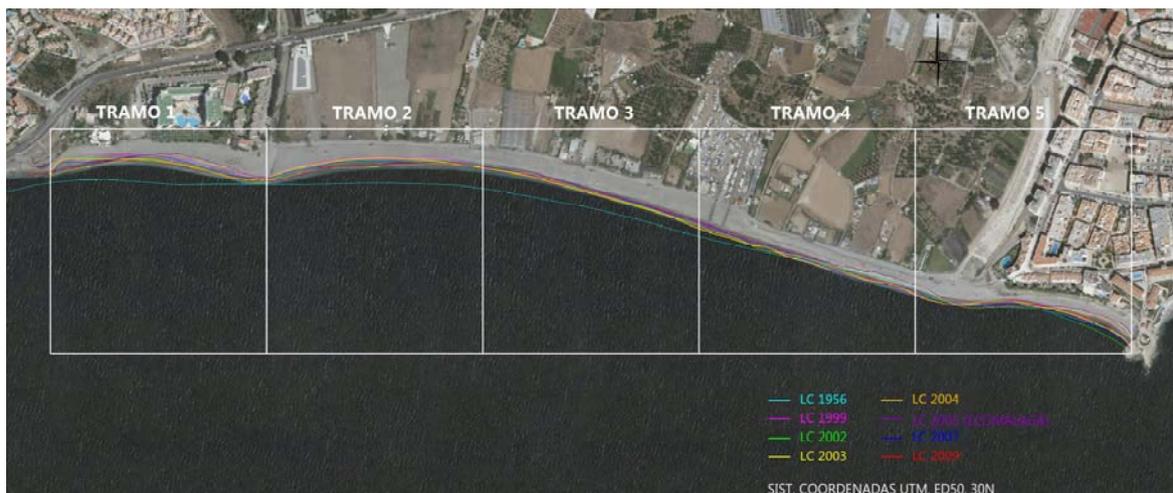


Figura 18. Tramificación del litoral en estudio para el análisis de la evolución de la línea de costa (ELC). Ortofoto de 2009.

A partir de estas referencias fijas, se ha medido la superficie asociada a cada tramo y LC, cuya resta entre años consecutivos permite obtener la evolución de la costa en términos de superficies de acreción (+) y erosión (-).

Los resultados obtenidos se presentan en forma de:

- Tablas de: superficies de acreción-erosión, tasas de variación, y avances y retrocesos, por tramo y comparativa realizada.
- Gráficas de la evolución temporal y espacial de las variaciones de superficies de erosión/acreción y avance/retroceso de la LC a lo largo de los 5 tramos especificados anteriormente.

3.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A la hora de analizar los resultados, cabe tener en cuenta que el método presenta ciertas limitaciones, como consecuencia de:

- La dificultad para establecer con seguridad un elemento o rasgo geomorfológico representativo de la posición de la orilla, sobre todo en zonas con marea. Esta oscilación de la línea de orilla de cada restitución, consecuencia de la marea, se estima para el tramo en estudio en ± 7 m, dada una carrera de marea astronómica de 0.8 m y una pendiente de playa media de 1/17.



- La dificultad para diferenciar entre los cambios a corto y largo plazo a partir de los registros tomados en unas pocas fotografías en momentos distintos. La posición de la orilla puede verse afectada por factores estacionales y/o meteorológicos que pueden producir variaciones significativas en la posición de la costa.
- La exactitud de los datos según la escala y la propia naturaleza de la fotografía original, que dan lugar a errores de precisión a la hora de restituir las líneas de costa. Comparando la posición de puntos fijos en la restitución de diferentes vuelos se ha estimado un error de ± 6 m.

Éstas desembocan en un factor de error total en la posición exacta de las líneas restituidas de en torno a ± 13 m, a tener en cuenta a la hora de interpretar los resultados obtenidos.

3.4 RESULTADOS

La Tabla 2 recoge las mediciones realizadas por tramo litoral para cada LC restituida, desde referencia constante en trasdós hasta orilla.

SUPERFICIES MEDIDAS (m ²)					
AÑO	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
1956	29,940	30,842	45,061	73,288	101,179
1999	18,144	18,036	35,274	72,966	100,614
2002	20,274	20,211	35,781	72,404	101,996
2003	19,769	21,801	35,612	71,526	99,429
2004	20,477	19,013	36,357	73,486	100,808
2005	18,851	21,558	34,378	70,453	98,633
2007	19,926	20,226	34,786	72,347	101,835
2009	21,951	21,368	34,822	71,155	99,256

Tabla 2. Superficies medidas desde contorno fijo hasta LC para cada tramo y año analizado.

