

PROYECTO FIN DE GRADO

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Universidad de Granada

2009/2014



**INFLUENCIA DE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS DE CORDONES
LITORALES, EN LA DINÁMICA DE FLUJOS SUBTERRÁNEOS
EXISTENTES ENTRE MAR ABIERTO Y LA LAGUNA.**

**CASOS DE ESTUDIO: LAGUNA DEL MAR MENOR, LAGUNA DE NADOR Y
LAGUNA EN LA BAHÍA DE CAPE COD**

Proyecto de Investigación

Autora:

Cristina Jiménez Moreno

Tutora:

Elena Sánchez Badorrey

Dep. Mecánica de Estructuras e Ing. Hidráulica

Instituto del Agua



Índice

Sobre la autora	4
Agradecimientos.....	5
Resumen.....	6
Abstract	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
1.1 BARRERAS LITORALES: CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO	8
-INTRODUCCIÓN	8
-DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN EL MUNDO	10
-TIPOLOGÍA DE BARRERAS LITORALES	18
1.2. BARRERAS LITORALES. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO	19
-FLUJOS SUBTERRÁNEOS A TRAVÉS DE CORDONES LITORALES.....	19
Variables hidrogeológicas.....	20
Variables climáticas	21
-AMBIENTES MAREALES Y TIPOS DE MAREAS	22
Marea astronómica.....	22
Marea meteorológica	24
Rangos mareales.....	25
Método lineal para determinar la respuesta hidrodinámica del sistema.....	29
1.3 BARRERAS LITORALES: FUNCIONALIDAD AMBIENTAL	34
1.4 BARRERAS LITORALES: FUNCIONALIDAD SOCIOECONÓMICA.....	36
Tipo de construcción empleada.....	47
Barreras de impermeabilización en cordones litorales. Tipología constructiva	49
Impacto sobre los flujos subterráneos de cimentaciones profundas en cordones litorales	50
1.5 OBJETIVO DEL TRABAJO	51
1.6 METODOLOGÍA	53
1.7 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO.....	54
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	55
2.1. INTRODUCCIÓN	55
2.2. METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN DE BARRERAS LITORALES	58
- INTRODUCCIÓN.....	58
Parámetro lamda [λ_{gw}]. Metodología	58
Elaboración de mapas con valores lamda [λ_{gw}]. Metodología	59

Esquemas ilustrativos	60
CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO: CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR	62
3.1. INTRODUCCIÓN	62
-DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL MAR MENOR	62
-DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MAR MENOR	63
3.2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS DEL MAR MENOR	65
GEOMORFOLOGÍA DEL CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR.....	65
HIDROGEOLOGÍA DEL CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR.....	73
3.3. DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DEL MAR MENOR	74
DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA DE LA ZONA	77
TIPOS DE EDIFICIOS EN LA MANGA DEL MAR MENOR.....	79
3.4. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA.....	91
-OBJETIVOS.....	91
-METODOLOGÍA	91
Metodología para el cálculo de valores λ_{gw}	101
Metodología elaboración de mapas con representación del valor λ_{gw}	103
3.5. RESULTADOS.....	104
TRAMO T.3. VENEZIOLA	105
TRAMO T.5. EL PEDRUCHO	107
3.6. CONCLUSIONES	115
CAPÍTULO IV. CASOS DE NADOR Y CAPE COD	117
4.1. INTRODUCCIÓN	117
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	117
-CASO DE NADOR	117
Localización.....	117
4.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS.....	119
-GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA	119
-GEOMORFOLOGÍA DEL CORDÓN	121
-HIDROLOGÍA DE LA ZONA	122
Datos hidrológicos e hidrodinámicos	123
-HIDRODINÁMICA	125
-GOLA	125
-ORGANIZACIÓN DE USOS Y RECURSOS.....	126
4.4. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE NADOR	126
-POBLACIÓN Y VIVIENDAS.....	126
-ACTIVIDADES ECONÓMICAS	127

Agricultura	127
Ganadería	128
Pesca.....	128
Turismo	128
Industria.....	129
Comercio.....	129
4.5. TIPOS DE EDIFICIOS EN NADOR	130
4.6. TRAMIFICACIÓN DEL CORDÓN	131
-METODOLOGÍA	131
4.7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	141
-CASO DE CAPE COD.....	141
Localización.....	141
4.8. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS.....	143
-GEOLOGÍA DE LA ZONA.....	143
-HIDROLOGÍA	144
-CLIMA.....	146
-VEGETACIÓN	147
-FAUNA.....	147
4.9. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE CAPE COD.....	149
-DEMOGRAFÍA.....	149
4.10. TIPOS DE EDIFICIOS EN CAPE COD.....	150
4.11. TRAMIFICACION DEL CORDON	151
- METODOLOGÍA	151
3.12 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	158
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	160
-INTRODUCCIÓN	160
-CONCLUSIONES	160
APÉNDICE	162
FUTURA URBANIZACIÓN EN NADOR	162
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS.....	165

Sobre la autora

Cristina Jiménez Moreno ha estudiado Ingeniería Civil, especialidad en Hidrología, entre los años 2009 y 2014 en E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad de Granada. Durante este tiempo ha completado su formación con cursos Mooc's relacionados con la especialidad como por ejemplo 'Curso de calidad de las Aguas Portuarias' por la Universidad de Cantabria o 'Introducción a la Programación para Ciencias e Ingeniería' de la Universidad Politécnica de Madrid, así como cursos realizados en la propia universidad, como es el curso de nociones básicas del programa 'HEC-RAS'. Durante el último año, también ha estado realizando prácticas Ícaro en el Ayuntamiento de Moclín, por un período de tiempo de 3 meses. También ha obtenido el título oficial de inglés PET (B1).



Datos de contacto: Cristina Jiménez Moreno. E-mail: cris91@correo.ugr.es

Sobre la tutora del proyecto

Dra. Elena Sánchez Badorrey es profesora del área de Ingeniería Hidráulica del Departamento de Mecánica de Estructuras e Ingeniería Hidráulica de la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos e investigadora del Instituto del Agua de la Universidad de Granada. Su investigación se centra en el modelado y gestión de sistemas acuáticos litorales.

Datos de contacto: Elena Sánchez Badorrey. E-mail: elenasb@ugr.es

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias al Instituto Geográfico Nacional, la Consejería de Agricultura y Agua de Murcia, al Centro Regional de Estadística de Murcia, a la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de Murcia, y al Instituto Nacional de Estadística, por la disponibilidad y gratuidad de la información usada.

A Emilio Molero, profesor de la Universidad de Granada, por su gran ayuda con el programa ArcGIS, y por darme alternativas cuando ya pensaba que no conseguiría lo que pretendía.

A todos mis profesores, desde el colegio hasta la universidad, pues todos ellos han contribuido a que hoy esté donde estoy.

Quiero dar las gracias a toda la gente que me ha acompañado a lo largo de estos cinco años de carrera, en especial a aquellas personas que se han convertido en amigas/os para toda la vida, es algo que siempre agradeceré y de lo que más orgullosa me siento, el haberos conocido.

También dar las gracias a mi familia y a las personas que me quieren y me han apoyado durante estos años, además de soportar mi mal humor cuando algo no iba bien. Me han dado consejos y me han guiado por el buen camino.

Por último, quiero agradecer a mi tutora y gran profesional, Elena Sánchez Badorrey, su dedicación y apoyo en la realización de este proyecto. Sin su guía esto no hubiera sido posible.

Resumen

Una laguna litoral es una superficie de agua salada separada del mar por una barrera arenosa denominada cordón litoral. A través de este cordón litoral se produce la conexión entre las aguas de la laguna litoral y el mar abierto a través de las llamadas golas. Las lagunas litorales constituyen elementos de características ambientales excepcionales y de gran potencial para la explotación por parte de la sociedad, de tal forma, que si no son tratadas adecuadamente, el resultado puede ser una importante degradación ambiental.

En este proyecto se estudiarán las lagunas mediterráneas de El Mar Menor, al sureste de España y la laguna de Nador, al noreste de Marruecos. Además también se incluirá el estudio de una laguna atlántica, East Harbor, en la bahía de Cape Cod, Massachusetts. Las lagunas del Mar Menor y del Mar Chica se encuentran en estados muy distintos de desarrollo. La laguna de East Harbor, (Cape Cod), se encuentra en un estado intermedio entre ambas.

El cordón litoral del Mar Menor se encuentra altamente alterado por la acción humana, debido a las actividades agrarias, industriales...y la más importante de ellas, el desarrollo urbanístico. Estas actuaciones han ocasionado graves daños en el ecosistema, degradando la calidad ambiental de la zona y la consecuente disminución de la calidad de vida.

Nador se encuentra en un estado de desarrollo incipiente. Aún se continúan desarrollando las actividades tradicionales como la agricultura y la pesca, aunque dentro de unos años, se prevé un importante desarrollo urbanístico de la zona.

East Harbor se encuentra en un estado intermedio entre los cordones de Nador y el Mar Menor. Se encuentra urbanizado pero no con grandes edificios ni complejos turísticos.

En este proyecto se pretenden localizar las construcciones de edificios con cimentaciones profundas a lo largo de los cordones litorales, que potencialmente pueden dar lugar a una interferencia en la dinámica de los flujos existentes entre el mar abierto y las lagunas.

Según los resultados obtenidos, se observa cómo el cordón litoral del Mar Menor es el que queda más influenciado por dichas cimentaciones, pues en este cordón es donde se dan los grandes complejos turísticos de gran altura, que utilizan cimentaciones profundas para su construcción. Los flujos de agua subterránea en el cordón de Nador no quedan influenciados, pues este cordón permanece casi virgen. En el cordón de Cape Cod, encontramos cierta influencia, pero de estudios realizados se determina que el flujo fluye de la laguna hacia la bahía.

Abstract

A coastal lagoon is a hypersaline water surface separated from the open sea by a sand barrier called coastal strip. The connection between the waters of the coastal lagoon and the open sea is made with several small channels (gola). The coastal lagoon are exceptional environmental features and elements of great potential for exploitation by the society, for this, if they are not treated properly, the result can be an important environmental degradation.

This project will study the Mediterranean lagoon of the Mar Menor, (SE of Spain), and the lagoon of Nador, (NE of Morocco). Also it will include a study of an Atlantic lagoon, East Harbor, Cape Cod Bay, Massachusetts. The Mar Menor lagoon and the Mar Chica lagoon are in different developing states. The East Harbor lagoon, (Cape Cod), is a buffer state between both.

The Mar Menor lagoon is highly altered by human action, due to agricultural activities, industrial activities...and the most important of them, the urban development. These actions have caused serious damage to the ecosystem, degrading the environmental quality of the area and decreasing the life quality.

Nador is in a state of initial development. It still continue in developing the traditional activities such as agriculture and fishing, although within a few years, it is expected an important urban development of the area.

East Harbor is in an intermediate state between the Nador lagoon and the Mar Menor lagoon. It is urbanized but not with large buildings and resorts.

This project is intended to locate the construction of buildings with deep foundations along the sand barrier, which can potentially lead to an interference in the dynamics of existing flows between the open sea and lagoons.

According to the results, it shows how the Mar Menor lagoon is the most influenced by the deep foundations, because is the place, where there are big resorts of high-rise, using deep foundations for its construction. The groundwater flows in Nador are not influenced, because they are not altered by humans. In Cape Cod, there is some influence, but studies determines that the flow goes from the lagoon to the Bay.

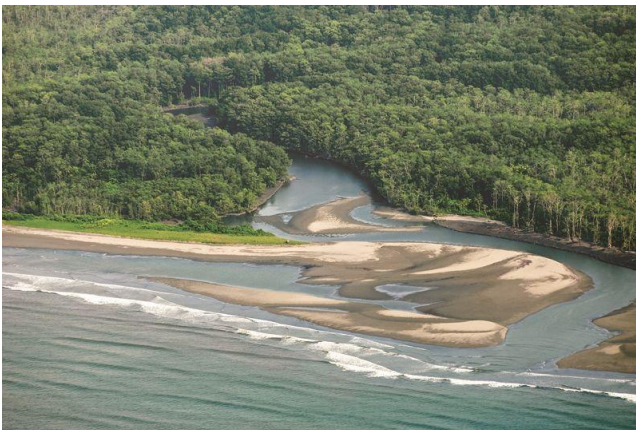
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 BARRERAS LITORALES: CONTEXTO GEOMORFOLÓGICO

-INTRODUCCIÓN

Las barras litorales son acumulaciones alargadas de arena, las cuales se encuentran separadas de la zona continental por aguas abiertas y poco profundas, como son las lagunas, estuarios, bahías... Normalmente suelen formarse de arena, aunque puede ser de otro material más grueso que es arrastrado por la corriente del agua. Este tamaño de material depende en gran medida de la erosión que provocan las olas y corrientes, además de la disponibilidad del mismo.

Por lo general, las barras de arena presentan un surco asociado que se sitúa hacia tierra. Suelen estar localizadas en la zona infralitoral y, por tanto, se encuentran sumergidas de forma permanente. Dependiendo de su disposición con respecto a la línea de costa, se han diferenciado entre barras longitudinales, barras en forma de media luna (crescentic bars), barras alunadas (lunate bars) y barras transversales. Estas barras tienen gran importancia morfodinámica, pues constituyen una reserva de sedimento que en cualquier momento puede ser suministrado al perfil litoral.



Imágenes 1.1 y 1.2. Ejemplos de estuario y barra arenosa. Fuente. Google imágenes

Una de las teorías de la formación de barreras arenosas está basada en ondas, las cuales, se concentran en la arena de la orilla. Éstas ondas transportan arena de la tierra hasta formar una barra de arena. La cresta de la barra de arena se queda próxima al nivel del mar, con lo cual, las olas comienzan a romper por encima de la misma. Este proceso continúa en el tiempo, hasta que finalmente aparece una barra de arena completamente desarrollada, en principio dentro de la zona intermareal, y luego eventualmente se elevaría hasta situarse por encima de la marea alta. En ausencia de fuertes tormentas, estas barras de arena pueden ser un lugar donde aparezca cierto tipo de vegetación, siendo ésta una trampa para conseguir arena adicional.

Geológicamente hablando, las islas barreras son formaciones jóvenes (<7000 años de edad). Estas barras se forman, tal y como se ha dicho anteriormente, debido a la compleja interacción existente entre las ondas, el cambio del nivel del mar y la disponibilidad de sedimentos. La cantidad de tiempo requerido para el desarrollo completo de una isla barrera depende de la cantidad de arena disponible y la tasa de cambio en el nivel del mar.

Las ondas que ayudan a la formación de dichas barras, pueden variar en tamaño y dirección, causando la erosión en la playa, debido sobre todo a que las corrientes generadas son paralelas a la costa. En las desembocaduras al mar de aguas interiores, se suelen producir cúmulos de sedimentos que ayudan a la formación de estas barras, además de contribuir notablemente en los procesos que influyen en las playas cercanas. Al interactuar los distintos procesos de la costa con las islas barrera, los cambios producidos son relativamente predecibles.

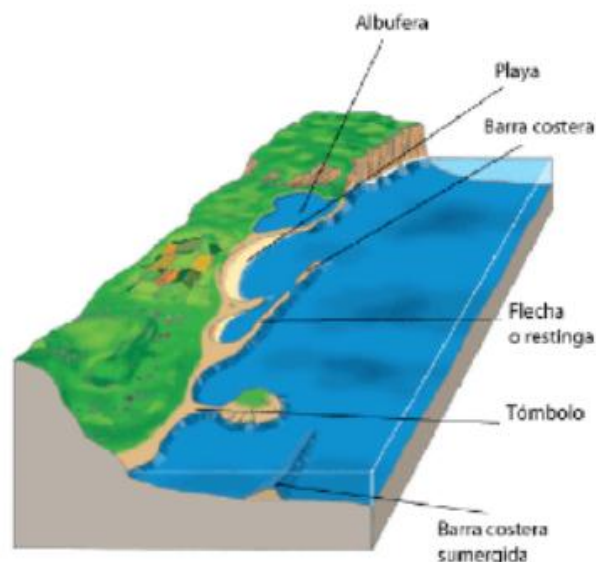


Imagen 1.3. Esquema formaciones geológicas. **Fuente.** Google imágenes

-DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN EL MUNDO

Como puede observarse, a lo largo de la costa de todos los países, se pueden encontrar múltiples ejemplos de barras arenosas, las cuales dan lugar a la aparición de aguas semiencerradas, como son las lagunas costeras, las cuales en algunos casos poseen cierta comunicación con mar abierto y en otros no. También son frecuentes las bahías y estuarios. Como hemos dicho, estas lagunas se encuentran repartidas por todo el mundo, algunas de las más conocidas son: albufera de Valencia, Adra o Mar Menor (España), laguna de Mar Chiquita (Argentina), Medio Mundo (Perú), Mar Chica (Marruecos), laguna Merín (Uruguay y Brasil), el sistema de lagunas del Diario, del Sauce, de Rocha, de Castillos y laguna Negra (Uruguay), las lagunas de Restinga, de Tacarigua, de Píritu y Unare (Venezuela). Las lagunas de Budi, Conchalí y El Peral (Chile)...

Las islas barrera sólo se encuentran a lo largo del 15% de las costas del mundo. En la costa de Estados Unidos son bastante extensas. La mayor parte del Atlántico y muchas de las costas del Golfo de los Estados Unidos se componen de islas barrera. También hay bastantes de ellas a lo largo del sureste y costa norte de Alaska. La costa del Pacífico, desde Washington a California, se caracteriza por la existencia de numerosas de estas barras arenosas alargadas, principalmente de arenas y conectadas al continente mediante un promontorio rocoso.

Los términos más utilizados para designar esta formación son distintos dependiendo del país en el que nos encontremos o de la extensión de terreno que la formación ocupe. De esta forma podemos distinguir entre:

- ✓ Mar: cuando la laguna salada o albufera es muy grande.
- ✓ Laguna: este término es de origen italiano, por lo que suele utilizarse en costas Italianas.
- ✓ Barachois: está separada del mar no sólo por un cordón de arena, sino también de arena y grava. Es usado en Canadá.
- ✓ Étang: palabra de origen francés, es usada en la costa mediterránea.
- ✓ Estero: término empleado en Sudamérica, designa lagunas pantanosas.
- ✓ Liman: sedimentación generada únicamente por las lluvias. Usado en Rusia y Ucrania.
- ✓ Sabkha: lagunas costeras muy salobres en países árabes.
- ✓ Bodden: lagunas similares a las de los estuarios. Empleado en el Mar Báltico.
- ✓ Lagoon: término utilizado en países de habla inglesa.



Imagen 1.4. Laguna de Unare. Venezuela. Fuente. Google imágenes



Imagen 1.5. Laguna del Diario. Uruguay. Fuente. Google imágenes

A continuación se mostrarán unos mapas (elaboración propia), dónde se muestran representadas espacialmente algunas de las barras arenosas de la costa atlántica y de la costa mediterránea.

COSTA ATLÁNTICA



Imagen 1.6. Localización cordones litorales de la costa atlántica. Fuente. Elaboración propia.

LEYENDA

1. Aquí tenemos dos lagoones: Nkomi lagoon (-1.496363, 9.210019), Iguela lagoon (-1.919325, 9.366274), Ndogo lagoon (-2.605173, 10.003052). Gabón.
2. Lagoon próximo a Nyong River (3.256378, 9.913487). Camerún.
3. Aquí nos encontramos dos lagoones: Lake Songaw lagoon (5.819898, 0.416068), Keta lagoon (5.920535, 0.947944). Ghana.
4. Aquí nos encontramos dos lagoones: White Sands lagoon (5.436272, -0.461066), lagoon en la zona de 'Muni-Pomadze Protected Area' (5.330193, -0.642895). Ghana.
5. Aquí nos encontramos dos lagoones: Fosu lagoon (5.104869, -1.255810), Water (5.206412, -0.923839). Ghana.
6. Ehunli Lagoon (4.793877, -2.123580). Ghana.
7. Lagune Aby (5.168032, -3.228475). Costa de Marfil.
8. Grand- Bassam (5.205263, -3.777693). Costa de Marfil.
9. Aquí nos encontramos dos lagoones: Lagune Niouzomou (5.127055, -5.278802), Lagune Tadio (5.136371, -5.066271). Costa de Marfil.
10. Aquí nos encontramos tres lagoones: Lagune Petit Digbwé (4.692259, -6.767042), Lagune Digboué (4.724188, -6.664989), Lagune Popo (4.784379, -6.507273). Costa de Marfil.
11. Aquí nos encontramos tres lagoones: Kpayan (4.962921, -8.960371), Dugbe River (4.947674, -8.915608), Harper (4.371102, -7.681642).Liberia.
12. Lagoon próximo a 'Sanquin District 3' (5.161863, -9.281370).Liberia.
13. Lago Piso (6.713194, -11.287122). Liberia.
14. Aquí nos encontramos dos lagoones: Cacheau (12.112348, -16.329890), Caio (11.929005, -16.290751). Guinea-Bissau.
15. Lagoon próximo a 'Varela National Park' (12.265944, -16.541259). Guinea- Bissau.
16. Lagoon próximo a 'Saint Louis', en Río Senegal, (15.999990, -16.503360). Senegal.
17. Lagoon próximo a 'Nouadhibou' (20.945378, -17.020054). Mauritania.
18. Aquí nos encontramos dos lagoones: lagoon próximo a 'Oualidia' (32.743510, -9.029315), lagoon próximo a 'Plage Sable d'Or Oulad Ghanem' (32.829800, -8.911092) . Marruecos.
19. Lagoon Merja Zerga (34.842140, -6.286367). Marruecos.
20. Lagoon próximo a 'Chjiraat Parque' (35.776210, -5.929509). Marruecos.
21. Lagoon en 'Estuario Do Sado' (38.450332, -8.794771). Portugal.
22. Laguna San Pedro de Muro (42.625193, -9.040963). A Coruña.

COSTA MEDITERRÁNEA



Imagen 1.7. Localización cordones litorales de la costa mediterránea. Fuente. Elaboración propia.

LEYENDA

1. Manga del Mar Menor (37.731352, -0.771196). Murcia.
2. Albufera de Valencia (39.335133, -0.334234). Valencia.
3. Aquí nos encontramos tres lagoones: Canet en Roussillon (42.675837, 3.021267), Étang de Leucate (42.846647, 2.986920), Étang de l'Ayrolle (43.068755, 3.062177). Francia.
4. Aquí nos encontramos dos lagoones: Étang de Thau (43.385007, 3.584110), Étang de l'Or (43.567374, 3.994381). Francia.
5. Lagoon en la 'Reserva Natural de Camargue' (43.482367, 4.481301). Francia.
6. Lagoon próximo a Orbetello (42.453458, 11.199437). Italia.
7. Aquí nos encontramos dos lagoones: Lago di Fogliano (41.408284, 12.896202), Lago di Sabaudia (41.268584, 13.034332). Italia.
8. Lago del Fusaro (40.821086, 14.053578). Nápoles, Italia.
9. Pantano Grande (40.358692, 18.338555). Italia.
10. Salinas de Margherita de Savoia (41.395185, 16.033058). Italia.
11. Aquí nos encontramos dos lagoones: Lago di Verano (41.884864, 15.763293), Lago de Lesina (41.883396, 15.454172). Foggia, Italia.
12. Valle Lido di Magnavacca e Valle Fossa di Porto (44.612125, 12.142599). Italia.
13. Parque Regional Veneto del Delta del Po (45.006838, 12.363734). Venezia, Italia.
14. Laguna Veneta (45.483451, 12.371248). Italia.
15. Lagoon en la 'Reserva Natural Foci dello Stella' (45.730019, 13.191589). Italia.
16. Vransko Jezero (43.898975, 15.565462). Croacia.
17. Laguna de Karavasta (40.914726, 19.483105). Albania.
18. Lago Butrint (39.788215, 20.030971). Albania.
19. Lagoon próximo a 'Ermioni' (37.364285, 23.231002). Grecia.
20. Lagoon próximo a 'Michaniona' (40.485731, 22.825082). Grecia.
21. Toroneos Kolpos (39.979516, 23.659572). Grecia.
22. Lagoon próximo a Kavala Airport (40.897013, 24.599461). Grecia.
23. Aquí nos encontramos cinco lagoones: Lake Vistonida (41.028761, 25.135618), Limnothalassa Ksirolimnis (40.957231, 25.152830), Limnothalassa Karatza (40.946859, 25.188192), Limnothakassa Alikí (40.946859, 25.211710), Limni Ptelea (40.951137, 25.245356). Grecia.
24. Tuz Golu (39.278030, 26.614577). Turquía.
25. Lagoon próximo a 'Izmir' (30.409831, 27.047395). Turquía.
26. Lagoon próximo a 'Ölüdeniz Cd' (36.552091, 29.112991). Turquía.
27. Lagoon próximo a Kalençagiz (36.194961, 29.848339). Turquía.
28. Lagoon próximo a Finike (36.266257, 30.056825). Turquía.

29. Lagoon próximo a Akgöl (36.291848, 33.948502). Turquía.
30. Tuz Gölü (36.692584, 35.054670). Turquía.
31. Aquí nos encontramos cuatro lagoones: Akyatan Gölü (36.601588, 35.307439), Agyatan Gölü (36.590562, 35.523733), Esemem Gölü (36.653019, 35.621681), Avciali Gölü (36.686153, 35.643558). Turquía.
32. Lago Bardawil (31.129379, 33.171719). Sinaí del Norte, Egipto.
33. Lago Manzala (31.308116, 32.073852). Egipto.
34. Lago Burullus (31.422337, 30.751214). Egipto.
35. Lagoon en 'El Gharam Bay' (31.364294, 27.204080). Egipto.
36. Bahiret el Bibane (33.250610, 11.230431). Túnez.
37. Mar Chica (35.157356, -2.866626). Nador, Marruecos.

COSTA ATLÁNTICA



Imagen 1.8. Localización cordones litorales de la costa atlántica. Fuente. Elaboración propia.

LEYENDA

1. Slapton Ley National Nature Reserve (50.276861, -3.652048). Kingsbridge.
2. Burton Mere (50.688698, -2.697583). Bridport.
3. West Fleet (50.631560, -2.561448). Weymouth.
4. River Alde (52.12845, 1.585654). Suffolk.
5. Snettisham (52.851683, 0.447302). Norfolk.
6. Spurn Heritage Coast (53.596518, 0.083585). East Riding of Yorkshire.
7. River Blyth (55.138600, -1.523404).
8. Ash Disposal Area (55.949911, -3.017806). Reino Unido.
9. Fife (56.036098, -3.646506). Reino Unido.