Las diferencias de superficie entre distintos años evidencian la evolución del frente para un periodo de tiempo determinado en términos de acreción (valores positivos, +) o erosión (valores negativos, -), ver Tabla 3. Las comparaciones se han realizado tanto en momentos consecutivos, LC de años sucesivos, como globalmente, variaciones brutas (año final-año inicial) y netas (promedio de variaciones).



EVOLUCIÓN DE LA COSTA		VARIACIÓN DE SUPERFICIES (m ²)				
INTERVALOS DE TIEMPO		TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5
Consecutivos	1956-1999	-11,796	-12,806	-9,786	-322	-565
	1999-2002	2,130	2,175	507	-562	1,381
	2002-2003	-505	1,590	-170	-878	-2,567
	2003-2004	708	-2,788	745	1,960	1,379
	2004-2005	-1,626	2,544	-1,979	-3,034	-2,175
	2005-2007	1,075	-1,332	408	1,894	3,202
	2007-2009	2,026	1,142	36	-1,192	-2,579
Global	1956-2009	-7,989	-9,474	-10,239	-2,133	-1,923
	1999-2009	3,807	3,332	-453	-1,811	-1,358
	Promedio 1956-2009	-1,141	-1,353	-1,463	-305	-275
	Promedio 1999-2009	635	555	-75	-302	-226

Tabla 3. Evolución de la costa entre 1956 y 2009 en términos de superficies de acreción (verde) y erosión (rojo).

Tomando como punto de partida del estudio el año 1956 ("estado 0"), las gráficas presentadas a continuación muestran la evolución de la costa a lo largo del periodo analizado para cada tramo medido, como variaciones absolutas de superficies entre un instante temporal y el siguiente (línea azul) y de forma acumulada respecto a la situación de la costa en 1956 (línea morada) y 1999 (línea verde).

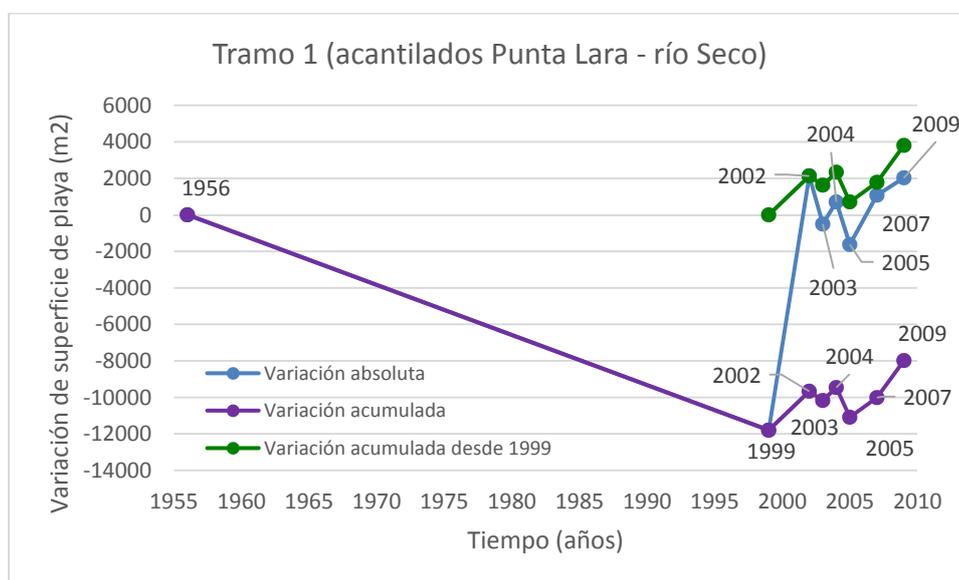


Figura 19. Evolución de la superficie de playa seca desde el año 1956. Tramo 1.