10. Station Crescent (56.459153, -2.857206). Invergowrie.
11. Loch of Strathbeg (57.623032, -1.884199). Aberdeenshire.
12. Loch Sian (58.528670, -4.668311). Lairg.
13. Cemlyn. Cemaes Bay (53.408538, -4.511894). Isle of Anglesey.
14. Parque Nacional de la costa de Pembrokeshire (51.677151, -5.060665).
15. Muir Cheilteach (52.073353, -7.614777).
16. Ballyteige Burrow (52.211010, -6.665041).
17. Lady's Island Lake (52.191362, -6.397781).
18. Broad Lough (52.995635, -6.054133).
19. Conor's Island (54.409787, -8.526599). Condado de Sligo.
20. Rusheenduff (53.608402, -10.003730). Condado de Galway. Irlanda.
21. Mweenish Island (53.312845, -9.847435). Condado de Galway. Irlanda.
22. Lough Donnell (52.779384, -9.479549). Condado de Clare.

-TIPOLOGÍA DE BARRERAS LITORALES

Como se ha comentado anteriormente, las barreras litorales conforman alrededor del 15% de las costas del mundo, pero a su vez, tienden a ser las zonas más costosas y desarrolladas. Las islas barreras son de diferentes tamaños, formas y orígenes.

Generalmente, suelen ser paralelas a la costa, pero están separadas del continente por una laguna o pantano. El término barrera identifica a las dorsales de arena que protegen partes de la costa del ataque directo de las olas de mar abierto. La barrera es una estructura global que puede llamarse el complejo de barrera y que incluye la playa, las características costeras sumergidas, los sedimentos subyacentes y la laguna entre la barra y el continente, así como los canales de estas lagunas.

Se pueden identificar 4 clases generales de estructura de barrera:

- ✓ Barras de bahía: conectadas a las salientes de una barrera y encerrando una bahía o pantano.
- ✓ Espigas: unidas a una fuente de sedimento y creciendo hacia la deriva litoral. Pueden convertirse en islas barrera si una tormenta corta un canal a través de ellas.
- ✓ Islas barrera: islas lineales que no están unidas a tierra pero que encierran una bahía, pozo o pantano. Pueden formar una cadena barrera.

- ✓ **Tómbolo:** acumulación de arena que comunica una isla con tierra firme o con otra isla. Esta formación se produce por la refracción de las olas que ocurre en las islas, depositándose arena y canto rodado dónde las olas se encuentran.

Las islas barrera pueden ocurrir en cualquier ambiente geológico y tectónico si hay sedimento disponible, procesos que permitan su acumulación y un lugar para que se depositen. Es por esto que son más predominantes en costas estables y mares marginales, aunque también se dan en algunas costas de colisión.

En costas tectónicamente activas es muy difícil que se den barreras ya que, aunque hubiera sedimentos disponibles, estas costas tienden a tener una fuerte energía que los remueve y hay muy poco lugar para su formación, pues son costas empinadas.

Por tanto, en estas costas, las únicas barreras que se suelen formar son espigas, o flechas, de aproximadamente 1km de longitud, y pueden llegar a ser comunes.

Los sedimentos lagunares están caracterizados por tener un alto contenido en materia orgánica. Hay distintos tipos de sedimentos que se dan en estas zonas, pero el principal de ellos son las arenas y quizás un sedimento algo más fino recubriendo la parte más superficial del fondo de las lagunas.

1.2. BARRERAS LITORALES. CONTEXTO HIDROGEOLÓGICO

-FLUJOS SUBTERRÁNEOS A TRAVÉS DE CORDONES LITORALES

Desde el punto de vista hidrogeológico, al igual que las marismas, los cordones litorales pueden considerarse acuíferos someros. Por tanto, la dinámica de flujos subterráneos a través de cordones litorales es una parte importante de su funcionalidad.

Muchos autores han estudiado la importancia de flujos subterráneos en marismas, y han obtenido como resultado una notable influencia de la variabilidad del nivel freático en el estado oxidativo y la composición biogeoquímica del sustrato, así como también su impacto en la distribución espacial de las comunidades biológicas que albergan. En el caso particular de cordones litorales, la dinámica de flujos subterráneos es relevante, además, por su influencia en procesos de transporte de contaminantes procedentes de vertidos urbanos accidentales asociados a su desarrollo socioeconómico, pudiendo contribuir a la contaminación de las masas de agua que protegen (Cartwright & Nielsen, 2001).

La dinámica del nivel freático y de los flujos subterráneos en acuíferos costeros someros responde, principalmente, a procesos de drenaje horizontal, filtración, evapotranspiración y recarga, forzados por:

- ✓ las variaciones de nivel de la superficie libre del agua en los contornos en contacto con el mar abierto y con las masas de agua superficial que protegen (forzamientos mareales).
- ✓ por eventos de precipitaciones e inundaciones de la superficie en contacto con la atmósfera (forzamientos atmosféricos).

Los forzamientos mareales relacionados con el paso de borrascas, son de especial interés por su capacidad de inducir variaciones del nivel freático y flujos en una extensión significativa de las secciones transversales del cordón. Por tanto, éstos pueden influir en mayor grado a la funcionalidad ambiental y ecológica de estos sistemas.

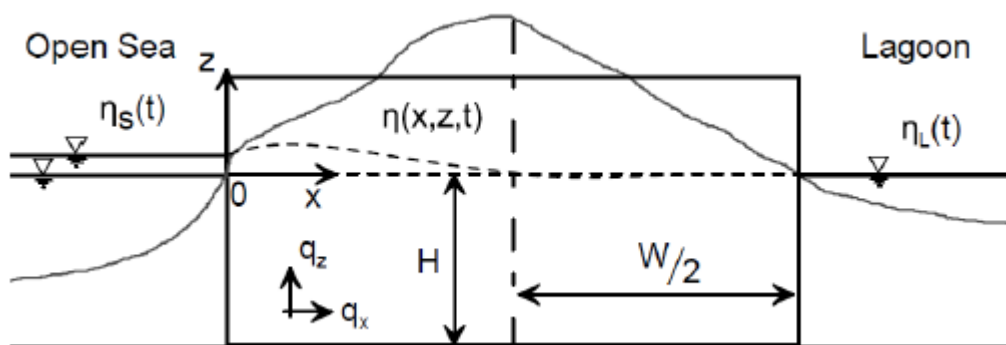


Imagen 1.9. Representación anchura del cordón (w), profundidad del cordón (H), nivel freático... **Fuente.** Trabajo Beatriz Sierra Ruiz

-DEPENDENCIA DE FLUJOS

Como puede intuirse, los flujos dependen de una serie de parámetros, los cuales corresponden a variables hidrogeológicas o a variables climáticas. A continuación se va a proceder a la definición de cada uno de ellos.

Variables hidrogeológicas

Ley de Darcy: la velocidad de un fluido en un medio poroso depende del coeficiente de permeabilidad y del gradiente hidráulico.

$$\text{Velocidad} = K * \text{gradiente hidr\u00e1ulico}$$

Transmisividad: es un par\u00e1metro que nos indica la facilidad del agua para circular horizontalmente por una formaci\u00f3n geol\u00f3gica, es decir, es una combinaci\u00f3n de la conductividad hidr\u00e1ulica y del espesor.

Las unidades de la transmisividad son L^2/T , pues las de la conductividad hidr\u00e1ulica son de L/T y las del espesor de L .

$$\text{Transmisividad} = \text{Conductividad hidr\u00e1ulica} * \text{Espesor}$$

Permeabilidad: es la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido. En hidrogeolog\u00eda, la permeabilidad, o conductividad hidr\u00e1ulica K , es un concepto un tanto m\u00e1s complejo. Es la constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidr\u00e1ulico.

$$\text{Caudal por unidad de secci\u00f3n} = K * \text{gradiente hidr\u00e1ulico}$$

Rendimiento espec\u00edfico (specific yield): cantidad de agua que una unidad de volumen del ac\u00falfero, despu\u00e9s de estar saturada, producir\u00e1 por gravedad. Se expresa como una proporci\u00f3n o un porcentaje del volumen del ac\u00falfero.

Variables clim\u00e1ticas

Variaci\u00f3n del Nivel del Mar: la variaci\u00f3n del nivel del mar se puede deber a dos causas: 1) transgresiones marinas: ascenso del mar, inundando los continentes. 2) regresiones marinas: descenso del nivel del mar, dejando zonas, antes cubiertas, al aire. Las causas de estos cambios pueden deberse a diversas razones: variaciones litosf\u00e9ricas (isostasia, movimientos tect\u00f3nicos), cambios debidos a modificaciones termohalinas, variaciones clim\u00e1ticas, mecanismos antr\u00f3picos (incremento del efecto invernadero)...

Variaci\u00f3n del Nivel de la Laguna: la variaci\u00f3n del nivel lagunar se debe a las descargas de los r\u00edos afluentes a la misma, y a la variaci\u00f3n permanente de los rangos de las mareas. Esto da lugar a que las lagunas costeras nunca consigan tener un equilibrio definitivo.

Estado de mar: este par\u00e1metro se define teniendo en cuenta las caracter\u00edsticas del oleaje en un determinado momento, y la altura del oleaje, que es producida por el viento. Adem\u00e1s de la influencia del m\u00f3dulo del viento, para estimar la altura de oleaje, son limitativos la duraci\u00f3n del viento y su alcance (fetch).

Para definir el estado de la mar, se necesita una condici\u00f3n de estabilidad que resulta cuando el viento ha estado soplando desde una misma direcci\u00f3n, durante un tiempo relativamente prolongado, y sobre un fetch suficientemente largo.

-AMBIENTES MAREALES Y TIPOS DE MAREAS

Marea astronómica

El ascenso y descenso de las mareas es causado por las atracciones gravitacionales del sol y la luna, que actúan sobre las partículas de agua en la superficie de la tierra.

Para determinar estos efectos, se va a utilizar la ecuación de Newton para la atracción gravitacional.

$$F = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

Donde r es la distancia entre los centros de los dos cuerpos de masas m_1 y m_2 . G es la constante gravitacional, de valor $6.6 \times 10^{-11} \text{ m}^2\text{N/kg}^2$. Tomamos el sistema tierra-luna en primer lugar, aunque la metodología es la misma que la del sistema tierra-sol. La atracción mutua entre tierra y luna y viceversa, debe estar equilibrada a una fuerza centrífuga, lo cual se traduce en un sistema rotatorio. El período de rotación tierra-luna es de 27.3 días. La aceleración centrífuga de esta rotación, implica que hay una fuerza uniforme sobre todas las partículas de agua.

Para la determinación de las mareas, hay que imaginarse la tierra rotando a través de las mareas. Los tipos de mareas que se obtengan dependerá de la declinación de la tierra respecto al plano de rotación de la tierra-luna. Esta declinación es un parámetro ya estimado, y ronda los 28.5° . Si la declinación de la tierra fuese 0° , un punto localizado en la superficie de la tierra rotando, experimentaría dos mareas iguales en un día. Si, por el contrario, el eje estuviese más inclinado, se podrían tener dos mareas altas y dos bajas desiguales durante un día. Estos tipos de mareas son de tipo semidiurno. Sin embargo, en el segundo caso expuesto, hay una desigualdad en las elevaciones diurnas de las mareas. Alternativamente, dependiendo de la latitud, el lugar puede experimentar una única marea alta y baja por día. Es lo que se conoce como marea diurna.

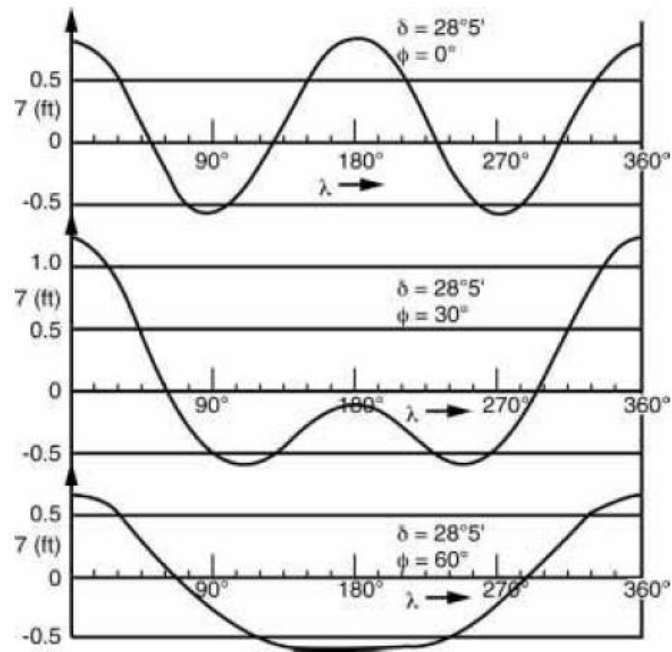


Imagen 1.10. Rangos de marea. **Fuente.** *Coastal Processes* (Dean & Dalrymple, 2002)

El sol, a pesar de su inmensa masa, crea una marea menos de la mitad que la que crea la luna, debido a que su distancia con respecto a la tierra es mucho mayor que la de la luna. Sin embargo, su influencia es importante, pues la marea solar puede aumentar o disminuir el efecto de la marea lunar. Los dos efectos aumentan en la época de luna nueva, cuando la luna y el sol están del mismo lado que la tierra y durante la luna llena, cuando están alineados pero en lados opuestos de la tierra. Las mareas altas se forman cuando se dan al mismo tiempo las componentes solares y lunares. Durante el primer y último trimestre, las mareas creadas por el sol y la luna se contrarrestan, creandose así las mareas bajas.

Además de las mareas, también se dan otros efectos como consecuencia de la variación de distancia entre tierra y luna, (la luna va girando alrededor de la tierra, tarda aproximadamente unos 27.55 días en dar una vuelta completa), y la variación de distancia entre la tierra y el sol. En principio, mediante la superposición de las componentes de las mareas, éstas podrían predecirse durante muchos años, pero la presencia de los continentes y otros efectos locales, alteran los resultados que podrían obtenerse.

Por este motivo, las mareas locales deben ser determinadas por medidas de masas de tierra y costa.

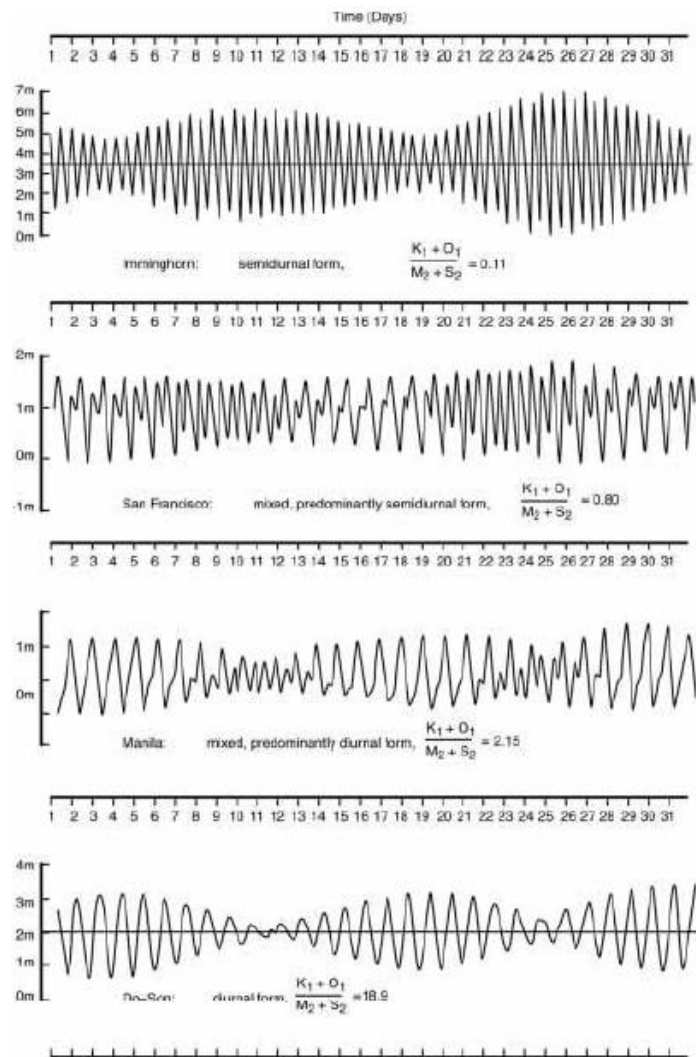


Imagen 1.11. Posibles tipos de mareas. **Fuente.** *Coastal Processes* (Dean & Dalrymple, 2002)

Marea meteorológica

La marea meteorológica engloba los cambios de nivel en las áreas costeras como consecuencia de variaciones de presión y viento, (ej: paso de una borrasca).

La presión atmosférica suele variar entre 990 y 1040 hectopascales. Una variación de 1 hectopascal, provoca una variación de 1 cm del nivel del mar, de esta forma, la variación de la marea barométrica es del orden de 50 cm.

El viento que sopla sobre una superficie de agua tiene una componente horizontal que arrastra el agua en la misma dirección. Esta corriente se ve detenida al llegar a la costa, lo cual produce una sobreelevación del nivel del mar. Esta sobreelevación hay que tenerla en cuenta, además de la variación barométrica y las mareas astronómicas al proyectar cualquier tipo de obra marítima.



Imágenes 1.12 y 1.13. Marea meteorológica. Fuente. Google imágenes

Rangos mareales

Lo que más interés tiene de las mareas es su rango, es decir, la diferencia de altura entre la pleamar media y la bajamar media. Se suelen considerar tres categorías de rango mareal: micromareal (menos de 2 metros), mesomareal (entre 2 y 4 metros), y macromareal (más de 4 metros).

Las mareas son importantes por varios motivos. En primer lugar, por el efecto impulsor que ejerce sobre el oleaje, que amplía así su zona de actuación sobre la costa. En segundo lugar, por la existencia de una intermareal, es decir una franja sometida al ambiente subacuático u subaéreo alternativamente, la cual soporta fenómenos específicos de sedimentación, meteorización, actividad biológica y acción del oleaje. Por último, debido a la existencia de corrientes asociadas a los ascensos y descensos del agua, o corrientes de marea.

En la Península Ibérica, hay macromareas en determinadas zonas del litoral cántabro-atlántico, mesomareas en el resto de ese litoral y del Atlántico y micromareas en el mediterráneo.

El océano Atlántico se caracteriza también por tener una marea de tipo fundamentalmente semidiurna, mientras que el mar Mediterráneo tiene zonas con predominio semidiurno y otras mixtas. En ambos ambientes se tienen lagunas cuyos flujos subterráneos responden a los distintos tipos de variación del nivel del mar abierto. Ejemplos de estas lagunas pueden observarse en los mapas mostrados anteriormente, dónde se encuentran localizadas las lagunas principales tanto de la costa atlántica como de la mediterránea.

-TIPOLOGÍA DE LAGUNAS COSTERAS EN FUNCIÓN DEL 'ÍNDICE DE AMORTIGUAMIENTO'

La variación del nivel del mar en cordones litorales en contacto con lagunas costeras, influye en los flujos a través del cordón litoral. En función del 'índice de amortiguamiento' (depletion number) podemos encontrar distintos tipos de lagunas.

Las mareas de entrada a través de las islas barrera, ofrecen muchos beneficios, como puede ser la navegación en la propia laguna o bahía, pesca, náutica recreativa...Además, el intercambio del agua de la laguna durante el ciclo de mareas, desempeña un papel importante en el medio ambiente, pues se encarga de limpiar la bahía de sedimentos y contaminantes, además de mantener los niveles de calidad y la salinidad de agua para la vida acuática.

Por otro lado, la presencia de una entrada de marea en un litoral, tiene el efecto de atrapar una considerable cantidad de arena, creando de esta forma, un potencial significativo para la erosión de la playa en playas adyacentes.

La citada marea es causada por la diferencia de nivel de agua entre el mar y la bahía. A continuación se explicará un teoría lineal de mareas en una entrada idealizada de bahía, para mostrar estas dinámicas. Antes se examinará una formulación común utilizada para este efecto.

Se considera una bahía tal que el área de la planta (A_b) de la bahía es independiente del nivel de agua dentro de la bahía. Allí se supone que no existen ríos ni arroyos que fluyen a la bahía. La entrada tendrá una determinada área transversal (A_c), que cambiará con los cambios de la marea, pero la anchura de la entrada será fija (b), la profundidad media será h_i , y su longitud ' l '. La profundidad de la bahía será h_B , que es mayor que h_i , y suficientemente profunda para que el tiempo de propagación de la onda de marea arrojada no sea importante.

La marea en el océano se caracteriza por una sola amplitud de marea, a_0 , que es la mitad del rango de marea, y una marea de frecuencia σ , que dependerá de si la marea es diurna o semidiurna. La expresión para mareas oceánicas será:

$$\eta_0(t) = a_0 \cos \sigma t$$

Por tanto, las mareas en la bahía serán:

$$\eta_B(t) = a_B \cos(\sigma t - \varepsilon_B)$$

donde a_B es la amplitud de marea en la bahía, ε_B es el desplazamiento de fase, o retraso, de la marea de la bahía respecto al océano.

La amplitud de la marea oceánica es mayor que la de la bahía, haciendo que las alturas de marea en el océano sean mayores o menores, en el mismo instante, que en la bahía. Cuando la marea del mar es mayor que la de la bahía, el flujo de entrada tiende a llenar la bahía, causando un aumento de marea en la bahía. Cuando la marea del mar comienza a caer, la bahía aún sigue subiendo, de tal forma que finalmente se llega a una altura de equilibrio entre ambas.

Para el desarrollo de modelos hidrodinámicos de mareas se utilizan dos ecuaciones. La primera corresponde a la conservación de la masa, y la segunda corresponde a una ecuación de impulso.

La conservación de la masa se basa en la suposición de que el caudal en la entrada (Q), llena la bahía de manera uniforme en toda su área A_b .

$$Q = Ub \left[h_i + \frac{(\eta_0 + \eta_B)}{2} \right] = \frac{d[A_B(h_B + \eta_B)]}{dt} = A_B \frac{d\eta_B}{dt}$$

El flujo de entrada a la bahía debe provocar un cambio en el volumen de agua en la bahía. La velocidad promedio transversal en la entrada se denominará $u(t)$.

La ecuación dinámica se desarrollará utilizando la ecuación del movimiento para la velocidad horizontal.

$$\frac{du}{dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau}{\partial z}$$

Se debe considerar la distribución de la presión hidrostática en la columna de agua $p = \rho g(\eta - z)$, ampliar el diferencial total e integrar en la profundidad. De esta forma se obtiene:

$$h_i \frac{\partial U}{\partial t} + h_i \frac{\partial(U^2/2)}{\partial x} = -gh_i \frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{1}{\rho} (\tau_\eta - \tau_b)$$

Donde U es la velocidad promedio de profundidad, y τ_η y τ_b son las tensiones de equilibrio en la superficie del agua y la parte inferior, respectivamente. Expresando la tensión inferior como una relación de Darcy-Weisbach tenemos:

$$\tau_b = \frac{\rho f |U| U}{8}$$

y obviando la tensión superficial del agua (sin viento), podemos integrar la ecuación del movimiento a lo largo del canal para obtener:

$$h_i l \frac{\partial U}{\partial t} = -g h_i (\eta_l - \eta_o) - \frac{f |U| U l}{8}$$

donde h_i y U se han tomado como uniformes a lo largo del canal prismático. Las elevaciones de las superficies de agua se evalúan en $x=0$, que están en la entrada del canal. De esta forma se puede relacionar los parámetros η_o y η_l por:

$$\eta_o = \eta_l - (1 + k_{en}) \frac{U^2}{2g}$$

El coeficiente de pérdidas de entrada k_{en} , también está incluido, para tener en cuenta las pérdidas debido a la concentración de flujo en la entrada. También η_l puede estar relacionada con η_B :

$$\eta_l = \eta_B - (1 + k_{ex}) \frac{U^2}{2g}$$

donde k_{ex} es una pérdida de expansión. Las estimaciones de los coeficientes de entrada y salida son:

$$k_{en} = 0.1-0.3$$

$$k_{ex} = 1.0$$

y aproximadamente el coeficiente de fricción es: $0.03 < f > 0.08$

Sustituyendo ahora las amplitudes de marea del océano y de la bahía, e integrando en la sección transversal del canal, obtenemos la expresión final como:

$$(\eta_B - \eta_o) + \frac{l}{g} \frac{\delta U}{\delta t} + \left(K_{en} + K_{ex} + \frac{fl}{4R_h} \right) \frac{|U| U}{2g} = 0$$

Método lineal para determinar la respuesta hidrodinámica del sistema

La ecuación dinámica para el método lineal conserva el término de inercia en la ecuación. Esto implica la linealización del término de tensión de equilibrio. Los términos de pérdida, tanto de entrada como de salida, son no-lineales en velocidad, por lo que para compensar este efecto se incluye un signo de valor absoluto. De esta forma tenemos:

$$\left(K_{en} + K_{ex} + \frac{fl}{4R_h} \right) \frac{|U|U}{2g} \rightarrow \frac{F\sqrt{2ga_o}U}{2g}$$

donde F es un coeficiente adimensional. La expresión del término U, es:

$$U = \frac{A_B}{A_C} \frac{d\eta_B}{dt}$$

Estas dos ecuaciones presentan dos incógnitas, la elevación de la superficie del agua en la bahía, y la velocidad en la entrada U. Eliminamos uno de ellos, en este caso U. De esta manera se obtiene:

$$\frac{dU}{dt} = \frac{A_B}{A_C} \frac{d^2\eta_B}{dt^2} = g \frac{(\eta_o - \eta_B)}{l} - \frac{F\sqrt{2ga_o}A_B}{2lA_C} \frac{d\eta_B}{dt}$$

o,

$$\frac{d^2\eta_B}{dt^2} + \frac{F\sqrt{2ga_o}}{2l} \frac{d\eta_B}{dt} + \frac{gA_C}{lA_B} \eta_B = \frac{gA_C}{lA_B} \eta_o$$

Esta ecuación describe un sistema dinámico de amortiguación. Este término de amortiguación es el proporcionado por la tensión de equilibrio. El término masivo es el primer término del lado izquierdo.

Sustituyendo una supuesta solución $\eta_B = a_B \cos(\sigma t - \varepsilon_B)$ en la ecuación que rige, y separando en términos dependientes de seno y coseno, se obtiene:

$$\tan \varepsilon_B = \frac{F\sqrt{2ga_o}}{2l\sigma \left(gA_C / A_B l \sigma^2 - 1 \right)}$$

o,

$$\tan \varepsilon_B = \frac{\phi_1}{(\phi_2 - 1)}$$

donde los parámetros dimensionales están definidos como:

$$\phi_1 = \frac{f\sqrt{2ga_o}}{2l\sigma}$$

$$\phi_2 = \frac{gA_C}{\sigma^2 A_B l}$$

Estos parámetros pueden verse como la relación entre las fuerzas friccionales y las fuerzas inerciales, y como la relación entre fuerzas hidrostáticas y fuerzas inerciales. El término ϕ_2 puede también escribirse como:

$$\phi_2 = \left(\frac{\sigma_N}{\sigma} \right)^2$$

donde σ_N se define como la frecuencia natural del sistema de entrada a la bahía. Esta frecuencia natural es:

$$\sigma_N = \sqrt{\frac{gA_C}{A_B l}}$$

La ecuación para el desplazamiento de fase de la marea de bahía, muestra que la marea de bahía queda como una cantidad de la marea del océano, que depende de la inercia y la fricción en la entrada.

$$\frac{a_B}{a_o} = \frac{\phi_2}{\sqrt{(\phi_2 - 1)^2 + \phi_1^2}}$$

En definitiva, la velocidad de la marea es:

$$U = \frac{A_B}{A_C} \frac{D\eta_B}{dt} = -\frac{A_B}{A_C} a_B \sin(\sigma t - \varepsilon_B)$$

A continuación se muestra una gráfica que relaciona el 'depletion number' (K) con la amplitud en el nivel de la laguna con la amplitud del nivel en mar abierto (a/a_o).

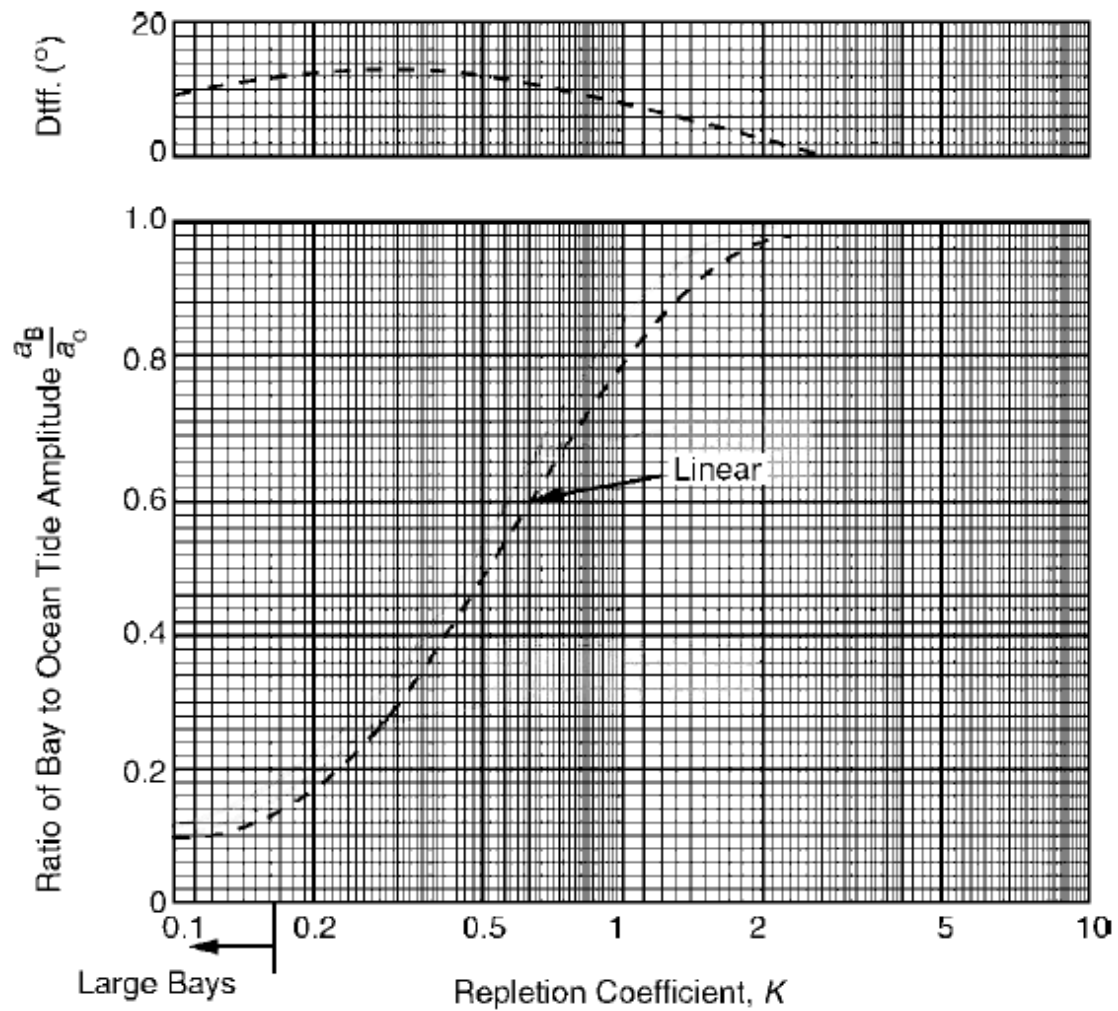


Imagen 1.14. Gráfica que relaciona K con a/a_0 . **Fuente.** Imágen retocada del libro 'Coastal Processes' de Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple.

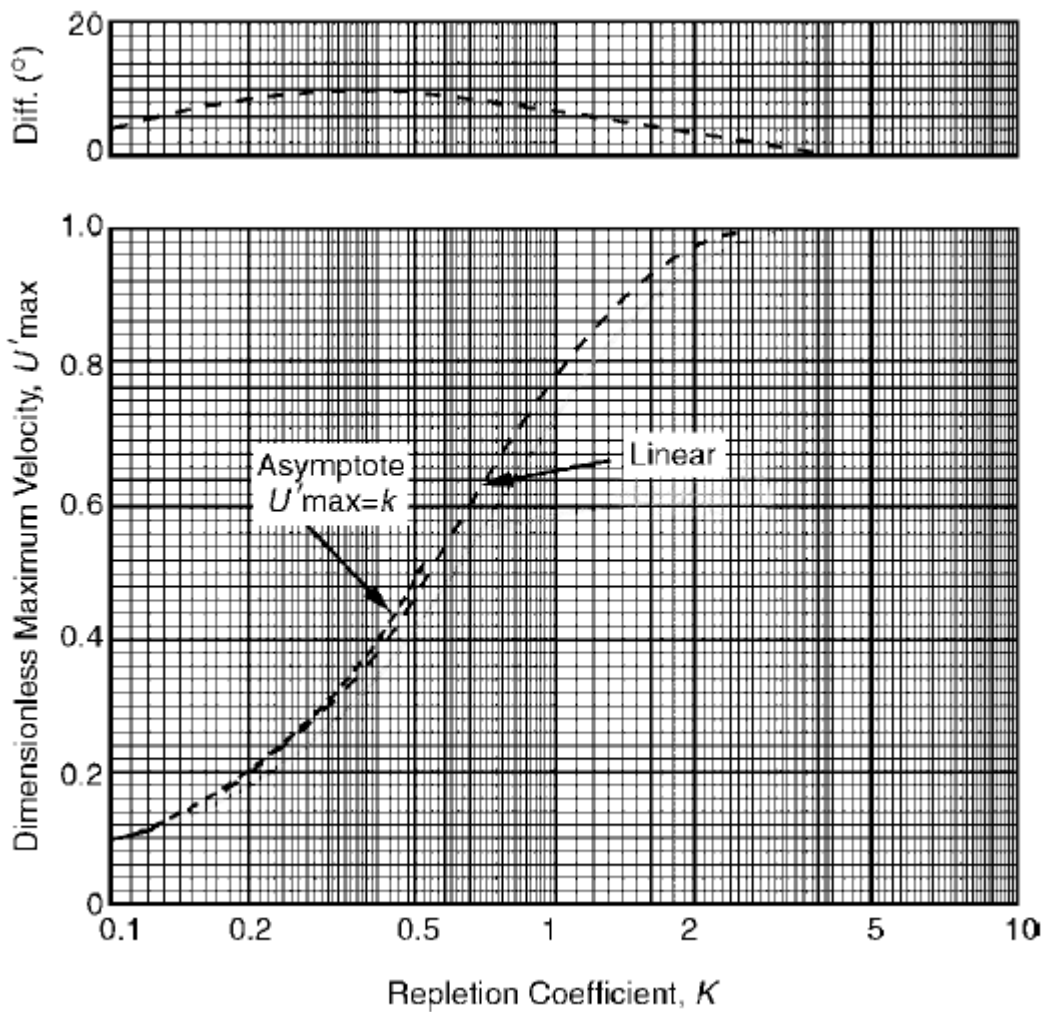


Imagen 1.15. Gráfica que relaciona K con la velocidad máxima U . Fuente. Imágen retocada del libro 'Coastal Processes' de Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple.

Con esta introducción ya podemos pasar a describir los tipos de lagunas en función del tipo de comunicación que éstas tengan con el mar.

Lagunas marinas. Esta tipología de lagunas se caracterizan por tener un libre intercambio con el mar. Gran parte de su volumen es renovado con la marea. El aporte de agua dulce es limitado. La composición química, la temperatura y el oxígeno disuelto en el agua es similar a la del mar. Los fondos son arenosos, las aguas claras y en ocasiones suelen estar cubiertas por fanerógamas y algas marinas. Debido a la similitud de las condiciones ambientales con el mar, los organismos que suelen habitar en ellas son principalmente marinos.

Lagunas hipersalinas. Se caracterizan por tener una pobre comunicación con el mar. Suelen poseer canales de poca circulación, y las salinidades promedio son mayores del 40%. Se encuentran en regiones con una tasa de alta de evaporación y un régimen de poca lluvia y escasa escorrentía. La temperatura del agua, por lo general, es mayor a la del mar. La fauna es escasa, compuesta por moluscos y algunos peces. Las altas temperaturas y la concentración de sal tienden a limitar o inhibir la reproducción y crecimiento de muchas especies.

Cuando las lagunas hipersalinas se aíslan del mar, se reduce drásticamente la renovación de sus aguas, lo cual aumenta significativamente la salinidad y las dificultades para el mantenimiento normal de sus poblaciones biológicas. Con estas condiciones extremas, la fauna se reduce a unas pocas especies adaptadas para sobrevivir en este ambiente.

Lagunas salobres. Son cuerpos semi-encerrados en donde el agua del mar se diluye en forma medible con aportes terrestres de agua dulce. Están asociadas a canales de drenaje o arroyos, y las fluctuaciones en el volumen y composición salina del agua responden principalmente a los cambios en el volumen de las escorrentías y las intrusiones de agua dulce. Bajo condiciones de buen drenaje, el flujo de agua dulce desplaza el agua salada hacia la boca de la laguna y en algunas ocasiones hacia el mar abierto. El resultado de este efecto es la formación de un gradiente de salinidad hacia la desembocadura de la laguna.

Además, el grado de mezcla, se encuentra determinado por los vientos y la profundidad de la laguna. Las condiciones ambientales en este tipo de laguna son inestables, pues las oscilaciones en la composición química del agua y de parámetros como el oxígeno y la temperatura son amplias.

Los fondos de las lagunas salobres se caracterizan por ser arcillosos y tener un alto contenido de materia orgánica. Las poblaciones de especies que ocupan estas zonas suelen ser estuarinas, adaptadas a sobrevivir bajo condiciones ambientales inestables.

Como ejemplo de laguna hipersalina tenemos el Mar Menor (España), laguna de gran superficie, en la cual, la variación del nivel del mar apenas varía. Como ejemplo de laguna salobre tenemos la laguna de Vístula (Polonia-Rusia), la cual posee en sus aguas más sales disueltas que el agua dulce, pero menos que la del mar. Por último, como laguna marina, con una buena comunicación con el mar, está el Étang de Thau (Francia), laguna de gran superficie y con aguas bien oxigenadas.

La Laguna Madre (México), es otro claro ejemplo de laguna donde las variaciones del nivel de sus aguas, es aproximadamente el mismo que el del océano. También en este caso se encuentra la laguna de Tamiahua (México).

1.3 BARRERAS LITORALES: FUNCIONALIDAD AMBIENTAL

Los lagoonos presentan frecuentes fluctuaciones ambientales, las cuales son responsables de su alta productividad biológica, haciendo de ellos zonas de hábitat para numerosas especies.

Las lagunas costeras son medios muy sensibles a los cambios, y ello se ha podido comprobar en los últimos años, pues, debido al aumento de actividades humanas, las aguas de estas lagunas han aumentado de forma considerable sus niveles de contaminación. Algunas de estas actividades son, por ejemplo:

-Desarrollos urbanísticos. Esto implica la construcción de infraestructuras de servicios, las cuales, si no se planifican de forma correcta, producen problemas sobre las características ambientales, que modifican la flora, fauna, morfología costera...

-Construcción de puertos. La construcción de este tipo de infraestructuras de tipo comercial, industrial, turístico y pesquero, alteran los procesos de transporte litoral, además de incrementar la contaminación.

-Centrales generadoras de electricidad. Las centrales termoeléctricas impactan en la toma de grandes volúmenes de agua y la recirculación de ésta a mayores temperaturas, contaminando y alterando las características naturales de los ecosistemas naturales.

-Actividades agrícolas, ganaderas, forestales y de acuicultura. El uso inadecuado e indiscriminado de fertilizantes herbicidas, plaguicidas..., además de la tala masiva de las zonas forestales, junto con los cambios en el uso del suelo, provocan contaminación, erosión y alteración de estos sistemas.

-Obras hidráulicas. La creciente demanda de agua por parte de los distintos sectores, implica la construcción de presas, acueductos..., cuyo impacto sobre los sistemas costeros se evalúa en el nivel de salinidad de las aguas, en el transporte litoral y en la alteración de las características de los ecosistemas naturales.

Debido a las causas citadas, se ha dado lugar a que algunas de las especies marinas, ya correspondan a flora o fauna, desaparezcan. Por ello, se ha de tomar conciencia de los problemas que se generan con todas las actividades llevadas a cabo en estas zonas, e intentar mantener un manejo adecuado de las mismas, para que de esta forma se pueda conseguir un desarrollo integral y equitativo, sin que de ello se deriven problemas graves en el medio ambiente lagunar.

Concretamente en Europa, para llevar a cabo esta regulación de actividades, se ha adoptado la directiva WaterFrameWork. Con ella, se pretenden definir las claves del 'agua sostenible'. Esta directiva no sólo tiene en cuenta las aguas de las lagunas, sino que gran parte de lo que

les ocurre a las mismas se debe a las aguas de los ríos que llegan hasta ellas, por tanto, hay que proteger estos ríos, junto con las aguas subterráneas (de las cuales hay flujos hacia las lagunas), estuarios...En definitiva, con esta directiva se pretende prevenir el posible deterioro de ecosistemas acuáticos, llevar a cabo un uso sostenible de los recursos hídricos disponibles, regular la emisión de vertidos, paliar los efectos de las inundaciones y sequías...

Como caso particular, a continuación, vamos a hacer referencia a las figuras ambientales que se pretenden proteger en la laguna del Mar Menor. Éstas son:

- ✓ Salinas y Arenales de San Pedro del Pinatar, incluidas las Islas Grosa, Farallón y Hormigas.
- ✓ Laguna del Mar Menor e islas, además del Carmolí, Lo Poyo, La Hita, Marchamalo y Amoladeras.
- ✓ Franja litoral sumergida comprendida entre Cabo de Palos y Cabo Negrete.

Todos los lugares mencionados han sido propuestos como Lugares de Importancia Comunitaria (LIC), para formar parte de la futura Red Natura 2000.



Imágenes 1.16 y 1.17. Izq. Cape Cod vista satélite. Derech. Mar Menor vista aérea. Fuente. Google imágenes

Otro ejemplo puede ser 'Cape Cod', el cual se encuentra en el parque nacional de la costa Cape Cod. Con ello, podemos darnos cuenta de la importancia ambiental que tienen estos sistemas costeros y la necesidad de su protección.

1.4 BARRERAS LITORALES: FUNCIONALIDAD SOCIOECONÓMICA

La zona costera tiene un gran dinamismo, esto se debe principalmente a que es una zona de interfase entre el océano, el continente y la atmósfera, zona en la cual tienen lugar las actividades económicas más importantes a nivel nacional e incluso mundial, como son sabidas la pesca y la acuicultura, la extracción de hidrocarburos y minerales y la transportación marítima y el turismo, en un marco de alta diversidad ambiental y sociocultural. Esta diversidad de actividades ejerce una fuerte presión sobre ambientes frágiles y de gran diversidad biológica. Asimismo, la falta de orden favorece que las actividades económica se afecten entre ellas, como ocurre con la pesca, la acuicultura y el turismo.

El desarrollo acelerado de las actividades económicas propicia un crecimiento desordenado de la zona costera y zonas urbanas de la costa, lo que a su vez da lugar a conflictos ambientales derivados de la competencia por el espacio, el uso de los recursos, la generación de residuos y contaminantes, los cuales influyen en el deterioro de la calidad de vida y en la disminución de la competitividad de los mismos sectores y en sus actividades económicas.

Los ecosistemas costeros son de los más productivos, pero también los más amenazados en el mundo. Entre los servicios que éstos ofrecen a la sociedad se encuentra la estabilidad y protección de la zona costera, constituye una fuente de alimento por las pesquerías que se desarrollan en esta zona, recreación...Además son una zona de gran variedad de hábitats, en las que pueden vivir y desarrollarse muchas especies de aves, peces, moluscos...algunas de ellas de interés comercial.

Como ya se ha comentado, la importancia de estas zonas, además del atractivo turístico que ejercen, ha causado que desde hace unos años atrás se comenzara con la urbanización masiva de estas zonas, hecho que se ha realizado en la mayoría de los casos sin tener en cuenta ningún tipo de planeamiento previo en la zona. De esta forma, no se han tenido en consideración los posibles impactos ambientales que esto pudiera tener, consiguiendo con ello llegar a la situación ambiental en la que se encuentran hoy día, la cual es bastante frágil.

Ejemplos de lagoones donde ha tenido lugar esta sobre urbanización son, Laguna del Mar Menor (Murcia, España), Lagoon Keta (Ghana, África), Lagoon Fosu (Ghana, África), Étang de Thau (Francia), Laguna Veneta (Venecia, Italia), Cape Cod (Massachuset)..



Imágenes 1.18 y 1.19. Izq. Keta Lagoon. Derech. Fosu Lagoon. Fuente. Google imágenes



Imágenes 1.20 y 1.21. Izq. Étang de Thau. Derech. Laguna Veneta. Fuente. Google imágenes

Centrándonos en la laguna del Mar Menor, se puede decir que desde hace muchos años se ha ido, cada vez con mayor intensidad, explotando la zona como área de asentamiento urbano e industrial, además de como recurso pesquero, agrícola, ganadero, minero, portuario, paisajístico, turístico...

Durante mucho tiempo, la explotación de la zona no ha afectado en gran medida a su evolución natural. Es a partir del siglo XVI cuando el pastoreo y las roturaciones llevadas a cabo en las riberas de la laguna incrementaron de manera significativa las entradas de sedimento a la misma, incrementando con ello la aceleración de los procesos de colmatación. También por este tiempo se dejó notal el efecto de la minería, efecto que fue creciente hasta mediados del siglo XX.

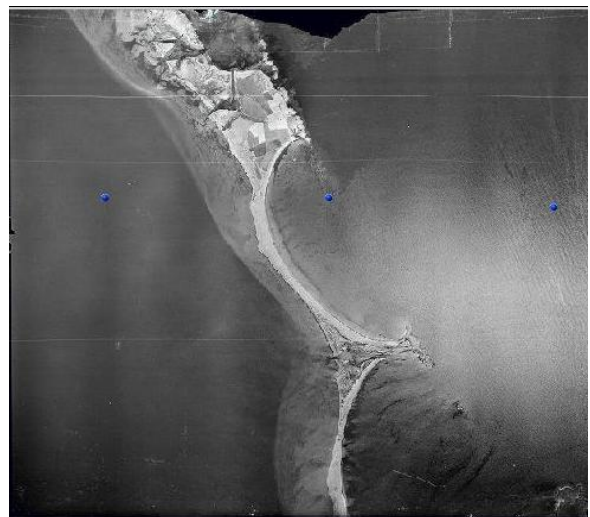
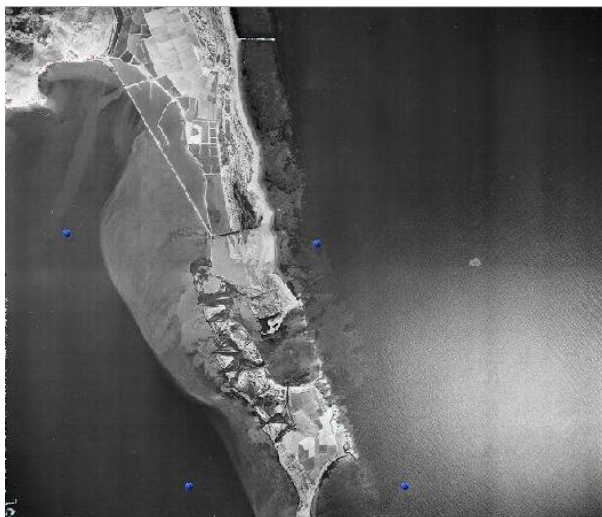
Una de las principales actividades que se desarrolló en esta laguna fue la explotación salinera (Salinas de San Pedro del Pinatar, Marchamalo, Punta Galera y Lo Poyo). Hoy en día, las salinas se consideran un elemento paisajístico imprescindible, con una relevancia fundamental para la conservación de numerosas especies que tienen en ellas su hábitat natural,

o las utilizan como zona de paso. La pesca es otra actividad importante en el Mar Menor, sustentada principalmente por la cantidad y calidad de las capturas. Por otro lado, la acuicultura en esta zona y sus proximidades tan sólo se ha desarrollado de forma experimental y ocasional.

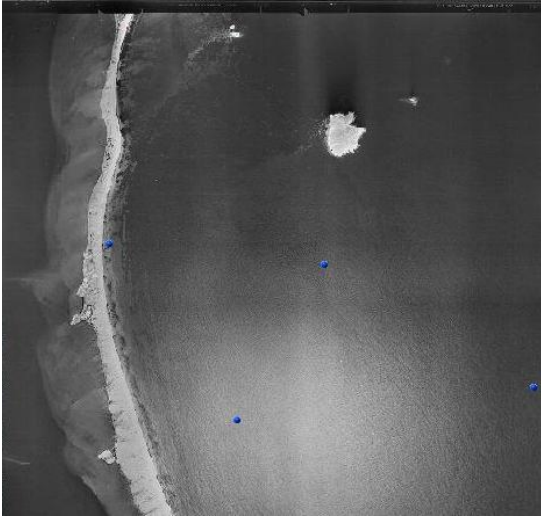
La actividad turística es, desde la década de 1960, la actividad principal de la zona, lo cual implica la ocupación y alteración irreversible del espacio, además de los hábitats naturales, pues esta expansión se ha realizado sin ningún tipo de planeamiento urbanístico. De esta forma, la expansión provocada por el turismo, ha sustituido a la agricultura como principal causante de los aterramientos totales o parciales de las áreas someras y dársenas marginales. Esta actividad, en principio compatible con la conservación de los recursos, al realizarse de forma incontrolada, ha conducido a una situación que ha puesto en peligro la integridad del ecosistema, los usos tradicionales y la propia actividad turística.

Para corroborar el crecimiento urbanístico que se ha dado en las últimas décadas en el cordón litoral del Mar Menor, se van a mostrar a continuación, una serie de fotografías de vuelos aéreos a lo largo de todo el cordón realizados en distintos años, obtenidas a partir de la fototeca del Instituto Geográfico Nacional (IGN). Además, también se va a incluir la evolución de la población en las últimas décadas.

-Vuelo 1956-1957. Vuelo americano.

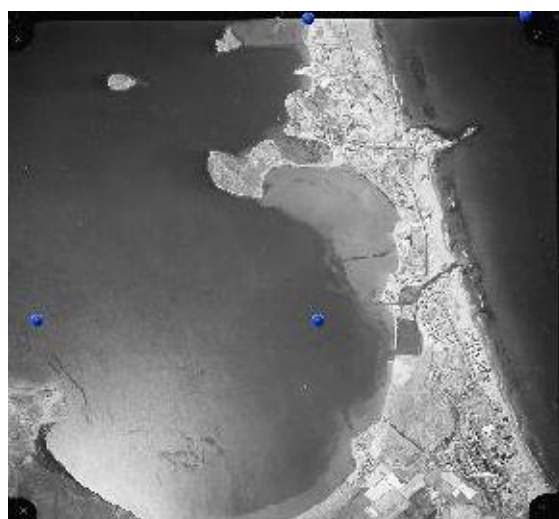
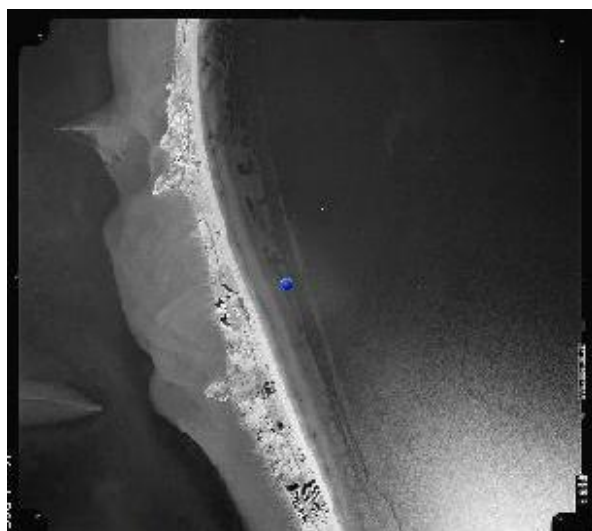
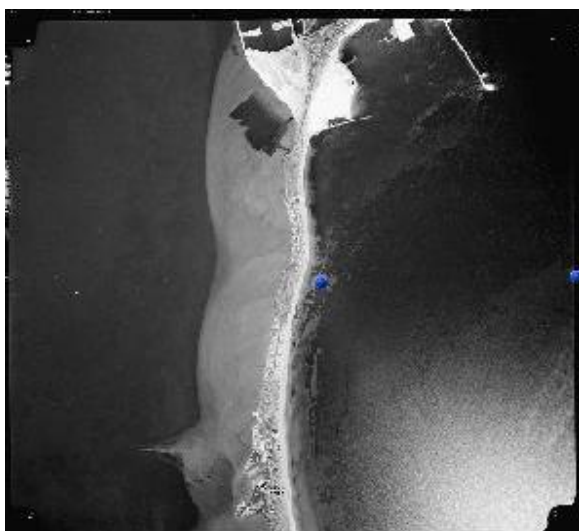
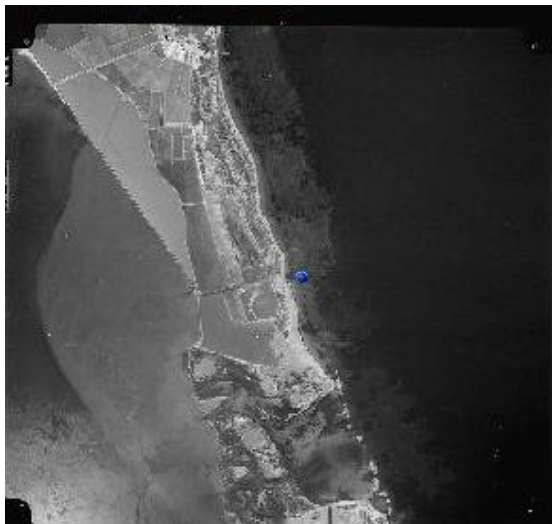


Imágenes 1.22 y 1.23. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN



Imágenes 1.24 , 1.25 y 1.26. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN

-Vuelo 1973-1986. Interministerial.