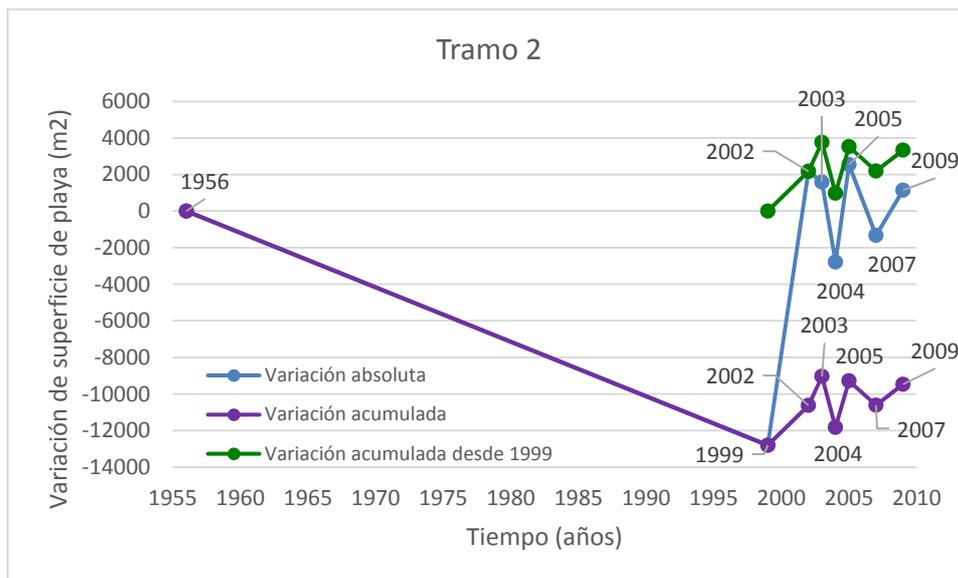


Figura 20. Evolución de la superficie de playa seca desde el año 1956. Tramo 2.

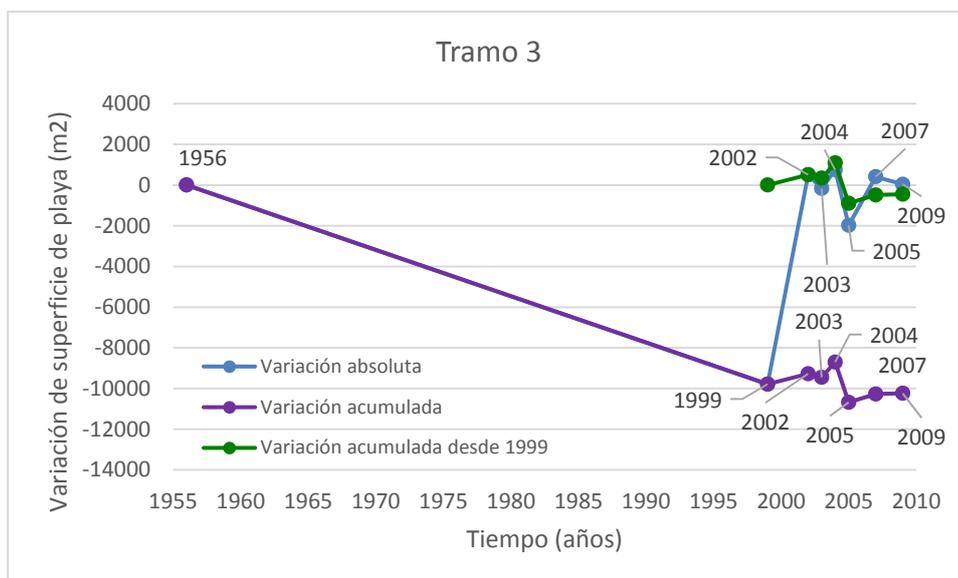


Figura 21. Evolución de la superficie de playa seca desde el año 1956. Tramo 3.