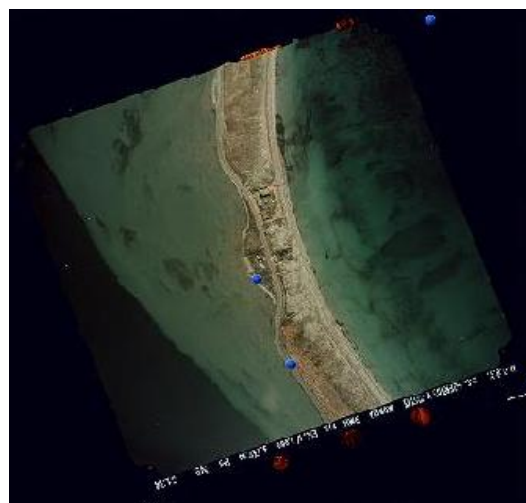
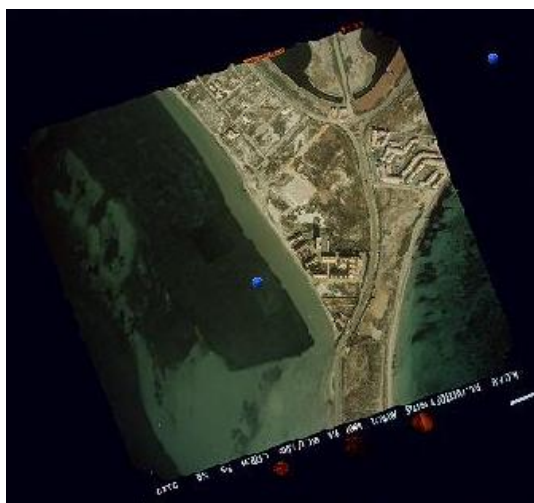
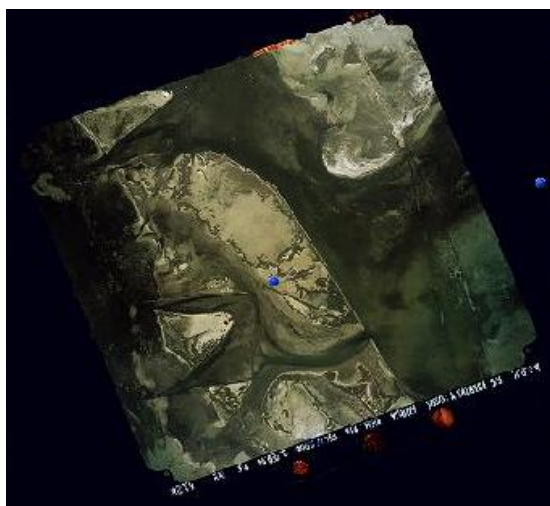
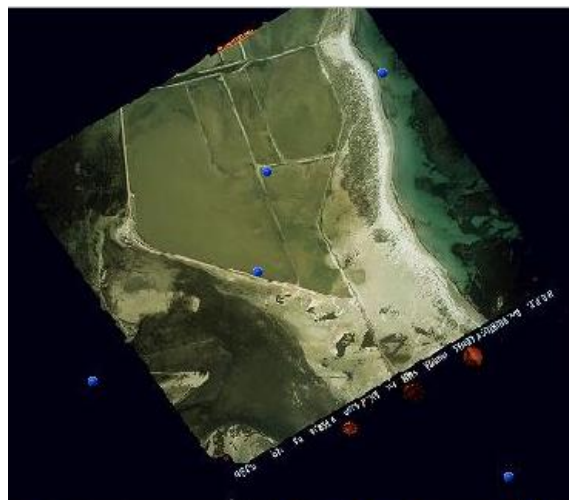
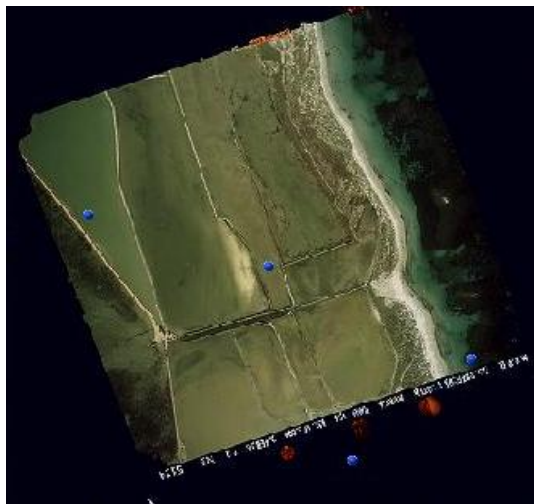
Imágenes 1.27 , 1.28 , 1.29, 1.30 y 1.31. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN

-Vuelo 1980-1986. Nacional.

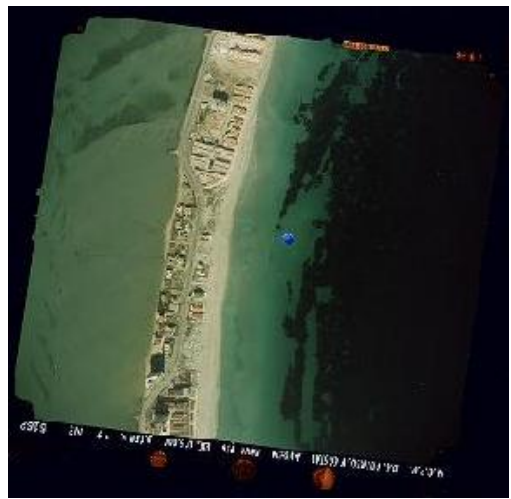
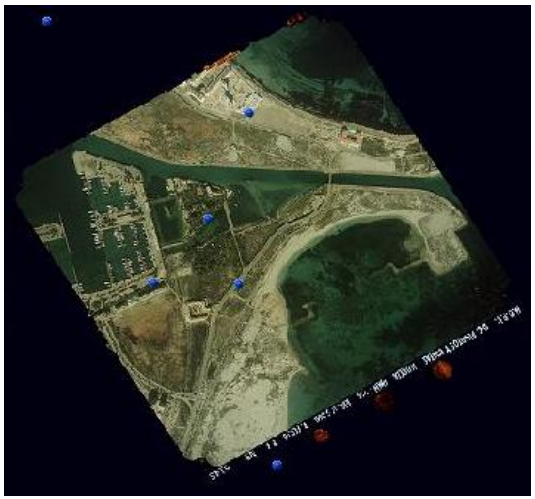
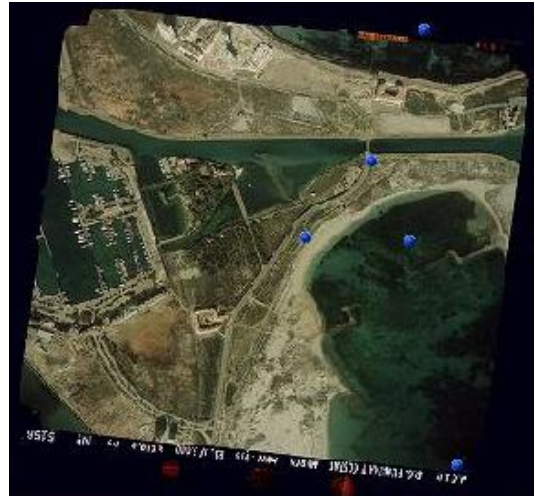
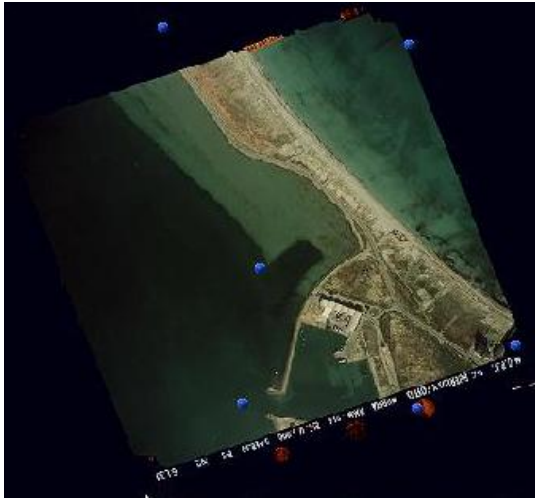


Imágenes 1.32 , 1.33 , 1.34, 1.35 y 1.36. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN

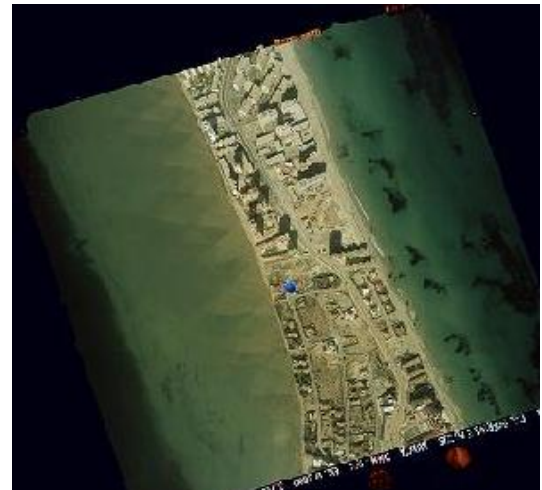
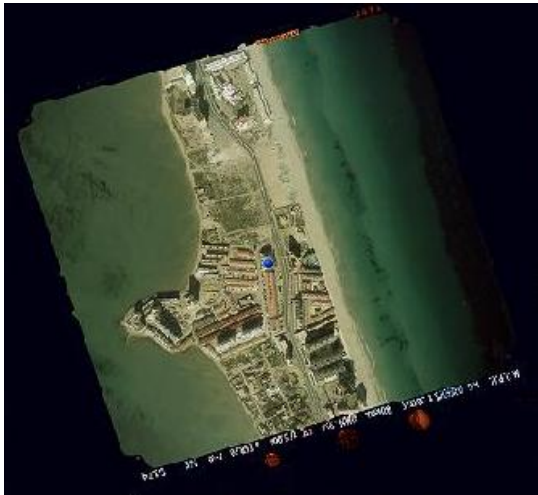
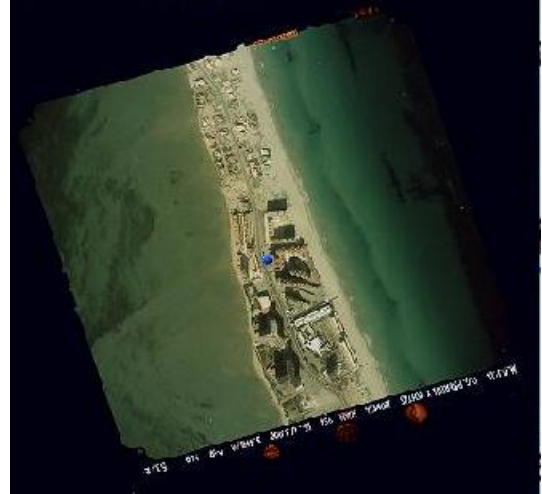
-Vuelo 1989-1991. Costas.



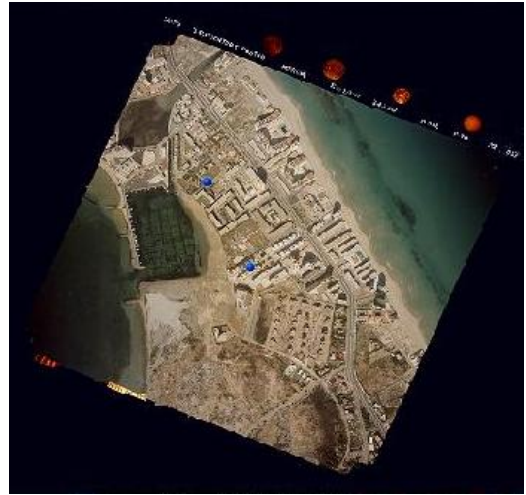
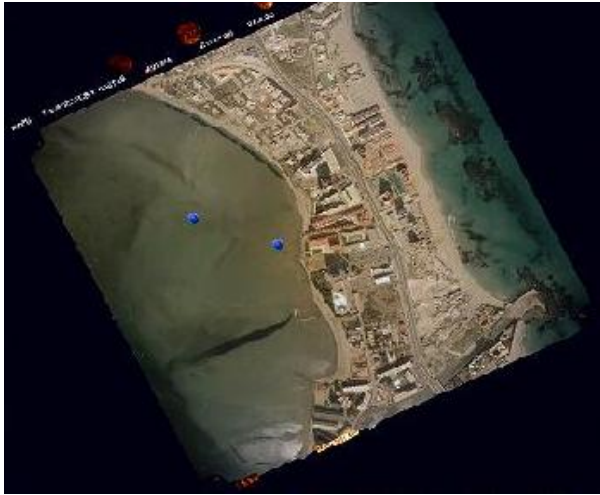
Imágenes 1.37 , 1.38 , 1.39, 1.40 , 1.41 y 1.42. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN



Imágenes 1.43 , 1.44 , 1.45, 1.46 , 1.47 y 1.48. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN



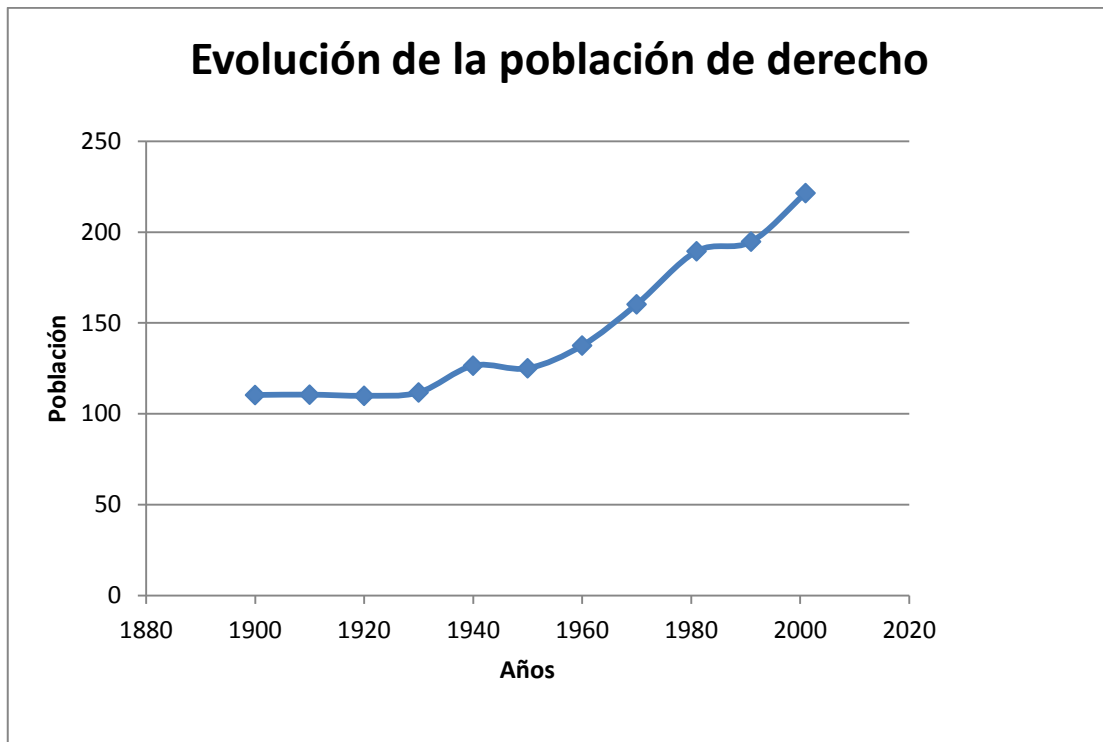
Imágenes 1.49 , 1.50 , 1.51, 1.52 , 1.53 y 1.54. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN



Imágenes 1.55 , 1.56 y 1.57. Cordón litoral 'La Manga del Mar Menor'. Fuente. Fototeca IGN

		1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1981	1991	2001
Cartagena	Población de hecho	99.871	102.542	96.891	102.518	113.468	113.160	123.630	146.904	172.751	173.061	...
	Población de derecho	103.373	102.519	101.613	102.705	115.468	110.979	122.387	143.466	167.936	168.023	184.686
	Hogares	24.831	25.220	23.520	23.635	24.622	32.878	31.241	39.302	46.027	48.885	59.605
San Javier	Población de hecho	4.489	4.941	4.967	5.641	6.889	9.268	10.284	10.500	12.500	15.277	...
	Población de derecho	4.326	4.940	5.026	5.656	6.652	9.008	9.734	10.286	12.675	14.696	20.125
	Hogares	973	1.063	1.043	1.270	1.497	2.440	2.346	2.611	3.247	4.230	6.787
San Pedro del Pinatar	Población de hecho	2.647	3.061	3.259	3.299	4.261	5.006	5.436	6.520	8.959	12.221	...
	Población de derecho	2.637	3.076	3.276	3.380	4.377	5.074	5.449	6.518	8.866	12.057	16.678
	Hogares	558	639	712	808	1.076	1.393	1.372	1.685	2.523	3.438	5.408
Total	Población de hecho	107.007	110.544	105.117	111.458	124.618	127.434	139.350	163.924	194.210	200.559	...
	Población de derecho	110.336	110.535	109.915	111.741	126.497	125.061	137.570	160.270	189.477	194.776	221.489
	Hogares	26.362	26.922	25.275	25.713	27.195	36.711	34.959	43.598	51.797	56.553	71.800

Tabla 1.1. Evolución de la población censada. Fuente. Elaboración propia a partir de datos del INE



Gráfica 1.1 . Gráfica que muestra la evolución de la población de derecho desde 1900 hasta 2001. **Fuente.** Elaboración propia a partir de datos del INE

En vista de las fotografías y de la evolución de la población en las últimas décadas, se observa un gran aumento de la urbanización desde 1956 a 1981, que continúa consolidándose hasta 2001, llegando a límites de saturación urbanística, consecuencia, como ya hemos mencionado otras veces, al turismo masivo incontrolado.

Tipo de construcción empleada

Para hacer referencia al tipo de construcción empleada en La Manga del Mar Menor, hay que tener claro que son construcciones realizadas la gran mayoría a partir de los años 70, con lo cual, no se tenían en cuenta términos de sostenibilidad. Con esto se quiere decir, que estas construcciones son mayoritariamente grandes bloques de hormigón en la parte central y sur

del cordón, creando un efecto muro en paralelo a la costa. Como es sabido, el hormigón tiene un enorme impacto ambiental en su producción, transporte y fin de vida útil.

Analizando más en detalle los tipos de construcciones en La Manga, se puede observar que en la parte norte abundan las casas unifamiliares de planta pequeña, de no más de dos plantas (la mayoría de solo una planta). Bajando hacia el sur van apareciendo construcciones que ocupan más superficie o más altas, es decir, hay una mayor densidad de ocupación en la zona. Son características las construcciones de viviendas adosadas de dos plantas y algunos bloques de pisos de hasta 9 plantas, diseminados por este territorio. Para concluir, la parte más al sur es la que alberga edificios de mayor altura, alcanzando algunos de ellos las 20 plantas. Esto puede conseguirse debido a que esta es la zona volcánica y las características del terreno lo permiten. No obstante, a lo largo de todo el cordón hay varias agrupaciones de viviendas unifamiliares de poca altura.

Otra infraestructura que llama la atención en La Manga, es la Gran Vía, carretera que atraviesa de norte a sur toda la longitud de este cordón. Además, también hay que decir que este cordón de 22 km de longitud, cuenta con más de una decena de puertos y puertos deportivos, entre ellos se encuentran 'Puerto de Tomás Maestre', 'Dársena deportiva Marina de las Salinas', 'Puerto deportivo Mar de Cristal', 'Club náutico Dos Mares', 'Puerto de Cartagena'.

La zona norte de La Manga y este del Mar Menor está ocupada mayoritariamente por arcillas blandas y fangos. Estos suelos tienen una capacidad portante bastante baja, con lo cual es necesario a menudo, recurrir a la ejecución de losas de cimentación, para estructuras de poca carga o con excavación de sótanos, o cimentaciones profundas mediante pilotes que transmiten la carga a estratos profundos que tienen una mayor resistencia, en estructuras de cargas mayores.

Los problemas geotécnicos más habituales de estas zonas son:

- ✓ Niveles freáticos altos o superficiales, para lo cual es necesario recurrir a entibación de excavaciones y medidas de drenaje.
- ✓ Oscilaciones significativas del nivel freático de carácter climatológico y/o antrópico. Dan lugar a infiltraciones o posibles asentamientos asociados a dichas variaciones.
- ✓ Asentamientos de consolidación importantes.
- ✓ Agresividad química del agua freática.
- ✓ Presencia de niveles orgánicos que pueden incrementar la cuantía y duración de los asentamientos.
- ✓ Moderada expansividad

El resto del cordón litoral está ocupado por arenas litorales. Este área, aún siendo de pequeña extensión, tiene gran relevancia en cuanto a la actividad constructiva.

La capacidad portante será baja. Las estructuras de hasta 3 plantas podrán cimentarse, en algunos casos, mediante cimentación superficial (zapatas). En general, para las estructuras que posean más de 3 plantas, deberá recurrirse a la ejecución de losa de cimentación (cargas moderadas) o cimentación profunda mediante pilotaje (cargas elevadas). El nivel freático se encuentra a escasa profundidad, lo cual condiciona, debido a la naturaleza detrítica y suelta de los terrenos, unas condiciones de estabilidad de zanjas o excavaciones deficientes (taludes inestables) y una necesidad de drenaje de las mismas, debido a su elevada permeabilidad, muy importante en caso de cortar dicho nivel freático.

Otros problemas geotécnicos a tener en consideración serán:

- ✓ Agresividad del agua freática.
- ✓ Asientos debidos a la compresibilidad de niveles orgánicos o con abundante materia orgánica.

Barreras de impermeabilización en cordones litorales. Tipología constructiva

Históricamente, las ciudades se han ubicado en la línea de costa debido a que en estas zonas es dónde se producen el transporte de materias, alimentos, tienen beneficios ecológicos...

Debido a ello, multitud de personas han decidido establecerse en estas zonas, ocasionado con ello una fuerte presión en estas tierras, pues, esto ocasiona que se hagan grandes construcciones, en muchos casos, de gran altura, las cuales requieren de cimentaciones profundas, incluyendo con ello excavaciones profundas, pilotaje, pantallas, muros... Para este tipo de construcciones se utilizan bentonita, tablestacas, cajones, mini pilotes, pilotes de acero..., de tal forma que enormes cantidades de suelos naturales son reemplazados por materiales de construcción de baja permeabilidad (impermeables), como es el cemento. Los cimientos de estos edificios se anclan al menos 5 metros por debajo de la cabeza de la roca, que puede llegar a estar unos 50 metros por debajo de la superficie del terreno. Se suelen formar pantallas a lo largo de todo el perímetro del lugar de construcción, para, de esta forma, cortar el flujo de agua. Como consecuencia de ello, una vez finalizada la construcción, el suelo natural queda reemplazado por una caja de hormigón de baja conductividad hidráulica. Con esta práctica, se aprecia cómo la zona con mayor movimiento de agua subterránea queda 'rellena' con materiales de construcción, cambiando con ello los flujos subterráneos existentes (Jiao et al., 2006).

Estudios han demostrado que las cimentaciones profundas pueden causar una reducción de la conductividad hidráulica en 14–20 veces en la zona urbanizada. El cemento es un material que ayuda a reducir la conductividad hidráulica, sirviendo como barrera al movimiento hidráulico (Johnson et al., 1985).

Las zonas urbanas costeras se consideran sistemas bimodales: los medios porosos originales tienen una determinada conductividad hidráulica, y las cimentaciones profundas tienen una baja conductividad hidráulica.

Los resultados de estudios realizados muestran que, bloques de cimentaciones pueden reducir el efecto de la conductividad hidráulica del sistema acuífero en un 70% cuando el porcentaje de cimentación es del 35%. En cambio, cuando el porcentaje de cimentación es alrededor del 15%, el nivel de agua llega a aumentar de manera significativa. Sin embargo, dentro de la zona urbana, en especial cerca de la costa, el nivel del agua puede decrecer si los bloques de cimentación se combinan con pantallas, que se comportan como presas, reduciendo de esta forma el flujo subterráneo de agua hacia el mar. Cuando el porcentaje de cimentaciones alcanza el 35%, más de la mitad de las aguas subterráneas se convierten en filtraciones.

También es responsable de estos flujos subterráneos el bombeo de agua de los acuíferos cercanos a estas zonas, ocasionando la conocida 'intrusión marina'.

Las cimentaciones profundas en general pueden ocasionar graves problemas en las zonas costeras. Debido a ellas, algunas de estas aguas subterráneas pueden convertirse en aguas superficiales, uniéndose a las lluvias y aumentando con ello la probabilidad de inundaciones costeras.

Para el estudio de los flujos subterráneos se han de tener en cuenta bastantes factores, como son: tipo de suelo existente, cimentaciones profundas realizadas, así como el alcance de las mismas (profundidad), fugas de corriente, reducción de precipitaciones, reducción de la infiltración debido a la existencia de superficies impermeables...

Impacto sobre los flujos subterráneos de cimentaciones profundas en cordones litorales

En el trabajo de la alumna Beatriz Sierra Ruiz, se evalúan los efectos que las cimentaciones profundas tienen en cordones litorales. En los resultados mostrados, se observa que tanto los niveles piezométricos como los flujos, son afectados por la presencia de pilotes. En este trabajo se estudió el efecto por separado de 1, 2 y 4 pilotes, y los resultados obtenidos demuestran que la afección es más significativa en la configuración de los 4 pilotes en todos los momentos de tiempo analizados.

Estas variaciones ocasionadas por las cimentaciones profundas, pueden suponer una alteración en la funcionalidad ambiental del cordón, dada la influencia de la variabilidad del nivel freático en el estado oxidativo y la composición biogeoquímica del sustrato (Ursino et al. (2004), Li et al. (2005) y Silvestri y Marani (2004)), y su impacto en la distribución espacial de las comunidades biológicas que albergan.

También estas cimentaciones profundas afectan a la reducción del caudal por unidad de longitud del cordón (Q/L). La reducción en este estudio de Beatriz, muestra que se da una reducción asimétrica a través de la sección, lo cual puede inducir a un caudal residual medio adicional hacia mar abierto. Además de la importancia de este caudal residual en la funcionalidad ambiental del cordón litoral, su existencia también es relevante por su posible contribución en procesos de transporte de contaminantes procedentes de aguas residuales en zonas urbanizadas del cordón, pudiendo contribuir a la contaminación de las masas de agua próximas, tanto superficiales como subterráneas.

1.5 OBJETIVO DEL TRABAJO

Este trabajo tiene como objetivo construir una serie de mapas de vulnerabilidad en los que queden bien identificadas las zonas afectadas a lo largo de los distintos cordones litorales estudiados, es decir, aquellas zonas en las que las construcciones de cimentaciones profundas pueden estar interfiriendo de manera significativa en la dinámica natural de los flujos subterráneos en las mismas.

En particular, los casos de estudio que se van a mostrar a lo largo del trabajo son:

- ✓ Cordón litoral de La Manga del Mar Menor.
- ✓ Cordón litoral de Nador, Mar Chica.
- ✓ Cape Cod.

A continuación mostraremos un mapa con la localización de estos cordones.

Localización de cordones



Imagen 1.58. Mapa de localización de los cordones litorales de estudio. Fuente. Elaboración propia

1.6 METODOLOGÍA

La metodología seguida en el presente trabajo se basa principalmente en estudios realizados con anterioridad sobre cordones litorales. Los trabajos consultados para este estudio corresponden a otros alumnos de la universidad de Granada, además de artículos y libros científicos relacionados con la materia, como son:

- ✓ Análisis de la ordenación del territorio de los cordones litorales del Mar Menor y de Nador. Análisis de las técnicas constructivas sostenibles. Autor: Alberto Mendoza Nogueira.
- ✓ Evaluación de impacto y funcionalidad ambiental del cordón litoral en lagunas litorales. Dos casos de estudio: Lagunas de Nador y del Mar Menor. Autora: Isabel Jalón Rojas.
- ✓ Desarrollo urbanístico y dinámica de las aguas subterráneas a través de cordones litorales: Implicaciones ecológicas y para la calidad de las aguas. Autora: Beatriz Sierra Ruiz.
- ✓ Physics and Chemistry of the Earth. Autores: A. Pérez-Ruzafa, C. Marcos, I.M. Pérez-Ruzafa.
- ✓ Coastal Processes with engineering applications. Autores: Robert G. Dean, Robert A. Dalrymple.
- ✓ Estudio Geoambiental del Mar Menor. Autor: Víctor Díaz del Río.

1.7 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

El presente proyecto se va organizar de la siguiente forma. En primer lugar se hará una pequeña introducción dando a conocer los aspectos más significativos a tener en cuenta en cordones litorales, esta información se recogerá en un primer capítulo introductorio. Seguidamente, se abordará la metodología seguida para la realización del estudio llevado a cabo. Esta metodología, concretamente, explicará los pasos seguidos en cada uno de los cálculos, datos necesarios para los mismos, programas informáticos utilizados en los cálculos/estudio... Posteriormente, se presentarán los resultados obtenidos para los distintos cordones estudiados en las distintas regiones, así como un breve comentario de los resultados obtenidos. Seguidamente habrá un capítulo completo de estudio de los resultados de cada uno de los cordones litorales, además de una comparativa entre ellos, explicando las diferencias encontradas, al igual que las similitudes. El último capítulo estará dedicado a las referencias bibliográficas utilizadas para la documentación del presente proyecto, como son páginas webs consultadas, proyectos fin de carrera de otros alumnos, textos científicos relacionados...

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio de los diferentes procesos hidrológicos en el entorno de humedales se utilizan modelos numéricos. El desarrollo de estos modelos hidrológicos en estos ecosistemas, resulta bastante complicado debido principalmente a la variabilidad existente entre los humedales, la aplicación de metodologías de modelado diferentes y las distintas contradicciones en el enfoque de los intentos de modelado (Montalto et al. ,2007).

Para el análisis de acuíferos costeros, los modelos unidimensionales basados en la Ecuación de Boussinesq, son los más utilizados. Además, con ellos se puede predecir en cierto modo las fluctuaciones del nivel freático. Parlange et al. (1984), Nielsen (1990), Barry et al. (1996), Li et al. (2002), Li et al. (2000a), Li et al. (2000b), y Li & Jiao (2003), han hecho uso de esta ecuación para modelar la posición transitoria del nivel freático en acuíferos poco profundos en contacto con embalses oscilantes de forma sinusoidal. Por otro lado, Jeng et al. (2005), desarrolla una solución analítica de la ecuación de Boussinesq para tratar cómo las mareas vivas y muertas inducen fluctuaciones en un acuífero costero en pendiente.

Montalto et al. (2007), desarrollan un modelo sencillo de análisis de agua subterránea, utilizando datos de la marisma salobre de Piermont (Rockland Co., Nueva York), para discutir su validez. El modelo, teniendo en cuenta una serie de aportaciones físicas y dependientes del tiempo, predice la posición del nivel freático en puntos a lo largo de un trayecto perpendicular a dos caños de marea, utilizando para ello la ecuación de Boussinesq. Este modelo se utiliza para estudiar la sensibilidad de las combinaciones de parámetros de entrada y refuerza la validación de modelos hidrológicos en el entorno de humedales costeros, pues emplea un conjunto mucho más grande de observaciones, las cuales son recogidas en un espacio de tiempo mucho más reducido.

Este modelo es también muy interesante por su consistencia teórica (modelos de Harvey et al. , 1987 ; Nuttle, 1988), y la calidad de su validación, que ayuda a entender mejor los patrones que siguen estos sistemas acuáticos y a comparar las consecuencias ecohidrológicas en diferentes escenarios de restauración o gestión de un humedal.

A partir de lo expuesto y de las hipótesis que se expondrán a continuación, la ecuación de Boussinesq puede escribirse como:

$$S_y \frac{\partial d}{\partial t} = w + T_r \frac{\partial^2 d}{\partial x^2} \quad [ec.1]$$

donde:

S_y es el rendimiento específico del acuífero $[L^3/L^3]$

t es el tiempo $[T]$

d es la variación del nivel freático $[L]$

T_r es la transmisividad del acuífero $[L^2/T]$

x es la coordenada perpendicular al cordón litoral $[L]$

w es la acumulación neta debida a la lluvia $[L/T]$

Hipótesis:

- ✓ Puesto que las distancias horizontales son mucho mayores que las profundidades del cordón, las hipótesis de Dupuit¹ son válidas y por tanto, el flujo puede ser modelado en una dimensión perpendicular a la orilla de la laguna y del mar.
- ✓ Los cambios en la profundidad del nivel freático son mucho más pequeños que la profundidad total de las aguas subterráneas, por lo tanto se puede hacer uso de la Teoría Lineal.
- ✓ Los forzamientos se consideran iguales a ambas orillas del cordón litoral, por lo que la solución será simétrica del punto medio ($W/2$) de una sección transversal.
- ✓ Las propiedades del suelo a lo largo de una sección transversal en la que exista flujo serán constantes.
- ✓ Los flujos netos de precipitación y evapotranspiración varían temporalmente pero se considera variación espacial a lo largo del cordón litoral.

(¹Nota. Hipótesis de Dupuit de flujo no confinado.

- Para pequeñas inclinaciones de la línea de filtración, las líneas de corriente se pueden tomar como horizontal, (líneas equipotenciales se aproximan a la vertical).
- El gradiente hidráulico es igual a la inclinación de la superficie libre y es invariante con la velocidad.)

La solución a esta ecuación proporciona la elevación del nivel freático $d(x, t)$ en el tiempo y en el espacio. La ecuación es similar a la formulación clásica, unidimensional y lineal de la ecuación de flujo de calor. Para la resolución de la Ecuación de Boussinesq directamente, se necesita encontrar una solución que cumpla las siguientes condiciones:

-Condiciones de contorno

$$d(x = 0, t) = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \cos(w_i t - \alpha_i) \quad [ec.2]$$

$$\frac{\partial d(x = \frac{W}{2}, t)}{\partial x} = 0 \quad [ec.3]$$

-Condición inicial

$$d(x, t = 0) = f(x) \quad [ec.4]$$

El nivel de agua en el punto de contacto del mar con el terreno, es usado como condición de contorno del nivel freático en el punto $x=0$, para evitar la dificultad del modelado de los fenómenos de filtración en la pared de un sustrato. La ecuación [ec.2] es la condición de contorno periódica en el contacto del mar con el terreno debido a las mareas y oleaje representadas como serie de Fourier, donde A_i , w_i y α_i representan la amplitud, velocidad angular y ángulo de fase, respectivamente. La ecuación [ec.3] representa la condición de 'no flujo' en el punto medio del cordón ya que, debido a la simetría, el nivel freático en dicho punto será igual tanto por la derecha como por la izquierda, por lo que no existe variación a lo largo de x . La función $f(x)$ de la ecuación [ec.4] describe el perfil inicial de nivel freático, definido como el perfil de agua observado en el cordón inmediatamente después de la inundación tras una marea de inundación.

2.2. METODOLOGÍA PARA ZONIFICACIÓN DE BARRERAS LITORALES

- INTRODUCCIÓN

Para la zonificación de barreras litorales en primer lugar, se ha tomado una cartografía de la zona, posteriormente, haciendo uso de un programa SIG, se discretizado la zona en tramos de 30 en 30 metros, (en nuestro caso, con esta distancia entre secciones se ha considerado que los datos obtenidos son suficientes). Una vez discretizados los tramos, se procede a la realización de las medidas en los puntos medios entre cada tramo, tanto de costa a costa (lo que viene a ser la anchura del cordón litoral), como el límite dónde comienza la urbanización con el límite de la costa.

Todas las medidas tomadas se van ordenando por rangos. Éstos rangos se calculan teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de las medidas correspondientes, además de los rangos aproximados que se quieren representar en las distintas gráficas.

Una vez se finalizar la clasificación en rangos, se procede a dibujar las gráficas finales, en las que el eje X tomará los valores de los distintos rangos asignados, y el eje Y tomará los valores de $n^\circ \text{tramos} / n^\circ \text{total_tramos}$. También se harán gráficas representando los valores acumulados.

Parámetro lamda [λ_{gw}]. Metodología

Para el cálculo del parámetro lamda, el cual aporta información respecto a la influencia de los flujos a través del cordón litoral, se parte de los siguientes parámetros:

- w = anchura del cordón (width).
- $w_s = w/2$ = semi-anchura del cordón (semi-width).
- L_{uc} = distancia urbanización-costa.
- λ_{gw} = escala de atenuación de flujos subterráneos (ground water-attenuation lengthsrale)

A partir de ellos y de la siguiente expresión, se obtienen los valores de λ :

$$\lambda_{gw} = \left(\frac{\tau_i T}{\pi S_y} \right)^{1/2}$$

dónde:

- τ_i , puede tomar valores de 12.45 horas, diarios de 24 horas, temporales de 24 horas, 1.5 días, 3.5 días...

- T , es la transmisividad (transmissivity), una propiedad hidrogeológica, con unidades de $[m^2/día]$.

- S_y , (specifyield), es un parámetro adimensional.

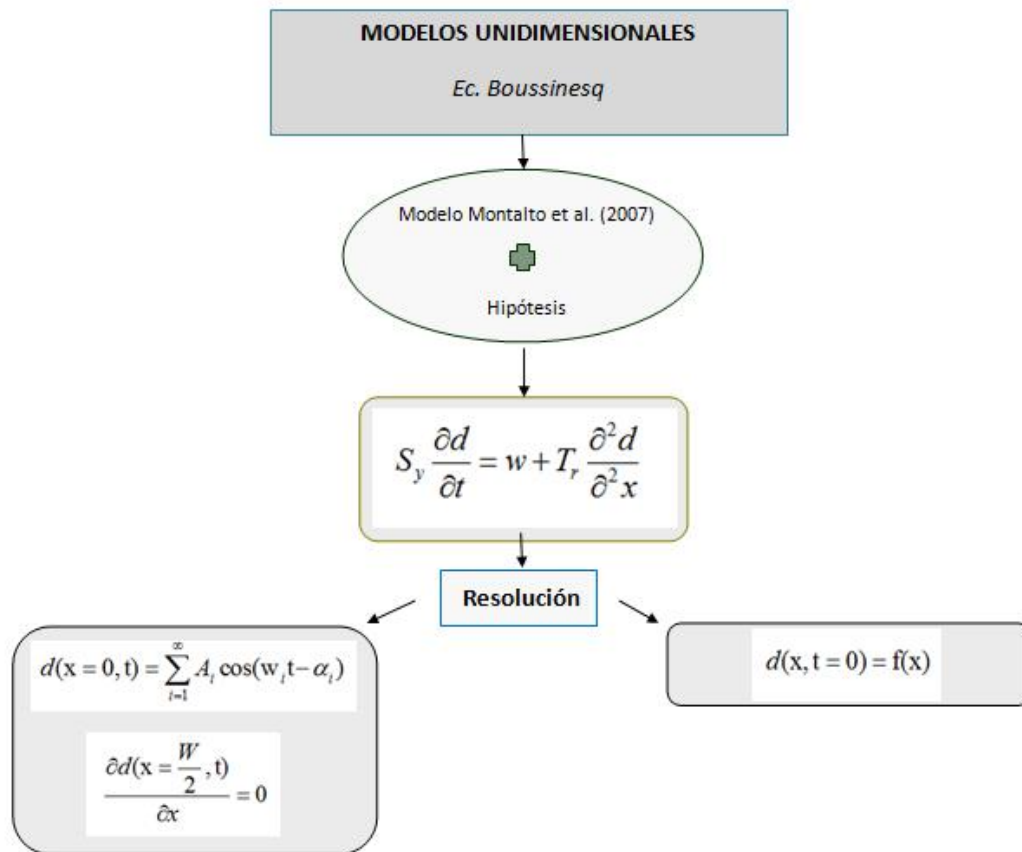
Para poder llevar a cabo la operación, hacemos uso de valores de la inversa de $\frac{T}{S_y}$, es decir, de $\frac{S_y}{T}$: $2.1 \cdot 10^{-3} [m^2/día]$, $5.25 \cdot 10^{-4} [m^2/día]$, $2.6 \cdot 10^{-4} [m^2/día]$.

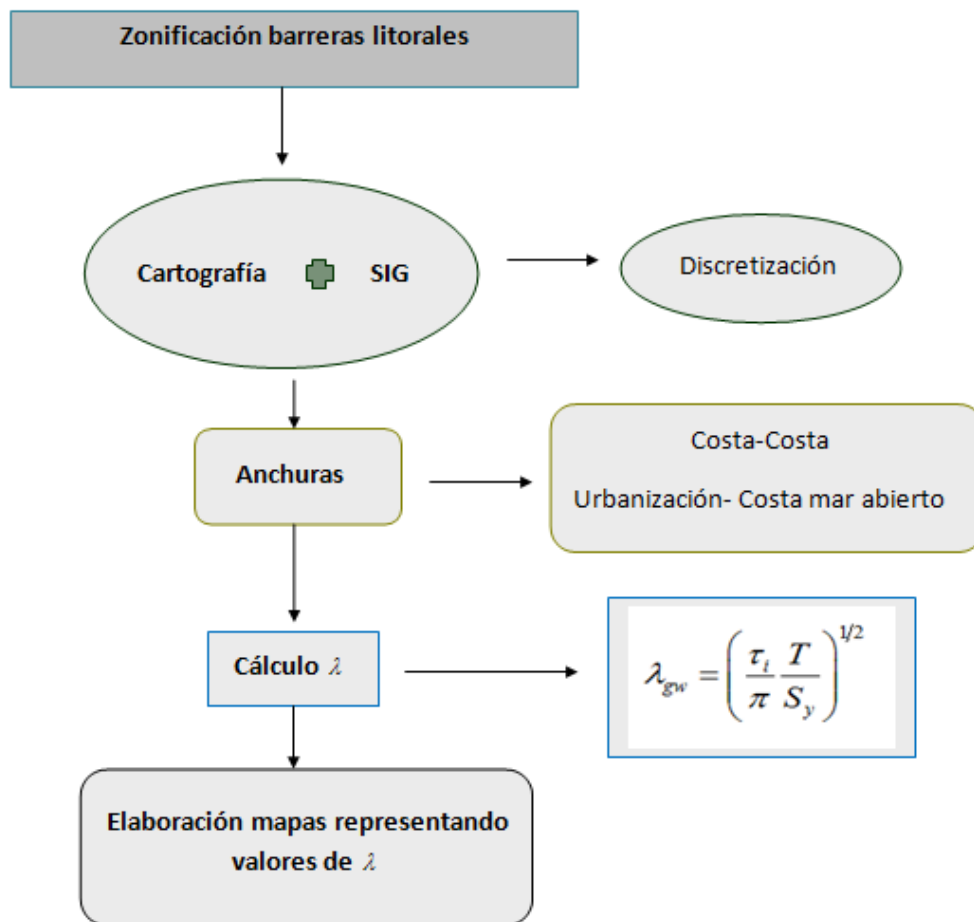
Elaboración de mapas con valores lamda [λ_{gw}]. Metodología

Para la elaboración de los mapas dónde estarán representados los valores de λ_{gw} más representativos, se toma la misma cartografía de la zona utilizada en la discretización de los tramos, y de manera perpendicular a la costa del mar abierto, se van tomando las medidas de los distintos valores obtenidos para λ_{gw} .

El objetivo de la elaboración de estos mapas es observar el alcance que tiene el flujo de mar abierto, atravesando el cordón litoral, teniendo en cuenta la influencia de las cimentaciones existentes en el mismo. En la elaboración de estos mapas también se tiene en cuenta la altura de los edificios, (< 7 plantas ; >7 plantas).

Esquemas ilustrativos





CAPÍTULO III. CASO DE ESTUDIO: CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR

3.1. INTRODUCCIÓN

-DESCRIPCIÓN GEOGRÁFICA DEL MAR MENOR

La laguna litoral del Mar Menor es una laguna salada del Mar Mediterráneo, situada en la región de Murcia, al sureste de la Península Ibérica, de coordenadas geográficas: 37° 43'8 N - 0° 47'14 O. Baña los municipios de San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares y Cartagena.

Se enmarca en la comarca natural del Campo del Mar Menor, también llamada usualmente Campo de Cartagena. La orografía de esta zona se caracteriza por estar constituida por una llanura que abarca la mayoría de los terrenos del Campo, rodeada al sur por las serranías de Portman, Cartagena y La Muela, y al Oeste por la Sierra de Carrascoy, lugar donde se encuentra el Cabezo Gordo (321m), hasta llegar a la laguna litoral del Mar Menor. Posee una superficie aproximada de 256 km², englobando en ellos los municipios citados anteriormente (San Pedro del Pinatar, San Javier, Los Alcázares y Cartagena), junto con: Torre-Pacheco, La Unión y Fuente Álamo.

La mayor parte del área del Campo de Cartagena está ocupada por el Mar Menor, el cual se encuentra separado del Mar Mediterráneo por medio de una franja arenosa de aproximadamente 22km de longitud y de entre 100-1200m (Matas Gordas-Salinas de Cotorrillo) de anchura, denominada La Manga del Mar Menor, de coordenadas geográficas: 37°45'0 N y 0°46'0 O. Este cordón litoral únicamente se interrumpe en tres puntos a lo largo de su longitud, dando lugar a las llamadas golas, (puntos de comunicación de agua entre Mar Menor y Mar Mediterráneo). Los nombres de las citadas golas son, de norte a sur: Gola de las Encañizadas, (esta zona incluye tres pequeñas goletas intercomunicadas que reciben diversos nombres: Gola del Ventorrillo, Gola de la Torre y Encañizada Nueva o El Charco), Gola del Estacio y la Gola de Marchamalo. El cordón pertenece a municipios distintos, la parte sur corresponde a Cartagena, hasta Calnegre y Monte Blanco, la parte central a San Javier, y la parte más al norte a San Pedro del Pintar, correspondiente a la zona protegida de las salinas.



Imagen 3.1. Localización de las golas en el cordón litoral de La Manga. Fuente: Elaboración propia.

-DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL MAR MENOR

La laguna del Mar Menor es la albufera de mayor extensión de Europa, con aproximadamente 135 km² de superficie. Tiene forma semi-elíptica, con un eje mayor de 22 km de longitud, orientado de N-S, y una anchura máxima de 11 km, en dirección perpendicular. Posee un perímetro total de costa de 73 km. La profundidad media de sus aguas está en 3.6 m, aunque la mayoría de los fondos están comprendidos entre los 5 y 6 metros de profundidad, (el 56% de la superficie total). También encontramos una profundidad máxima de 7.2 m en el extremo septentrional de la isla interior del Barón.

En el interior del Mar Menor se encuentran distribuidas una serie de islas de origen volcánico que, en orden decreciente de tamaño, son: Mayor o del Barón, Perdiguera, Ciervo (la cual constituye ya una península), Sujeto y Rondella o Redonda. En el exterior de la laguna encontramos la Isla Grosa y las Islas Hormigas, cercanas al Cabo de Palos.



Imagen 3.2. Localización de las islas de La Manga. **Fuente.** Elaboración propia.

La barrera de cierre que separa el Mar Menor del Mar Mediterráneo, es una barrera arenosa de 22km de longitud y de origen detrítico-volcánico del Mioceno superior Cuaternario. Este cordón arenoso se extiende desde el Cabo de Palos, situado al sur, hacia el norte, hasta llegar a las costas acantiladas que empiezan a elevarse al norte del Mojó, en el municipio valenciano de Torre de la Horadada. Este cordón consta de tres aberturas o discontinuidades, que permiten la comunicación de aguas entre los mares citados anteriormente, (Mar Menor - Mar Mediterráneo). Dichas discontinuidades son llamadas golas, que en nuestra zona de estudio, reciben el nombre de: Las Encañizadas, El Marchamalo y El Estacio. A día de hoy, todas las golas de La Manga del Mar Menor han sido alteradas por el hombre en mayor o menor medida, llegando incluso, la gola de Marchamalo, a ser totalmente artificial.

Las golas de El Ventorrillo, La Torre y El Charco situadas al norte, también llamadas Gola (o goletas) de las Encañizadas, provienen de antiguas goletas que fueron agrandadas y estabilizadas tras el cierre de la antigua Gola Mayor, la cual era el principal intercambio hidrológico entre la laguna y el mar abierto. Dicha gola se encontraba cerca de la actual situación de la Gola del Estacio, la cual se abrió en el S.XIX aprovechando una antigua charca existente.

La orografía del Campo de Cartagena se caracteriza por estar constituida por una llanura que se eleva hacia el oeste, hacia la Sierra de Carrascoy, donde destaca el Cabezo Gordo con

312 m de altitud, y va descendiendo al este, en dirección hacia el Mar Menor. También nos encontramos en las inmediaciones del Mar Menor las islas volcánicas, la mayor de ellas la Isla Mayor o del Barón, con 104 m de altitud, y en las inmediaciones de la zona costera El Carmolí, monte volcánico de 113 m situado cerca de Los Urrutias.

Las escasas lluvias tenidas lugar en esta zona de clima semiárido, son recogidas en numerosos torrentes temporales que mueren en diversas ramblas repartidas a lo largo de todo el tramo litoral.



Imagen 3.3. Cabezó Gordo. Mar Menor. Fuente. Elaboración propia.

3.2. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS DEL MAR MENOR

GEOMORFOLOGÍA DEL CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR

Una de las variables más importantes en los ciclos de erosión y deformación de la cuenca sedimentaria del Campo del Mar Menor, es la variación eustática del Mediterráneo, es decir, la variación del nivel del mar respecto del continente.

En las partes bajas de la laguna nos podemos encontrar materiales aluviales, los cuales son depositados en el período húmedo por la acción del viento. Estas zonas también se caracterizan por su aridez, la cual se ve aumentada por la salinización aérea. El Mar Menor presenta una costa interior establecida sobre margas y limos rojos, que, a su vez, descansan frecuentemente sobre una costra caliza.

Centrándonos en sus costas, la norte presenta un carácter menos marino que la sur, debido principalmente a las menores pendientes que se dan en ella. La costa sur, al poseer los sistemas

montañosos más característicos de la zona, como son las Sierras de Cartagena, consta de mayores pendientes y profundidades, apareciendo con frecuencia la ribera recortada en bisel sobre la coraza caliza. Por el contrario, los sectores centro y norte presentan una coraza arenosa a cierta profundidad.

También se puede comentar que debido a las mayores pendientes que presenta, el sector sur posee estructuras abarrancadas por cauces. Es por ello, es decir, por la erosión de estos barrancos, por los que este sector tiene materiales arenosos formando sus playas y recubriendo la costra caliza.

La morfología ribereña está influenciada por el flujo casi nulo de la marea, y la subida de nivel por los vientos de Levante, así como por los aportes continentales. Actualmente se tiene una deposición bastante reducida de sedimentos, una comunicación escasa entre Mar Menor y Mar Mediterráneo y cierto aislamiento de lagunas secundarias, llegando a convertirse estas últimas en salinas.

Centrándonos en la Manga, ésta se presenta como un sobrepuesto somero arenoso determinado por el impulso del oleaje y los aportes de las corrientes sobre un sustrato de litología diversa.

Su paisaje, aunque aparentemente parezca monótono, consta de muy variadas formas de acumulación y constituyen, en parte, la modificación del contorno costero visible en superficie.