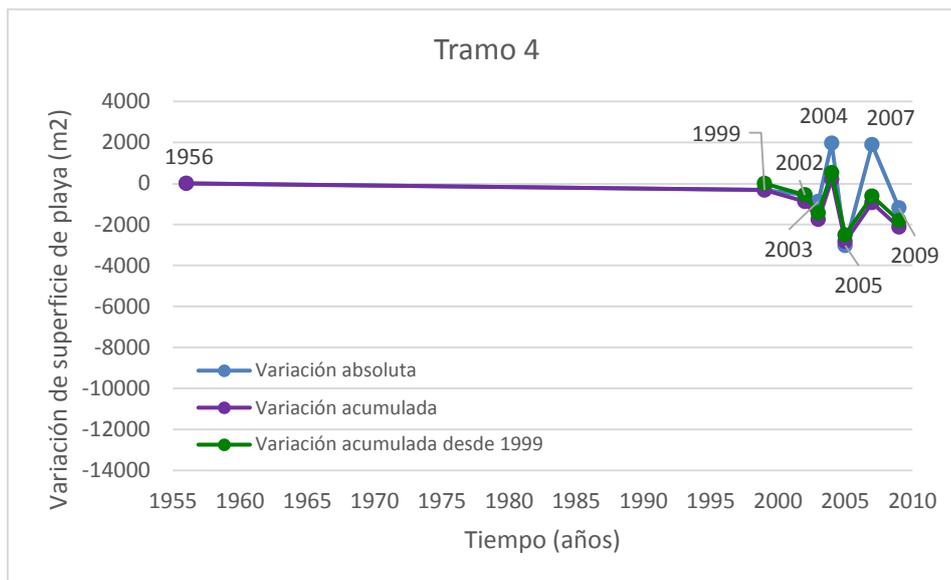


Figura 22. Evolución de la superficie de playa seca desde el año 1956. Tramo 4.

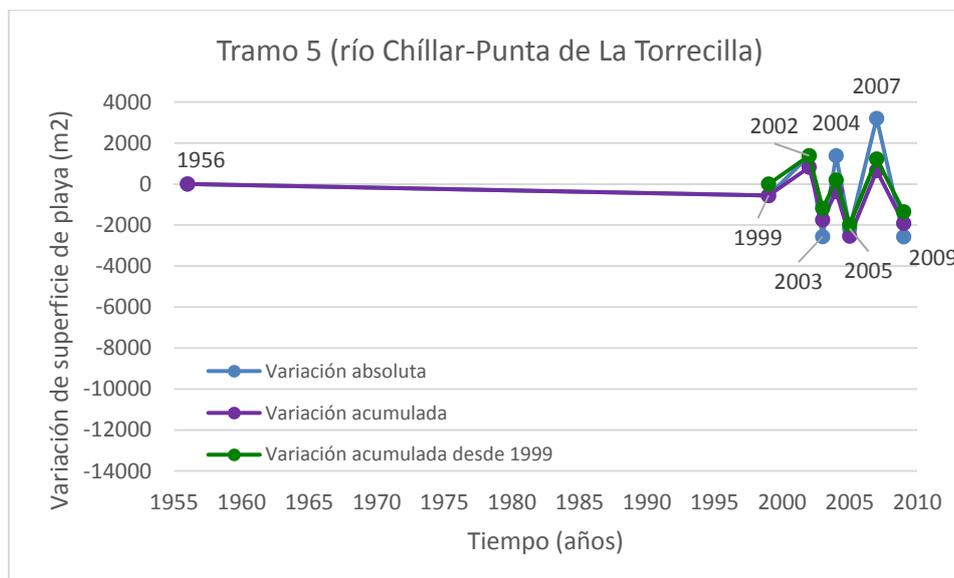


Figura 23. Evolución de la superficie de playa seca desde el año 1956. Tramo 5.

La evolución en el tiempo del frente costero de El Playazo muestra un comportamiento diferencial en el que se distinguen dos periodos: una primera etapa entre 1956 y 1999 en que éste presenta una erosión acentuada a lo largo de su región occidental, tramos del 1 al 3 desde los acantilados de Punta Lara hasta la zona actualmente empleada como varadero, con estabilidad del sector oriental; y una segunda época desde 1999, últimos 10 años, en que las playas presentan una tendencia fluctuante entre episodios de acumulación y erosión, con tendencia acumulativa en la zona W de la playa de El Playazo



(tramos 1 y 2), cierta estabilidad en el tramo central (tramo 3), y un ligero comportamiento regreso en el extremo E de la playa de El Playazo (tramo 4) y (playa de El Chucho).

Para un análisis adimensional de los fenómenos acaecidos, se han independizado las variaciones de superficie de playa, obtenidas para los distintos periodos comparados, del tiempo transcurrido entre mediciones, y expresado los resultados en términos de avances y/o retrocesos por metro lineal de costa, obteniéndose las tasas de cambio de cada tramo y periodo estudiados. Véanse Tabla 4 y Figura 24.