Las condiciones físico- geográficas están determinadas por el régimen hidrodinámico y por los aportes sedimentarios. Las condiciones de depósito están limitadas por la inclinación del talud continental, el cual está establecido sobre litologías de relativa resistencia (calcoarenita, material volcánico...). Estas condiciones de depósito son casi siempre ejercidas por corrientes no saturadas incapaces de movilizar, hasta el extremo de depositar en la playa los sedimentos de la fuente situados bajo el talud. Como puede intuirse, predominarán las formas de acumulación regresiva y la dispersión de sedimentos.

En general, las formas de acumulación resultan directamente de la acción del oleaje, que arrastra los sedimentos de fondo que llegan a la playa, aunque este proceso predominante, puede ser perfectamente compatible en diversos puntos con el desplazamiento longitudinal producido por las olas oblicuas y las corrientes.

El transporte longitudinal y el transversal a lo ancho del talud sumergido, puede llegar a simultanearse, ello dependiendo del límite de acción de cada uno de los parámetros de las olas en esos procesos, además de los sedimentos, variaciones litológicas, así como de la distribución paleomorfológica de los sectores de plataforma sumergida.

En los sectores más articulados de la restinga, el desplazamiento transversal de los sedimentos es el más activo, por el contrario, en los sectores menos articulados, el principal transporte es el longitudinal.

En casi toda su longitud, el sobreimpuesto arenoso de La Manga recubre un umbral mioceno a nivel del mar y hasta la altura de 5 metros, cuando se forman estructuras dunares. Las discontinuidades en la litología infrayacente a las arenas son:

- ✓ Aparato volcánico del Calnegre. Punto de apoyo de una costa de restinga, también cubierto por arenas impulsadas por el viento hasta su cima. Origen anterior al cordón que forma La Manga, compuesto de andesitas hipersténicas.
- ✓ Fracturas transversales a la línea de costa entallados en la calcarenita miocena, endurecida al contacto con el agua marina y flanqueados por escollos de la misma formación, sobre los que se conservan restos de playa cuaternaria y a través de los cuales se comunican las aguas lagunares con el mar o vivversa. Estas fracturas son también las llamadas 'golas'.
- ✓ Playa de las Amoladeras. Lugar donde se presenta un nivel de limos rojos cuaternarios.

La caracterización geomorfológica del cordón litoral, la vamos a hacer por partes, pues así se puede ser más preciso y no incurrir en errores, pues no todo el cordón presenta las mismas características. Las partes a considerar son, de norte a sur: 'Sector de las Salinas de San Pedro', 'Sector de las Encañizadas', 'Sector del Estacio' y 'Sector al sur de Punta Seca'.

-Sector de las Salinas de San Pedro.

El sustrato está constituido a nivel del mar por una calcoarenita miocena que sirve también de base a las salinas, siendo el perfil transversal del relleno arenoso reciente, con acumulación de materiales de playa y después dunas a partir de las arenas de la alta playa. Ésta es la forma tipo que separa la laguna del Mediterráneo.

Como afloramiento del sustrato mioceno, desde Punta de Algas, se extiende paralelamente a la costa una 'restinga de piedras' ahogadas y bajos de arena conocidos por el nombre de 'Los Punchosos', que abren hasta 300 metros de la playa y se extienden hasta unirse con los Escolletes (situados entre Isla Grossa y el Estacio) que, similares a los anteriores, terminan en el fondeadero de San Pedro del Pinatar.



Imagen 3.4. Zona Los Puchosos. Fuente. Google imágenes.

El sentido de la deriva litoral, de acuerdo con la rosa de los vientos y con la topografía inmersa, así como con la procedencia de los sedimentos acumulables, procedentes del sector exorreico situado al norte del Mar Menor, es de Norte a Sur y presenta un buen ejemplo de acumulación arenosa reciente en el flanco Norte del Puerto de San Pedro.

El Puerto de San Pedro corta el sentido de la deriva litoral, haciendo con ello que los sedimentos finos formen barras arenosas paralelas a la costa.

- Sector de las Encañizadas.

La base estructural, al igual que en los otros sectores considerados, está constituida por una serie de apuntamientos de calcoarenita finimiocena, que en esta zona, de manera discontinua aflora en escollos entre Punta de Algas y Punta del Pudrimiel.

Hay que añadir que este sector queda alejado del foco de sedimentos capaz de formar estructuras estables, por lo que la deriva litoral no consigue el enlace entre los diversos afloramientos de escollos, sujetos a la acción alternante de trasvase de agua marino-lagunar o lagunar-marina. Los escollos (bloques fracturados), de acuerdo con la acción erosiva principal, se presentan alargados, mostrando su dimensión mayor paralela a la costa.

Formas mixtas lagunares marinas se presentan en este lugar consideradas como deltas subacuáticos hacia dentro de las golas. Bajo la acción de las olas casi normales a la costa, los

materiales lagunares, divergen y forman unos depósitos semejantes en sus flancos y siempre en función de la rosa de los vientos.

Los escollos objeto de la acción del oleaje y con dimensiones reducidas, forman tras ellos en los lugares protegidos de las olas marinas unos depósitos estrechos alimentados por ambos lados. Se establece entonces una acumulación lagunar marina en forma de isla triangular.

En ocasiones se establece un cordón que progresa hacia fuera, de acuerdo con el oleaje lagunar de viento de Poniente, mientras que a partir de otro escollo cercano, pero más hacia el mar, la acción del oleaje principal establece dos cordones laterales en forma de ángulo agudo con vértice dirigido hacia el viento dominante, que es el del noreste, y con bisectriz constituida por el anterior cordón.

Como se puede apreciar, estamos en presencia de una formación tombólica triple entre escollos enfrentados. Entre el cordón central, generalmente recto y los laterales funcionales, quedan sendas charcas.

En ocasiones, el sistema de olas lagunar secundario, de acuerdo con el sustrato, da lugar a formas de acumulación superiores incluso a las del sistema principal (de acuerdo también con la menor profundidad y mayor disponibilidad de sedimentos). Entre ambos cordones, lagunar y marino, suelen establecerse las salinas. El tipo de sedimentos de origen lagunar de este sector es el fango arenoso.

Esta parte meridional de las Salinas de San Pedro es la última zona del cordón de La Manga que se mantiene con una baja influencia antrópica, apareciendo a partir de aquí hacia el sur una morfología profundamente alterada por la presencia de estructuras marítimas y de urbanizaciones que ocupan todo el ancho del cordón en la mayor parte de su longitud.

Tal es el caso de la llamada Veneziola una urbanización con una serie de canalizaciones que se han realizado en la parte norte de la Punta de Pudrimel, si bien en esta zona la ocupación del suelo no es demasiado intensa, esta irá aumentando conforme se avance al sur.

Se aprecia que las playas que son bañadas por el Mar Mediterráneo en esta zona se encuentran en un estado natural. Se distinguen dos zonas de playas:

- ✓ Una playa rectilínea situada en la zona más al norte orientada en dicha dirección y formada gracias a los sedimentos que aporta la gola de Las Encañizadas y los transportados por el oleaje que han sido erosionados en estructuras más al norte y que son depositados gracias a la pérdida de energía del oleaje que se da por la protección que tiene este tramo de costa gracias a los diversos escollos.
- ✓ El otro tramo de playas es el que está orientado hacia el noreste, formado gracias a la sedimentación por pérdida de energía de las olas al encontrarse con

pequeños “puntos duros” que actúan como focos de refracción y tiene como resultado la formación de playas en forma de pequeñas bahías confinando los sedimentos entre los citados “puntos duros” .

Por otro lado, en la zona bañada por el Mar Menor, se pueden distinguir dos tramos de playas que han seguido una génesis de formación muy parecida. Caracterizados por un oleaje poco activo, se han formado apoyándose en dos estructuras distintas, el tramo norte en una zona estable de la gola de Las Encañizadas y el tramo situado más al sur apoyándose en la embocadura de la llamada Encañizada Nueva, a modo de espigón. La acumulación de arena se ha realizado en dirección paralela al oleaje llegando a alcanzarse una costa aproximadamente paralela al frente de ondas y siendo prácticamente nula la acumulación de sedimentos en tramos de costa en los que su orientación gira más hacia el este.

-Sector del Estacio.

La orientación de la resultante del régimen de olas no es constante sobre toda la línea de costa, a causa de la refracción de las mismas en la punta miocénica. A ambos lados de dicho promontorio aparecen unos arcos de ensenada: Ensenada del Esparto al norte, y Caleta del Estacio al sur, en las que la resultante es normal a cada uno de sus puntos.

El transporte longitudinal de los sedimentos no se produce, porque lo impiden los salientes que limitan por sus extremos las formaciones de acumulación: Punta del Pudrimel al norte y Punta Seca al sur. Debido a ello y al promontorio del Estacio, los sedimentos no pueden desplazarse más que localmente y las acumulaciones de los arcos no se han producido a partir de sedimentos de corriente longitudinal, sino a partir de material arrastrado del fondo.

De esta forma se crea la playa arenosa de la Veneziola, situada al norte del Estacio y al sur de la urbanización de la Veneziola. Esta playa tiene forma semielíptica alargada, como consecuencia de la refracción del oleaje en la Punta del Pudrimel y del Estacio con una mayor acumulación de sedimentos en la parte sur cercana al Estacio, la anteriormente citada Ensenada del Esparto, por la dirección del oleaje incidente aproximadamente paralelo a esta costa.



Imagen 3.5. Playa de La Veneziola y urbanización La Veneziola. **Fuente.** Google imágenes.

En la actualidad, el aspecto original de la formación que hoy es ocupada por la urbanización de la Veneziola es prácticamente irreconocible a simple vista, debido a la obra de relleno o dragado, que se han efectuado para el Puerto Tomás Maestre que ocupa toda la gola del Estacio, acompañado con numerosas urbanizaciones que en conjunto con el puerto ocupa casi la totalidad de la superficie de este sector.



Imagen 3.6. Sector de El Estacio. **Fuente.** Google imágenes.

-Sector al Sur de Punta Seca

La base estructural a nivel del Mediterráneo parece continua. De norte a sur encontramos los bancos de calcoarenita miocena, que se prolongan hasta cubrir los alrededores volcánicos del Calnegre.

La gola de Marchamalo constituye la única comunicación totalmente artificial entre el Mediterráneo y la laguna.

A veces aparecen unos limos rojos directamente sobre la calcoarenita, lo que indica la escasa potencia de la cobertura arenosa.



Imagen 3.7. Gola de Marchamalo. Fuente. Google imágenes.

El material sedimentario está sobre todo constituido por productos de erosión de fondo mezclados con restos orgánicos marinos. Y los sedimentos, según los diversos puntos, pasan de mayor a menor profundidad o llegan directamente a la playa, como en el caso de las Amoladeras, donde sobre la molasa miocena a nivel del mar, los limos rojos erosionados hacia el interior, se presentan biselados hacia el Mediterráneo y soportando las arenas que llegan directamente a la playa y son impedidas por el viento hacia lo alto de la formación.

A pesar del escaso índice de articulación, la orientación de este sector hace que la primacía corresponda al transporte transversal. Hacia el norte, donde la pendiente de la plataforma sumergida se atenúa, se producen, sin embargo, formas de acumulación sumergidas paralelas a la costa, que tienden a unirse a la aparente restinga actual.

En cierto modo, la asociación talud suave-corriente saturada al norte y talud fuerte-corriente no saturada al sur, es evidente.

El sustrato mioceno se presenta como un banco fracturado en grandes bloques, que se extiende paralelamente a la Manga desde el sur de la Gola de Marchamalo, hasta un poco al sur del Pedrucho, con una anchura aproximada de 60 metros, sobre el cual se sondea una profundidad mínima de 1 metro, llegándose alrededor de él hasta los 6 y 8 metros. Este banco de piedra es conocido por los pescadores con el nombre del Tabal.

HIDROGEOLOGÍA DEL CORDÓN LITORAL DEL MAR MENOR

El campo del Mar Menor está compuesto por cuatro unidades hidrogeológicas: Triásico de Carrascoy, Sierra de Cartagena-Portman, Campo de Cartagena y Mazarrón. De estas cuatro unidades, tan sólo la del Campo de Cartagena presenta comunicación con el Mar Menor. Esta unidad ocupa 1440 km², prácticamente la totalidad del área de estudio; está formada por tres masas de agua: Triásico de las Victorias (sector del acuífero Campo de Cartagena con problemas de sobreexplotación y no conectado directamente con el Mar Menor), Cabo Roig (desconectado hidráulicamente del resto de acuíferos), y Campo de Cartagena. Éste último comprende los siguientes niveles acuíferos:

- ✓ Acuífero Cuaternario en el nivel superior. Este nivel acuífero recibe los retornos de riegos, con alta concentración salina y de nutrientes. Presenta una conexión hidráulica relativamente clara con el Mar Menor.
- ✓ Acuífero Plioceno. Presenta cierta comunicación con el Mar Menor.
- ✓ Acuífero Andaluciense. En principio no se encuentra conectado directamente con el Mar Menor.
- ✓ Acuífero Tortoniense. Al igual que el anterior, no se encuentra conectado con el Mar Menor.

Dada la compleja estructura tectónica interna de la depresión del Campo de Cartagena, el carácter discordante de muchas de sus formaciones y el contacto por el este con el Mar Menor y el Mar Mediterráneo, existe en ciertas zonas una conexión hidráulica entre acuíferos y los mares citados.

Es debido a la existencia de todos estos acuíferos, que el Campo de Cartagena es considerado, desde el punto de vista hidrogeológico, un sistema acuífero complejo, donde dichos acuíferos se encuentran superpuestos unos con otros (sistema multicapa).

La unidad hidrogeológica en conjunto, recibe alimentación por tres vías distintas: mediante infiltración de la lluvia útil caída sobre los afloramientos de los acuíferos existentes (55hm³/año), por infiltración de excedentes de regadío (24hm³/año), y por alimentación lateral

subterránea proveniente de la sierra de Cartagena ($4\text{hm}^3/\text{año}$). Todo ello supone una alimentación total de $83\text{hm}^3/\text{año}$.

Las salidas totales se han evaluado en 61hm^3 , de los cuales 56hm^3 corresponden a bombeos y 5hm^3 a descargas al mar.

En su totalidad, actualmente, el Campo de Cartagena presenta un balance para las aguas subterráneas, claramente positivo a favor de las entradas.

Son estos flujos el caso de estudio en que se centra este proyecto, es decir, cómo son afectados estos flujos a lo largo del cordón litoral por las cimentaciones existentes en el mismo. Para ello, se va a hacer uso de una variable λ , la cual hace referencia a la distancia de atenuación de dichos flujos. Ésta variable es obtenida a partir de unos valores de tiempo, dados por la variable τ y valores de la relación entre $\left(\frac{S_y}{T}\right)$, donde T es la transmisividad del terreno y S_y es el rendimientos específico.

3.3. DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DEL MAR MENOR

Como ya se comentó en el capítulo introductorio, la población en la zona del Mar Menor ha ido aumentando con el paso de los años, sobre todo se vio impulsada en los años de bonanza económica. Es por ello que esta zona presenta un gran dinamismo demográfico (mayor que en el resto de España), además de un ritmo de crecimiento situado alrededor del 4% en la temporada de 2004-2008. Esta dinámica de crecimiento ocurre en todos los municipios, debido sobre todo a la llegada de inmigrantes.

Datos referentes a los distintos municipios pueden verse en la siguiente tabla:

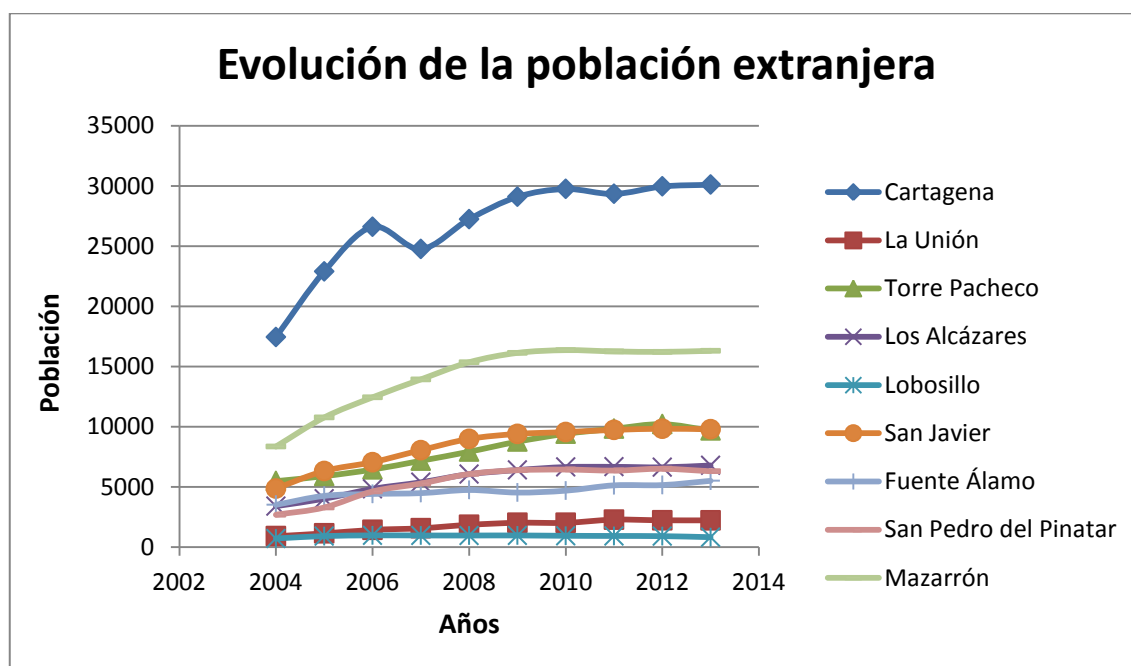
Municipio	Población (2012) (hab)	Superficie (km ²)	Densidad de población (hab/km ²)
Cartagena	218.244	558,08	391,06
La Unión	19.859	24,6	772,72
Torre-Pacheco	33.911	189,4	179,04
Los Alcázares	16.251	19,82	819,93
Murcia (Pedanía de Lobosillo)	3.302	12,16	271,55
San Javier	32.641	74,2	439,91
Fuente Álamo	16.175	273	59,25
San Pedro del Pinatar	24.285	22,32	1.088,04
Mazarrón	35.408	318,7	111,1
Resto	9.510	362,86	26,21
Total	409.586	1.855,14	220,78

Tabla 3.1. Población en los distintos municipios. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos del CREM.

La inmigración es la principal responsable del incremento poblacional y de la diferencia entre sexos, pues las personas inmigrantes son principalmente hombres. A continuación se muestra una tabla y una gráfica con la evolución de la población extranjera a lo largo de los años en la zona del Mar Menor.

Municipio	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cartagena	17.447	22.897	26.605	24.762	27.236	28.098	29.752	29.343	29.963	30.110
La Unión	919	1.151	1.441	1.574	1.858	2.026	2.026	2.283	2.231	2.227
Torre-Pachecho	5.500	5.914	6.460	7.186	7.938	8.772	9.423	9.845	10.224	9.693
Los Alcázares	3.408	4.023	4.843	5.393	6.067	6.414	6.662	6.682	6.641	6.795
Lobosillo	718	918	980	970	967	973	943	929	915	827
San Javier	4.864	6.322	7.052	8.052	8.989	9.403	9.558	9.740	9.834	9.793
Fuente Álamo	3.525	4.268	4.428	4.498	4.758	4.544	4.701	5.143	5.166	5.518
San Pedro del Pinatar	2.689	3.293	4.627	5.287	6.081	6.397	6.452	6.368	6.515	6.309
Mazarrón	8.357	10.772	12.441	13.925	15.352	16.130	16.357	16.254	16.214	16.303

Tabla 3.2. Evolución de la población extranjera. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CREM.



Gráfica 3.1: Evolución de la población en los distintos municipios. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse, todas las poblaciones mostradas, han tendido a lo largo de los años a un aumento de su población. Debido a esto, y al interés turístico de la zona, se han llevado a cabo proyectos urbanísticos sin control, llegando a la situación en la que se encuentra actualmente, de grave deterioro ambiental.

DESCRIPCIÓN URBANÍSTICA DE LA ZONA

La comarca del Campo del Mar Menor, por ser una zona de comunicación natural entre dos núcleos de población importantes, como son Murcia y Cartagena, posee unas expectativas elevadas de crecimiento económico, demográfico y urbanístico, además de encontrarse en una de las zonas de mayor dinamismo de España, el arco mediterráneo. Por otro lado, la existencia de importantes infraestructuras de comunicación de primer orden, como el Puerto de Cartagena, el aeropuerto de San Javier...ayuda a potenciar de forma significativa el crecimiento económico y demográfico de la zona.

La población se concentra principalmente en grandes núcleos en torno a la laguna (La Manga y noroeste interior) y Cartagena, y gran cantidad de pequeños núcleos urbanos en los alrededores, conectados con los núcleos mayores a través de una densa red de carreteras locales.

El incremento urbanístico derivado de la proliferación de urbanizaciones tipo resort es muy importante en la zona, estimándose en torno a 150.000 viviendas previstas en el entorno del Mar Menor y su cuenca.

Puede decirse, a partir de lo expuesto anteriormente, que la presión que ejerce la población sobre el territorio se ve acentuada por el modelo territorial de hábitat muy disperso en el interior y muy concentrado en la costa. Además, hay que tener en cuenta también las diferencias poblacionales existentes entre las distintas estaciones del año. En verano hay una mayor concentración de población que el resto del año, lo cual provoca un aumento de presión sobre la costa y los recursos energéticos e hídricos.

La existencia de esta variabilidad estacional de población ha provocado que la zona no se encuentre en equilibrio, pues en verano la demanda de viviendas es mucho mayor que la que puede darse en invierno. Esto ha hecho que en los últimos años hayan aumentado las viviendas de nueva planta y disminuido las de protección oficial/ promoción pública. En 2005 las nuevas viviendas libres en el área de estudio representaban un 58% del total de la Región de Murcia. Se licenciaron 13.207 viviendas nuevas (suma de los municipios de estudio).

Además, también hay un gran número de viviendas vacías (80% de las viviendas en Los Alcázares y el 71% en San Javier). En los municipios interiores la cifra es más baja, debido al menor desarrollo turístico.

Viviendas censadas por tipos (1991)								
Municipios	Total	Viviendas ppales	Viviendas secundarias	Vacías	Alojamientos	Otros tipos	%viviendas secundarias	%viviendas vacías
Cartagena	84.898	48.628	20.830	13.262	68	412	24,535	15,621
La Unión	4.920	3.835	287	715	3	20	5,833	14,532
Torre Pacheco	7.180	4.708	543	1.779	-	93	7,562	24,777
Los Alcázares	8.903	1.148	7.619	62	-	15	85,577	0,696
San Javier	23.297	4.178	16.941	719	1	19	72,717	3,086
Fuente Álamo	4.739	2.555	838	1.322	-	22	17,683	27,896
San Pedro del Pinatar	12.615	3.436	8.013	1.040	1	55	63,519	8,244
Mazarrón	14.639	4.226	9.183	1.180	22	11	62,729	8,060
Total	161.191	72.714	64.254	20.079	95	647	39,862	12,456

Tabla 3.3. Viviendas censadas por tipos. Fuente: Elaboración propia a partir de datos del CREM.

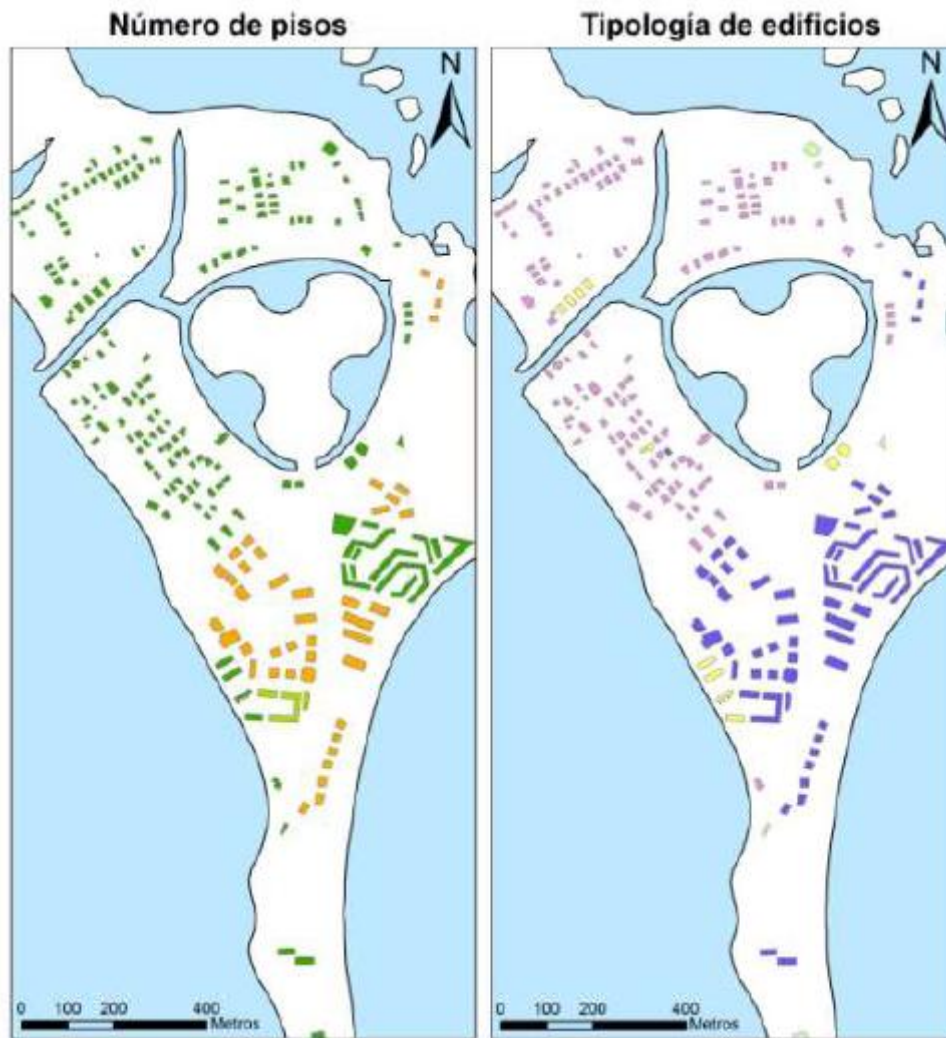
Centrándonos en el cordón litoral del Mar Menor, como ya se ha mencionado en capítulos anteriores, éste ha sufrido un gran cambio en los últimos años, debido fundamentalmente al auge del turismo en la zona. Esto ha dado lugar a una desmesurada proliferación de urbanizaciones turístico-residenciales de calidad media-baja, acusando con ello un deterioro ambiental considerable, ello se traduce en saturación urbanística, ocupación de primera línea de playa, congestión de tráfico en los distintos accesos y playas, deterioro paisajístico, contaminación acústica... Además no sólo se transforma lo citado anteriormente, sino que esto cambia las dinámicas naturales de sedimentación y erosión de la barrera arenosa y las orillas interiores, eliminando con ello los cordones dunares de La Manga.

En la actualidad, tal y como se mostraba en las fotografías en el capítulo I, la totalidad de la parte sur y media de La Manga se encuentra urbanizada, y actualmente se está urbanizando el norte de la misma (entre el Puerto de Tomás Maestre y la Veneziola), de tal forma que tan sólo queda libre la superficie protegida del Parque Natural de las Salinas y arenales de San Pedro del Pinatar.

TIPOS DE EDIFICIOS EN LA MANGA DEL MAR MENOR

Si se analiza con detenimiento el tipo de construcción de La Manga, se observa que la parte norte está ocupada principalmente por viviendas unifamiliares de planta pequeña, con altura no superior a los dos pisos, aunque la mayoría consta de tan sólo un piso. Dirigiéndonos hacia el sur, las ocupaciones de mayor superficie y altitud se van haciendo presentes, dando lugar en esta zona a una mayor densidad de ocupación. En esta parte también son características las construcciones de viviendas adosadas de dos plantas y bloques de pisos, llegando algunos incluso a alcanzar los nueve pisos de altura. En la parte más al sur se encuentran los mayores edificios construidos a lo largo de todo el cordón: edificios de más de 20 plantas. Esto es posible debido a que esta zona es volcánica y las características del terreno lo hacen posible. También, durante todo el cordón, se pueden apreciar diversas agrupaciones de viviendas unifamiliares de poca altura.

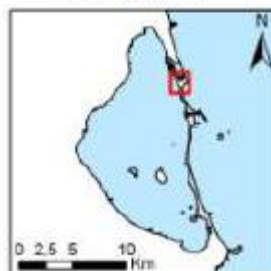
A continuación vamos a mostrar una serie de imágenes, obtenidas del PFC de Alberto Mendoza (Universidad de Granada), donde se observan las alturas de las edificaciones de La Manga y su tipología. Como es lógico, cuanto mayor altura tenga la construcción, será necesaria la realización de cimentaciones cada vez más profundas para poder sustentarlas, y garantizar un mínimo de seguridad estructural y estabilidad de las mismas.



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 1



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

Imagen 3.8. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. Fuente. PFC Alberto Mendoza

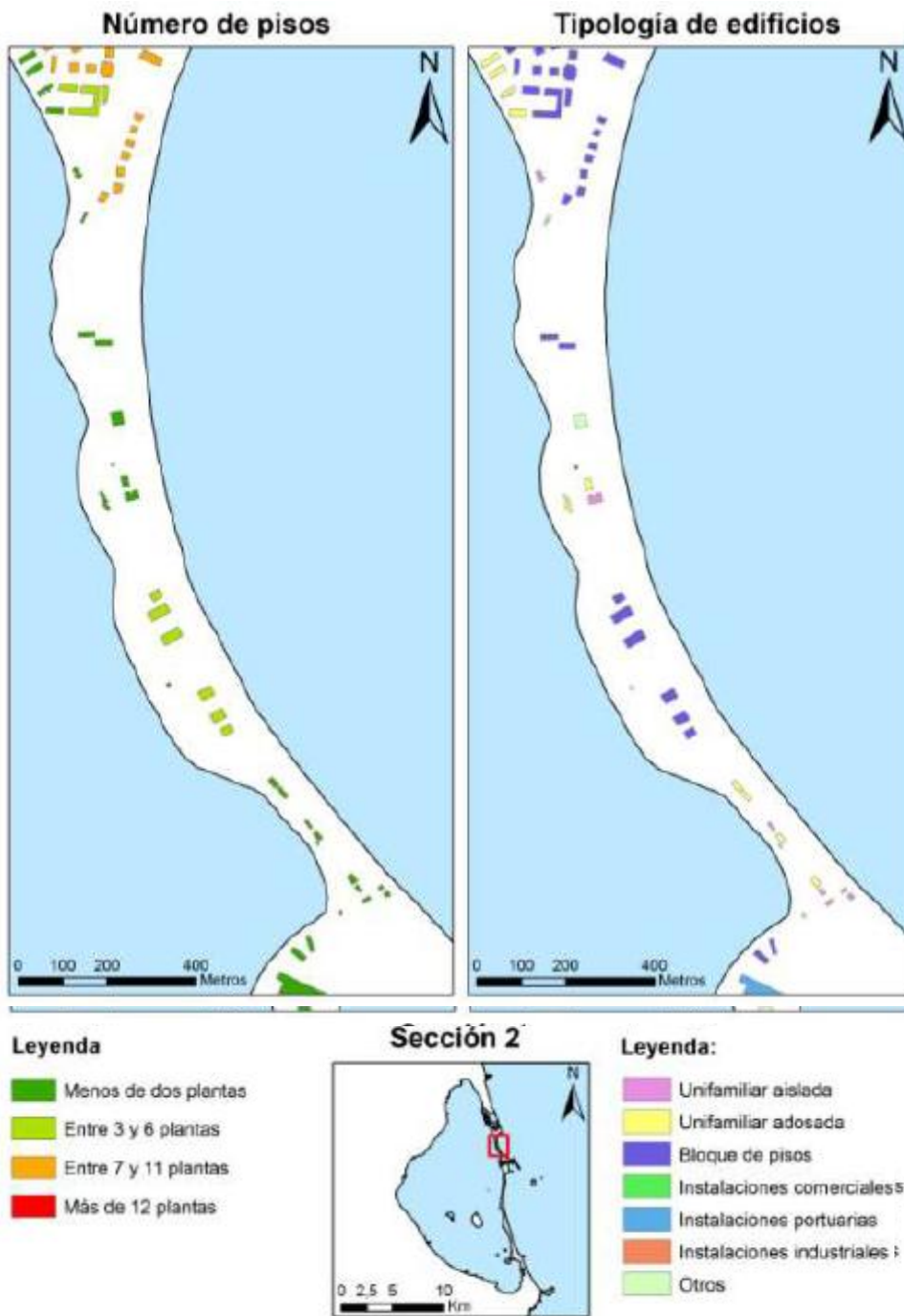
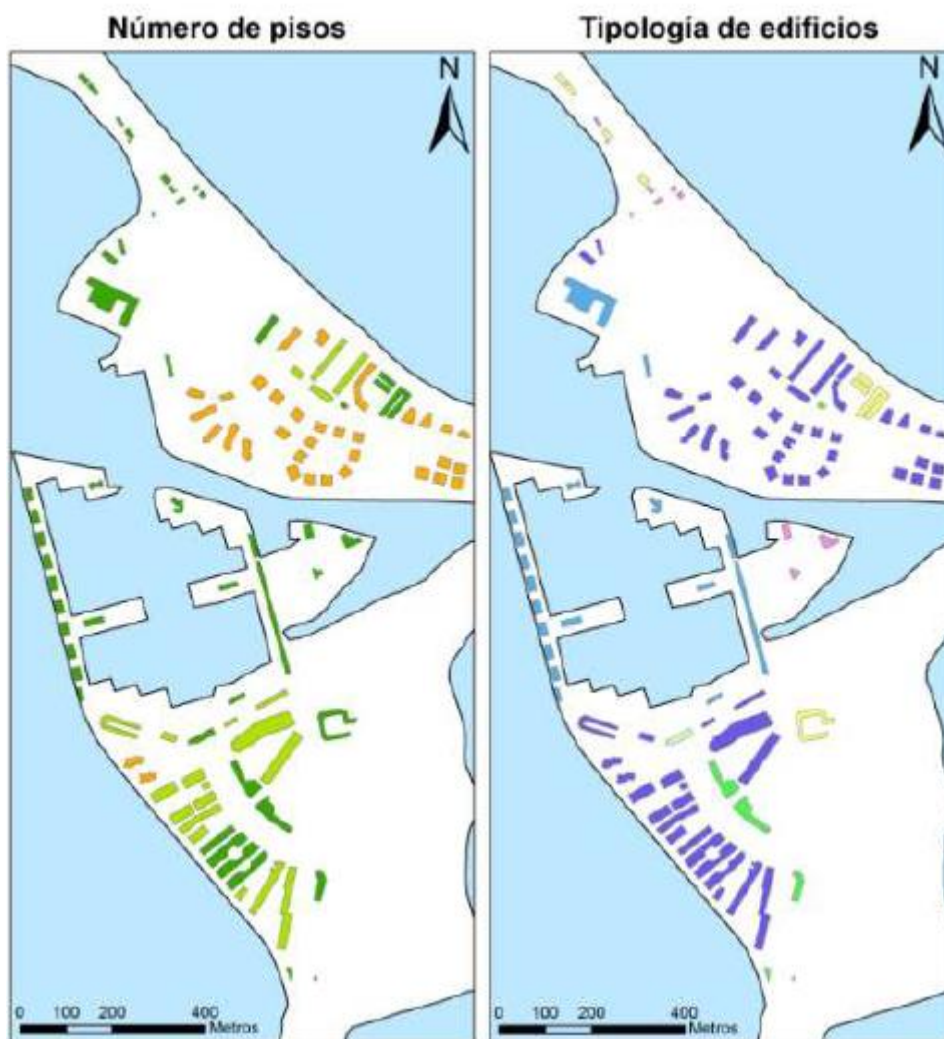


Imagen 3.9. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

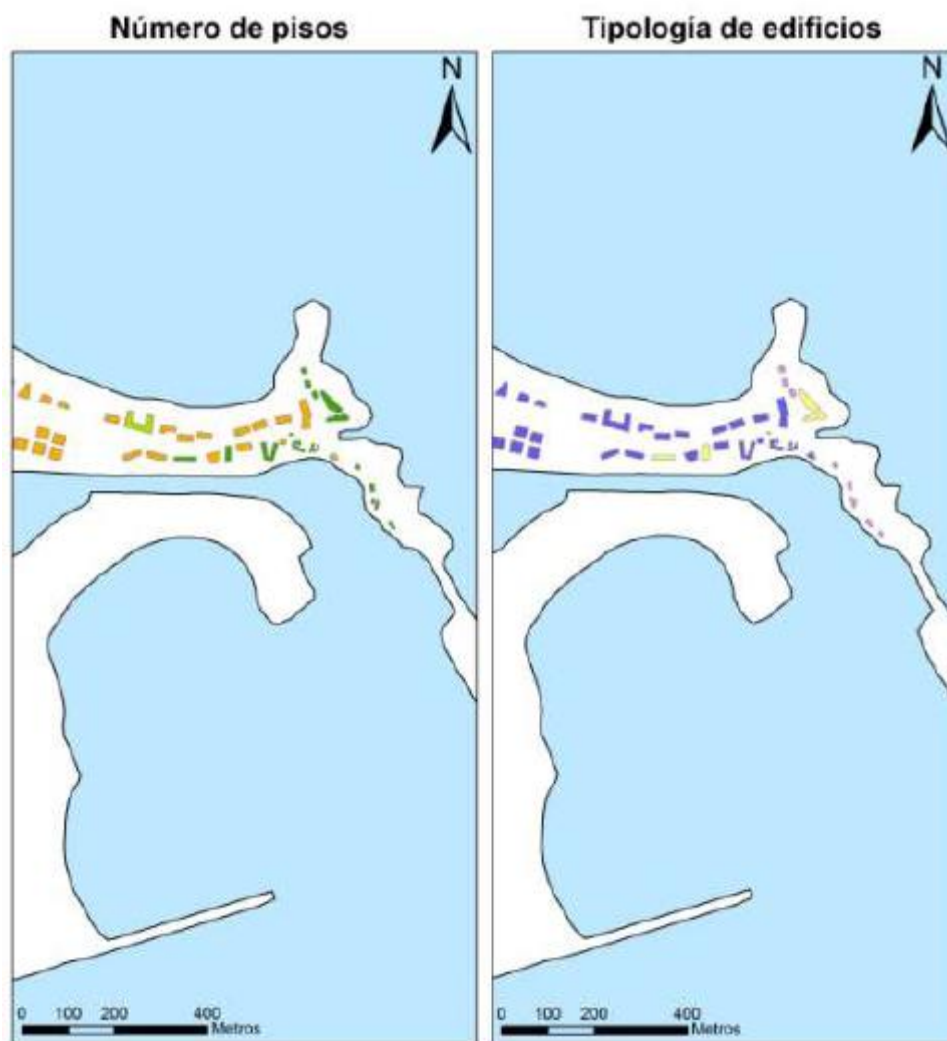
Sección 3



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

Imagen 3.10. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. Fuente: PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 4



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

Imagen 3.11. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza

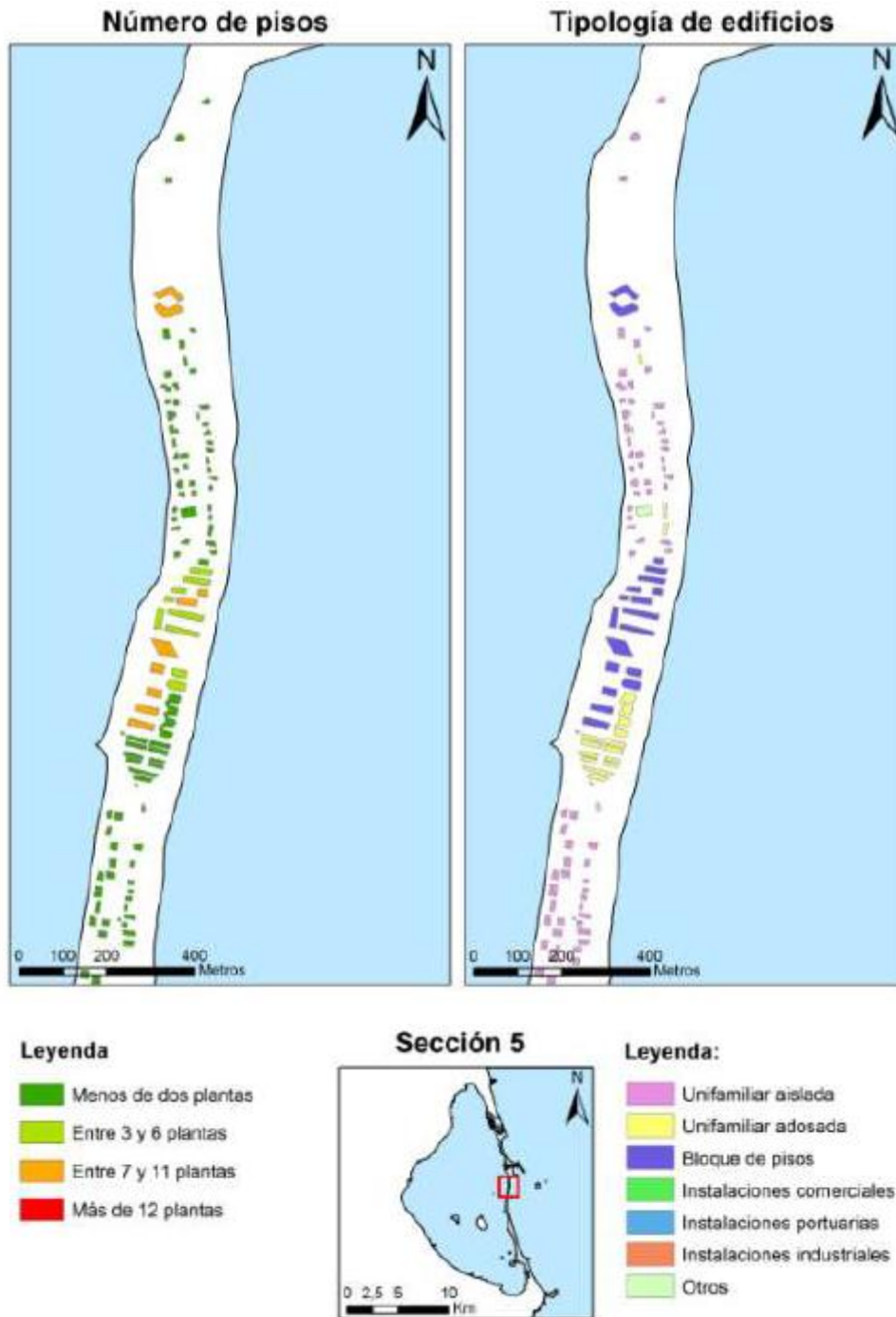
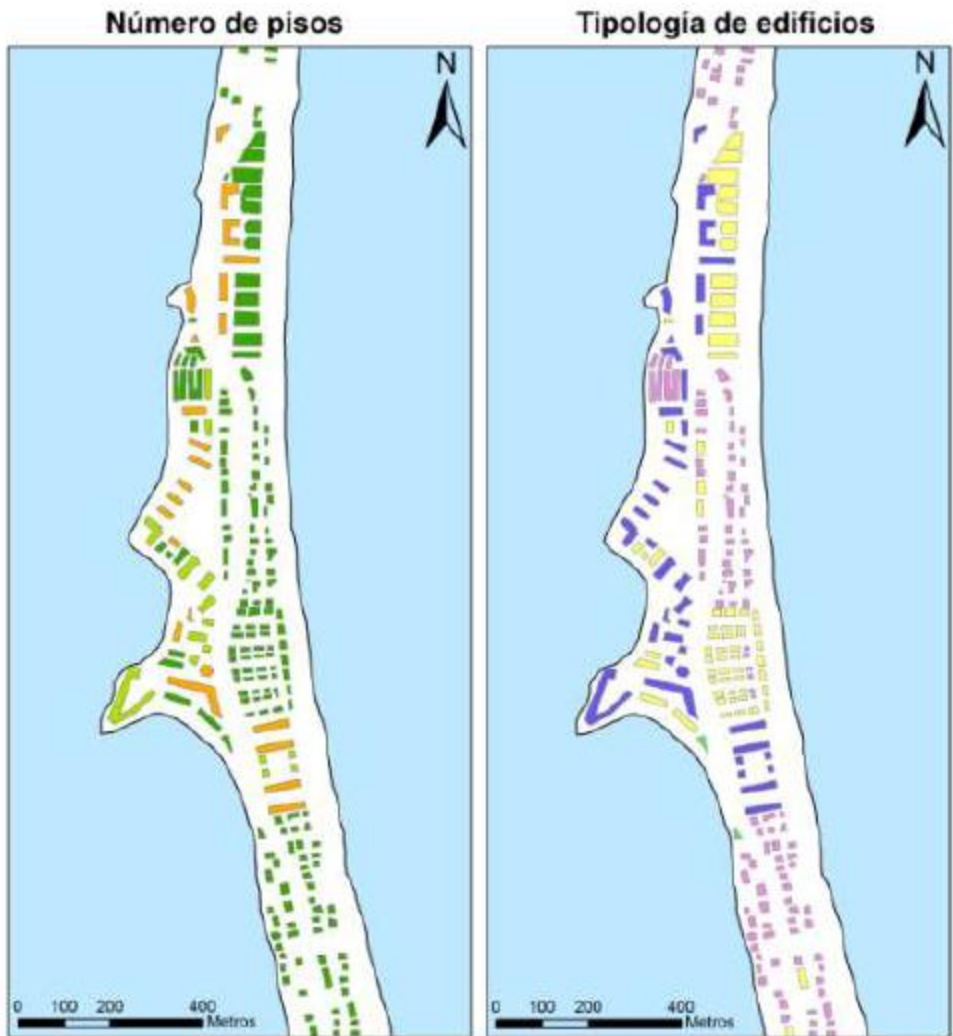


Imagen 3.12. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 6



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

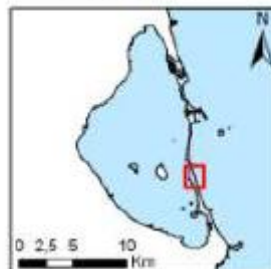
Imagen 3.13. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

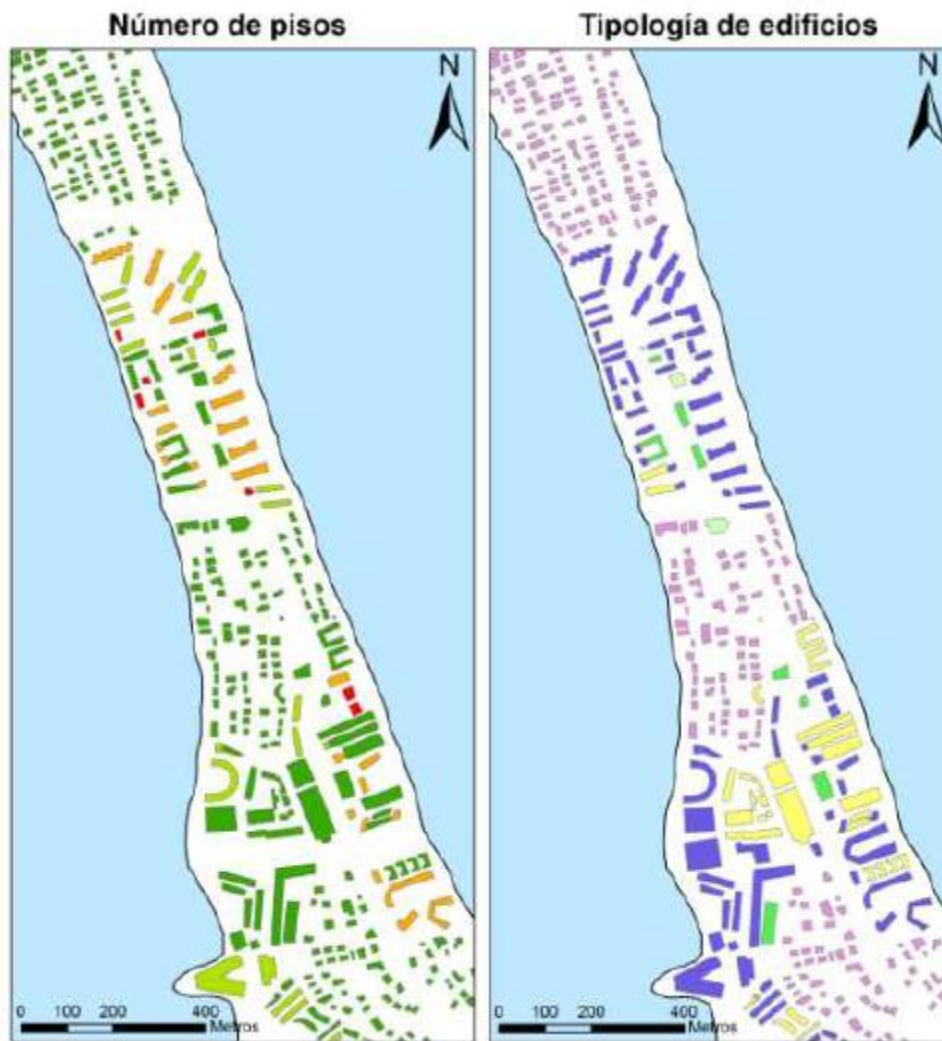
Sección 7



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

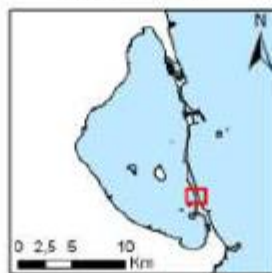
Imagen 3.14. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 8



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

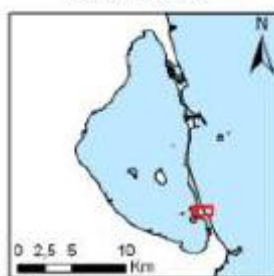
Imagen 3.15. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. Fuente. PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

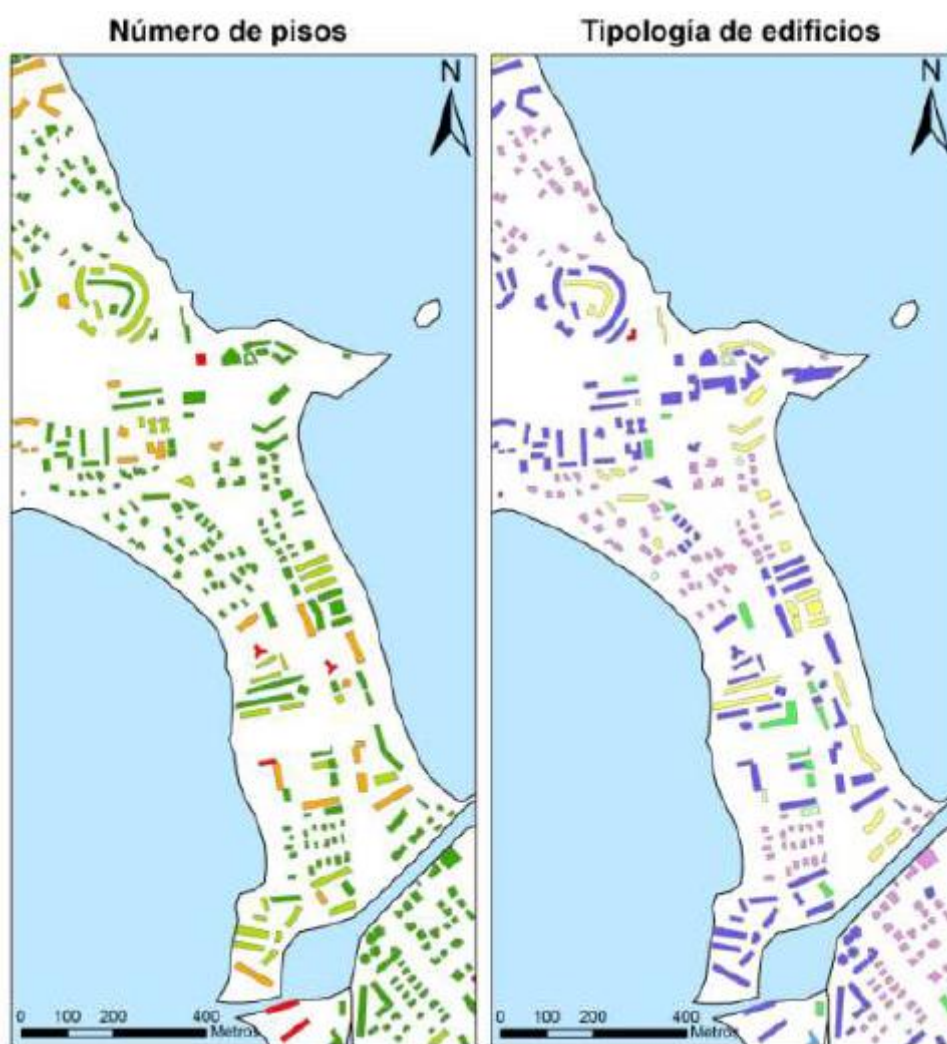
Sección 9



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

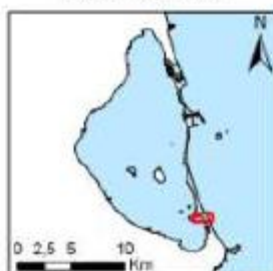
Imagen 3.16. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 10



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

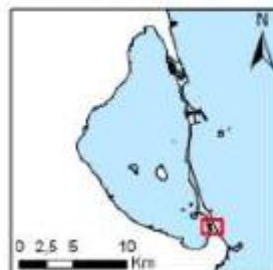
Imagen 3.17. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza



Leyenda

- Menos de dos plantas
- Entre 3 y 6 plantas
- Entre 7 y 11 plantas
- Más de 12 plantas

Sección 11



Leyenda:

- Unifamiliar aislada
- Unifamiliar adosada
- Bloque de pisos
- Instalaciones comerciales
- Instalaciones portuarias
- Instalaciones industriales
- Otros

Imagen 3.18. Número de pisos y tipología de edificaciones en el cordón litoral del Mar Menor. **Fuente.** PFC Alberto Mendoza

3.4. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

A continuación se va a exponer los objetivos que tiene la realización del presente proyecto y la metodología seguida para la obtención de los resultados que posteriormente serán comentados.