El promediado temporal de los avances y retrocesos experimentados por la costa entre 1956 y 2009 o 1999-2009 (curvas discontinuas del gráfico) permite concluir que la posición de ésta oscila en ± 1 m al año, sin una tendencia constante, aunque fundamentalmente erosiva para los tramos 3 al 5, y acumulativa en el sector occidental, tramos 1 y 2.

INTERVALOS DE TIEMPO	TASA VARIACIÓN LC (m ² /m.l./año) – AVANCES/RETROCESOS					TIEMPO TRANSCURRIDO
	TRAMO 1	TRAMO 2	TRAMO 3	TRAMO 4	TRAMO 5	
1956-1999	-0.79	-0.86	-0.66	-0.02	-0.04	43
1999-2002	2.05	2.10	0.49	-0.54	1.33	3
2002-2003	-1.46	4.60	-0.49	-2.54	-7.42	1
2003-2004	2.05	-8.06	2.15	5.67	3.99	1
2004-2005	-4.70	7.35	-5.72	-8.77	-6.29	1
2005-2007	1.55	-1.92	0.59	2.74	4.63	2
2007-2009	2.93	1.65	0.05	-1.72	-3.73	2
Promedio 1999-2009	0.40	0.95	-0.49	-0.86	-1.25	10
Promedio 1956-2009	0.23	0.69	-0.51	-0.74	-1.08	53

Tabla 4. Tasas de evolución de la línea de costa entre 1956 y 2009.



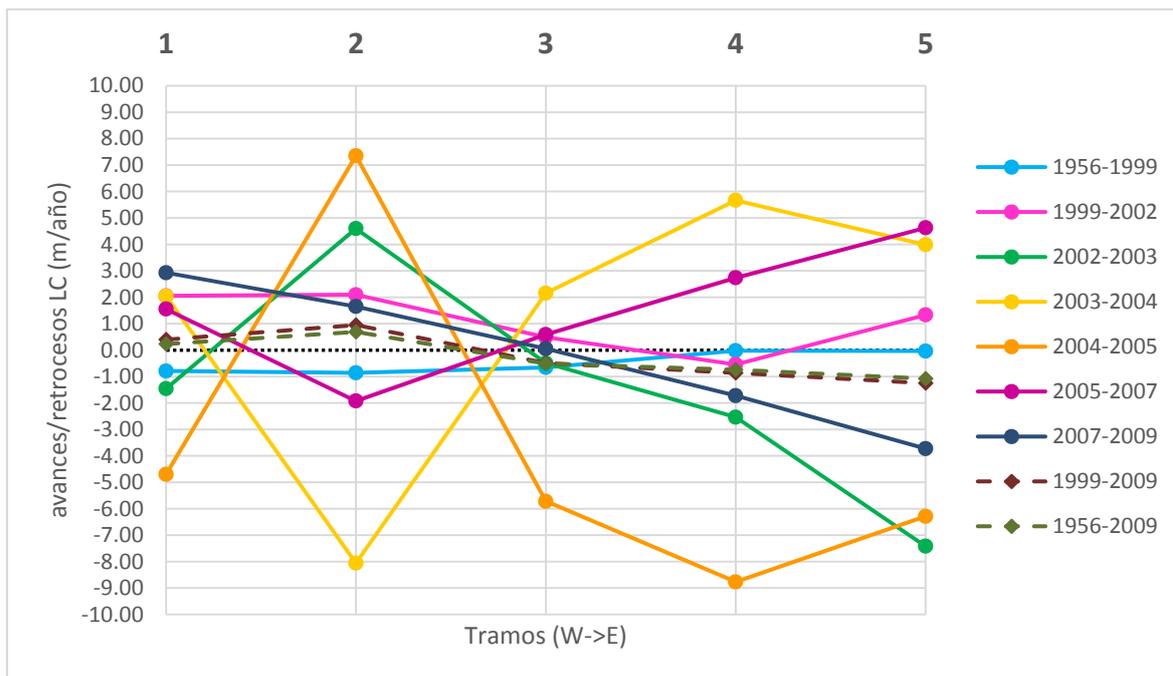


Figura 24. Tasas de avance y retroceso de la línea de costa por tramo y periodo analizado. Eje de abscisas punteado en negro para facilitar su visualización.