-OBJETIVOS

La realización del presente proyecto tiene por objetivo principal dar a conocer la ubicación de edificaciones con cimentación profunda, a lo largo del cordón litoral del Mar Menor, también conocido como La Manga, que potencialmente pueden dar lugar a una interferencia en la dinámica de flujos subterráneos existentes entre Mar Menor y Mar Mediterráneo a través de dicho cordón.

-METODOLOGÍA

En primer lugar, puesto que el cordón litoral tiene una extensión de aproximadamente 22 km de largo, se ha procedido a su división en subtramos, de los cuales, se ha realizado el estudio de dos de ellos, que tal y como se dirá más adelante, son los llamados T.3. Veneziola, T.5. El Pedrucho.

Concretamente, se han definido seis tramos distintos, de norte a sur: T1. Salinas de San Pedro del Pinatar, T2. Encañizadas, T3. Veneziola, T4. El Estacio, T5. El Pedrucho, T6. Marchamalo, (Imágen 3.8). Se ha elegido esta disposición de tramos principalmente por razones geomorfológicas, pues en cada uno de ellos se encuentra algún elemento singular, como discutiremos posteriormente.

Tramo 1, 'Salinas de San Pedro del Pinatar', como bien indica su nombre, se encuentran las salinas, un espacio protegido de la región de Murcia. Desde el punto de vista geomorfológico, en este espacio destacan las dunas y arenales costeros propios de los humedales; a nivel marino se encuentran barras arenosas que amortiguan el oleaje. Además se debe destacar la importancia de las praderas de posidonia de los fondos marinos del Mar Mediterráneo. Este tramo queda definido en una longitud de 3.223m aproximadamente, con una anchura media de 1.033,4m, tal y como podemos observar en la tabla 3.4.

Tramo 2, 'Encañizadas', se encuentra la gola de las Encañizadas, con una superficie de 200 hectáreas. Está salpicada de islotes. Constituye el paso natural más importante entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo. Esta zona se encuentra enclavada dentro de las latitudes 37°47'41.87"-37°46'12.72"N y las longitudes 0°45'22.91"-0°44'48.98" W.

Tramo 3, 'Veneziola', zona situada entre la gola de 'Las Encañizadas' y la gola de 'El Estacio', formando una playa homogénea cóncava hacia el Mar Mediterráneo. Su anchura media ronda en los 197.00m, mientras que su longitud total es de 1.937,34m aproximadamente. Este tramo será estudiado más detalladamente con posterioridad, pues en este, junto con el tramo 5 definido más abajo, centramos los estudios de investigación.

Tramo 4, 'El Estacio', en esta zona se encuentra el canal de El Estacio, construido en 1973 sobre una gola natural del mismo nombre. Para su construcción se dragó y ensanchó convenientemente la gola natural que había en principio, teniendo ello graves consecuencias para el hidrodinamismo de la laguna. La longitud total de este tramo es de 1.922,02m, tal y como puede observarse en la tabla anexa.

Tramo 5, 'El Pedrucho', este tramo es el más extenso de todos, con 7.622,65m de largo y una anchura media de 305,72m. Constituye una playa extensa y recta hacia el Mar Mediterráneo. En él será donde centremos el estudio del presente proyecto de investigación.

Tramo 6, 'Marchamalo', aquí se incluye el canal de Marchamalo, el cual es la única comunicación artificial entre Mar Menor y Mar mediterráneo; este canal tiene poca profundidad, por lo cual las embarcaciones que pueden acceder por él tienen poco calado. Además, se encuentra también el afloramiento volcánico del Cerro del Calnegre y la Isla del Ciervo. Sus coordenadas son: latitudes al inicio y final del tramo $37^{\circ}39'53.55''$ - $37^{\circ}38'35.32''$ N y longitudes iniciales y finales del tramo: $0^{\circ}43'41.46''$ - $0^{\circ}42'55.53''$ W.



Imagen 3.19. Definición de tramos de La Manga del Mar Menor. **Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se muestra una tabla con valores de interés para los distintos tramos en los que se ha dividido el cordón litoral. Para la realización de dicha tabla nos hemos ayudado del visor de imágenes 'IBERPRIX' del Instituto Geográfico Nacional, el cual consta de herramientas de medidas con las cuales hemos podido realizar los distintos cálculos. En concreto, para tomar la latitud y longitud de los distintos puntos, tanto iniciales como finales de cada tramo, nos hemos situado sobre el punto medio de la línea que une ambos lados de costa en los puntos correspondientes, y automáticamente, aparecen los valores exactos de latitud y longitud del punto en cuestión. Para hallar la longitud total del tramo se ha medido sobre un eje imaginario que pasa por los puntos medios de dicho tramo. Por último, para obtener la anchura media de cada tramo se han tomado medidas transversales a lo largo de cada tramo, de forma perpendicular a la línea de costa, y posteriormente se ha hecho la media de todas estas medidas. De esta forma, se obtienen cada uno de los valores expuestos posteriormente.

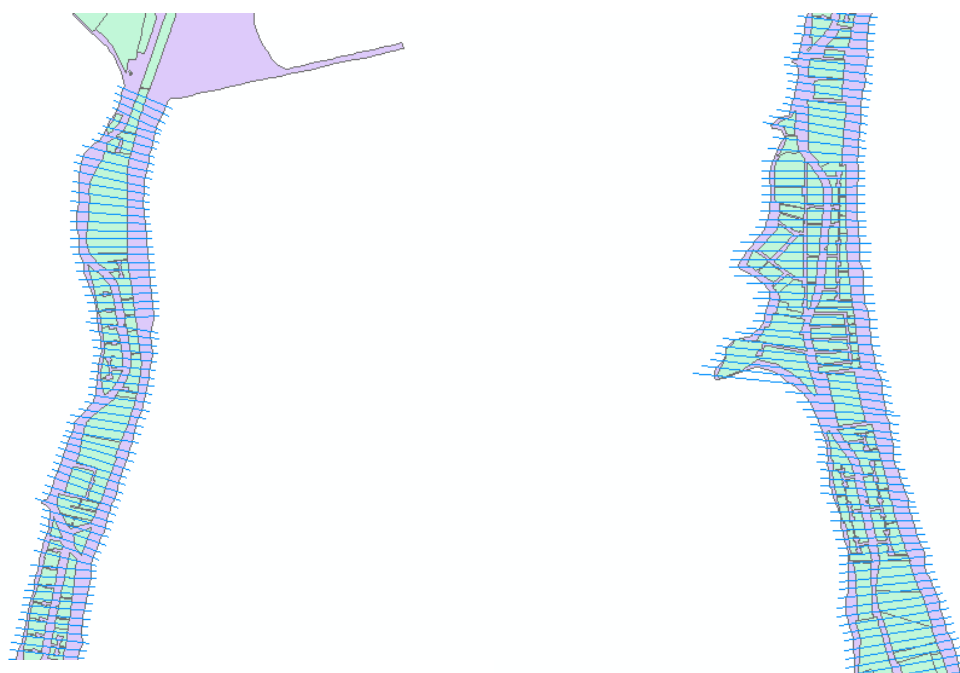
TRAMO	LATITUD	LONGITUD	LONG. TOTAL TRAMO(m)	ANCHURA MEDIA(m)
Salinas de San Pedro del Pinatar	Inicio: <i>37°49'26.73"N</i>	Inicio: <i>0°46'4.23"W</i>	3223.96	1033.43
	Fin: <i>37°47'41.87"N</i>	Fin: <i>0°45'22.91"W</i>		
Encañizadas	Inicio: <i>37°47'41.87"N</i>	Inicio: <i>0°45'22.91"W</i>	2897.34	702.48
	Fin: <i>37°46'12.72"N</i>	Fin: <i>0°44'48.98"W</i>		
Veneziola	Inicio: <i>37°46'12.72"N</i>	Inicio: <i>0°44'48.98"W</i>	1937.34	197.00
	Fin: <i>37°45'12.39"N</i>	Fin: <i>0°44'28.91"W</i>		
El Estacio	Inicio: <i>37°45'12.39"N</i>	Inicio: <i>0°44'28.91"W</i>	1922.02	853.75
	Fin: <i>37°44'9.39"N</i>	Fin: <i>0°44'19.06"W</i>		
El Pedrucho	Inicio: <i>37°44'9.39"N</i>	Inicio: <i>0°44'19.06"W</i>	7622.65	305.72
	Fin: <i>37°39'53.55"N</i>	Fin: <i>0°43'41.46"W</i>		
Marchamalo	Inicio: <i>37°39'53.55"N</i>	Inicio: <i>0°43'41.46"W</i>	3035.11	620.77
	Fin: <i>37°38'35.32"N</i>	Fin: <i>0°42'55.53"W</i>		

Centrándonos en los tramos T.3. Veneziola y T.5. El Pedrucho, lo que se ha realizado en primer lugar es la discretización de dichos tramos. Para ello se ha seguido la siguiente metodología:

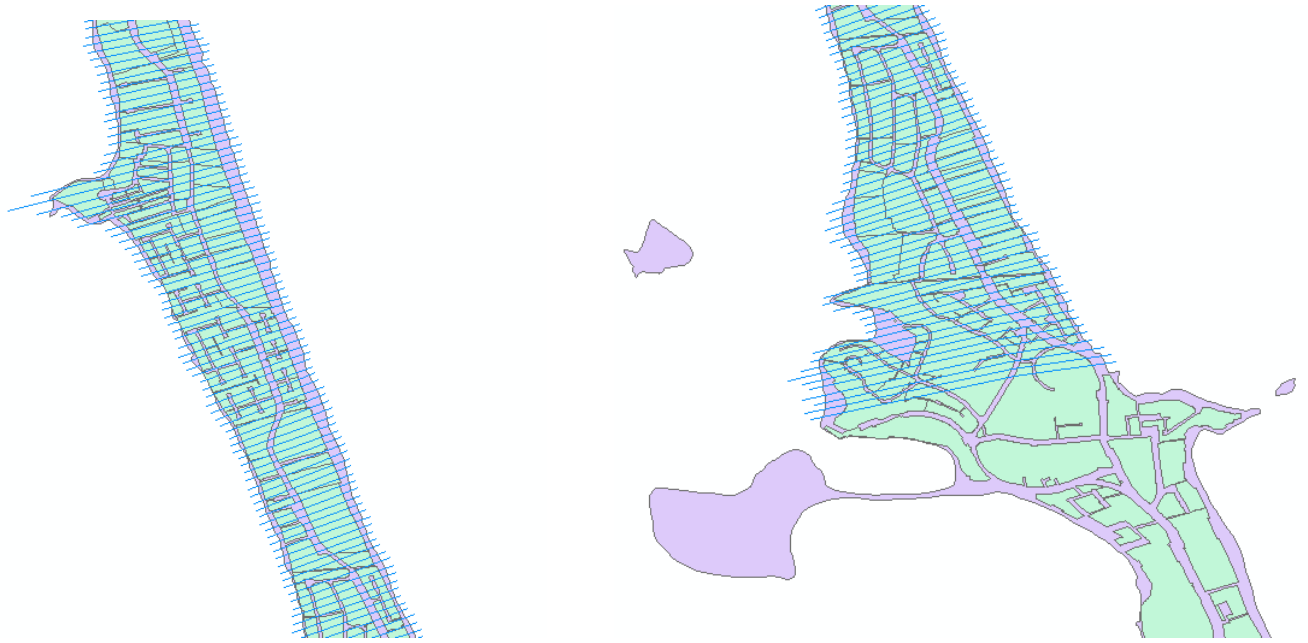
En primer lugar hemos tomado una cartografía de la zona, descargada de la página del Instituto Geográfico Nacional, seguidamente, utilizando un programa SIG, se ha discretizado (de forma perpendicular a la línea de costa del Mar Mediterráneo), cada uno de los tramos citados de 30 en 30 metros, (se ha considerado esta distancia para discretizar porque, teniendo en cuenta la longitud de cada tramo, se ha llegado a la conclusión de que se obtienen datos suficientes con dichas medidas). Una vez están discretizados los tramos, tal y como puede observarse en las imágenes 3.9, 3.10, 3.11, 3.12 y 3.13, se procede a realizar las medidas en los puntos medios entre cada tramo, tanto de costa a costa (lo que viene a ser la anchura del cordón litoral), como del límite dónde comienza la urbanización con el límite de la costa por el Mar Mediterráneo.

Con todas las medidas tomadas, se van ordenando por rangos. Éstos rangos se calculan teniendo en cuenta los valores máximos y mínimos de las medidas correspondientes, además de los rangos aproximados que queremos tener en nuestras gráficas. En nuestro caso se han intentado tener aproximadamente 15 rangos, aunque en algunos casos no se ha podido cumplir este requisito por falta de medidas incluidas en dichos rangos.

Terminada la clasificación en rangos, ya se puede proceder a dibujar las gráficas finales, en las que el eje X tomará los valores de los distintos rangos asignados, y el eje Y tomará los valores de n° tramos/ n° total de tramos. También se harán las gráficas de valores acumulados, mostradas más abajo.



Imágenes 3.20 y 3.21 : Tramo El Pedrucho discretizado cada 30 metros. **Fuente:** Elaboración propia



Imágenes 3.22 y 3.23: Tramo El Pedrucho discretizado cada 30 metros. **Fuente:** Elaboración propia

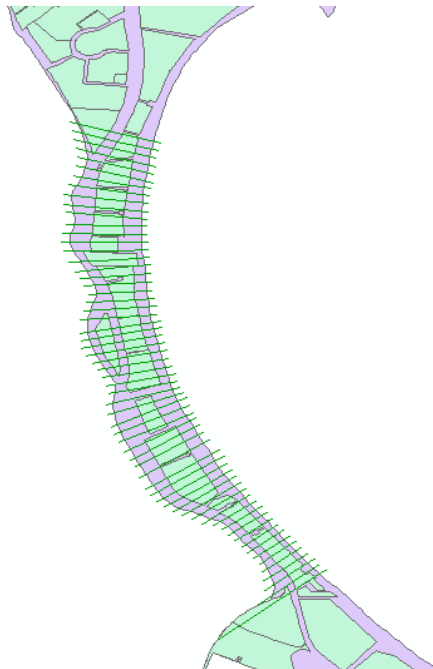
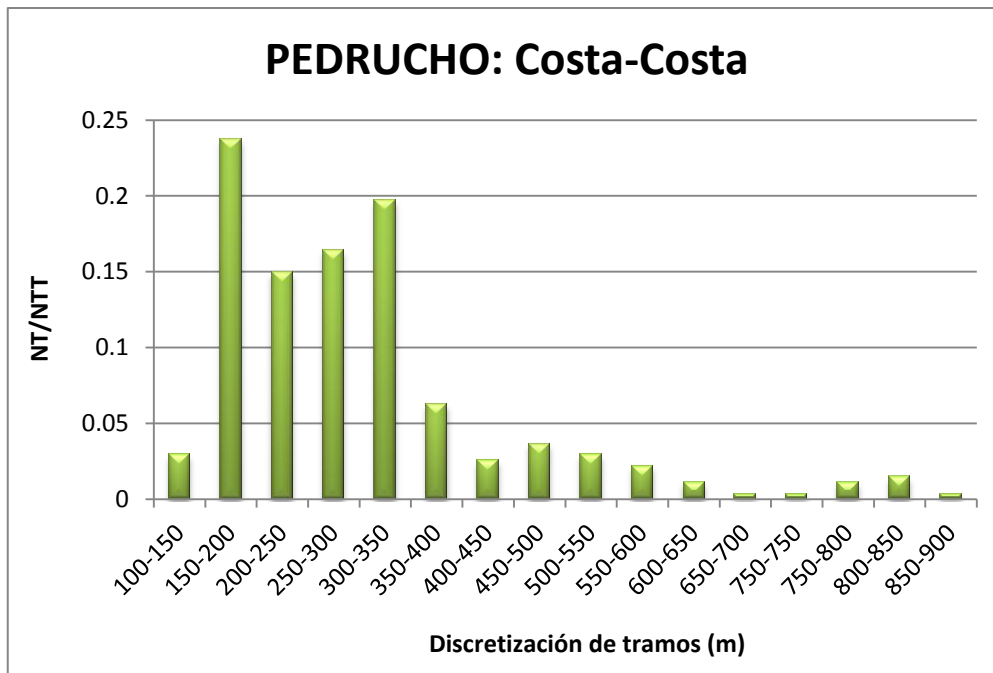
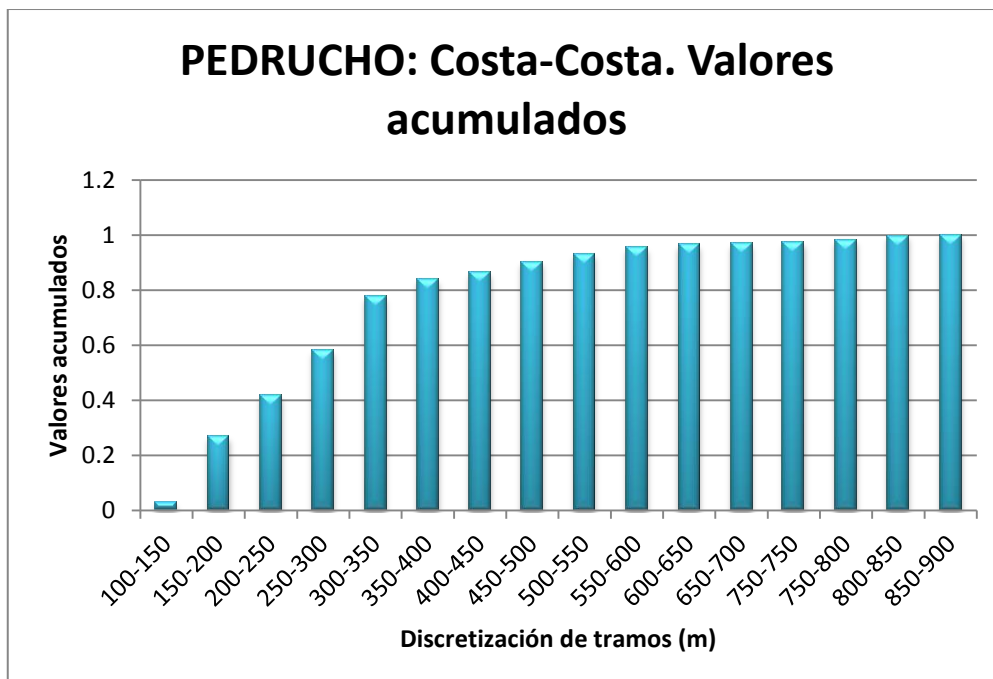


Imagen 3.24: Tramo Veneziola discretizado cada 30 metros. **Fuente:** Elaboración propia

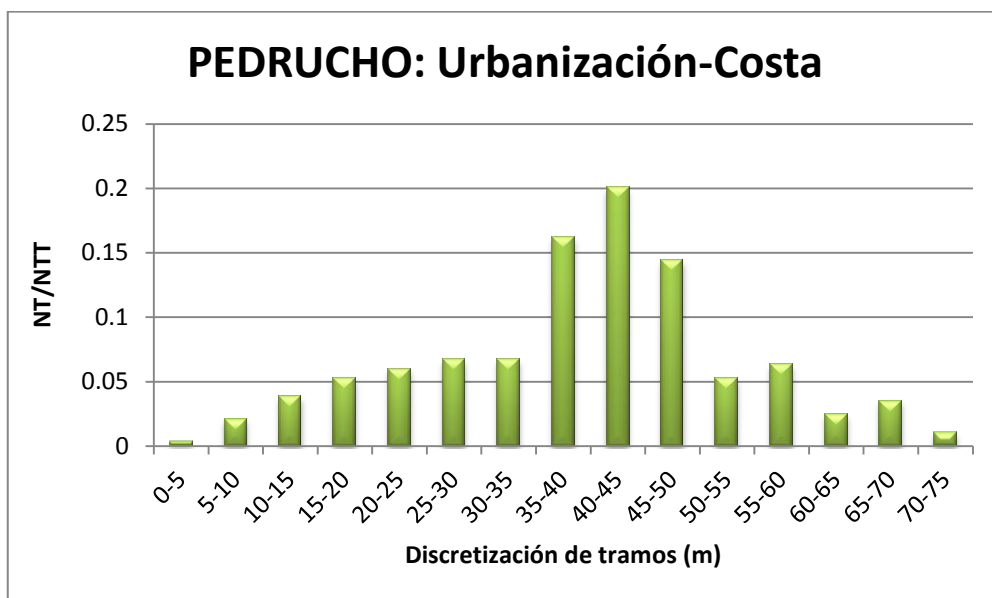


Gráfica 3.2: Valores discretizados Costa-Costa tramo El Pedrucho. **Fuente:** Elaboración propia.

Donde NT y NTT, son el número de tramos y el número de tramos totales, respectivamente.

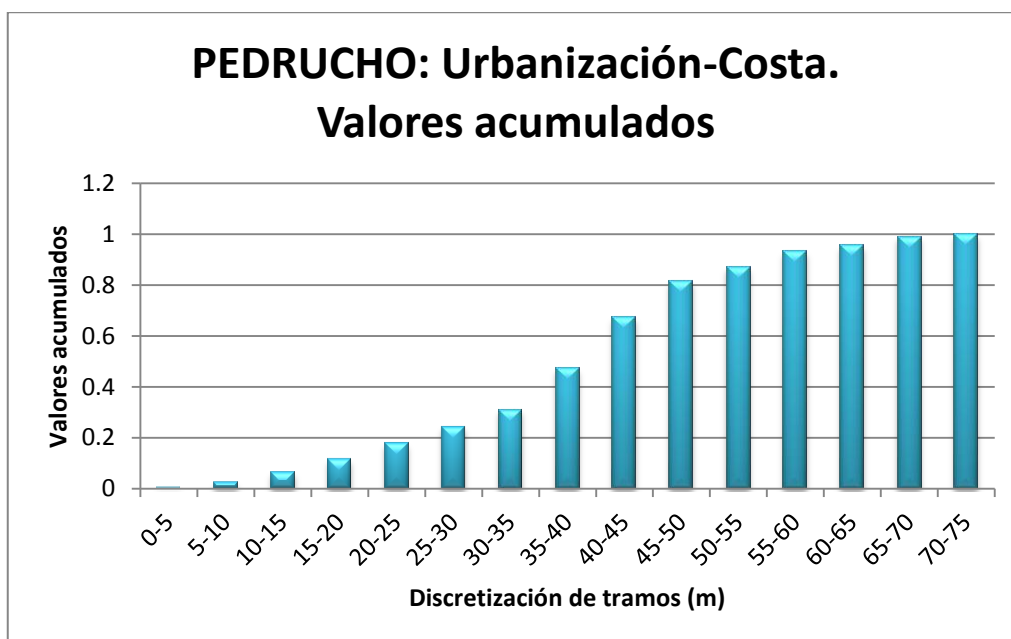


Gráfica 3.3: Valores discretizados Costa-Costa acumulados tramo El Pedrucho. **Fuente:** Elaboración propia.

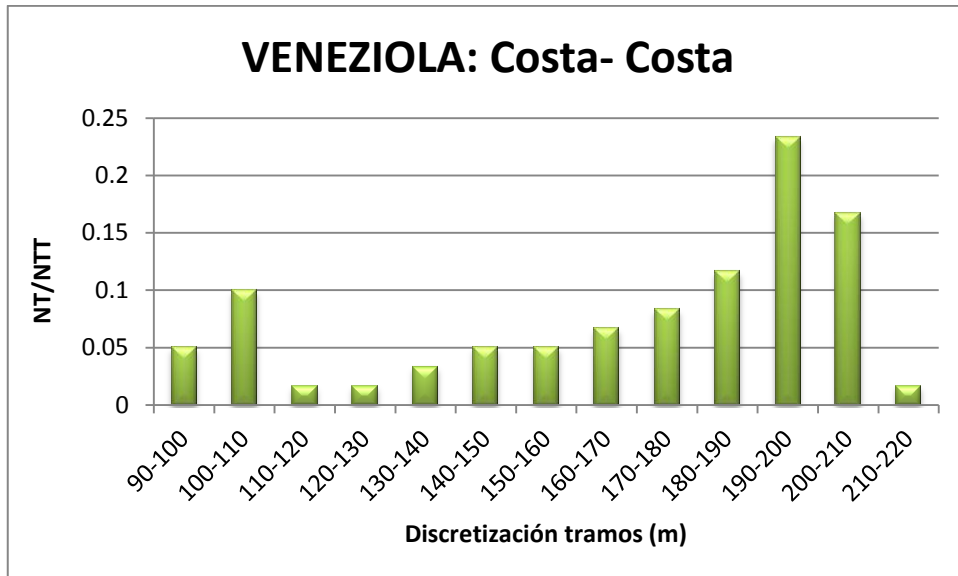


Gráfica 3.4: Valores discretizados Urbanización-Costa tramo El Pedrucho. **Fuente:** Elaboración propia.

Siendo NT y NTT, son el número de tramos y el número de tramos totales, respectivamente.

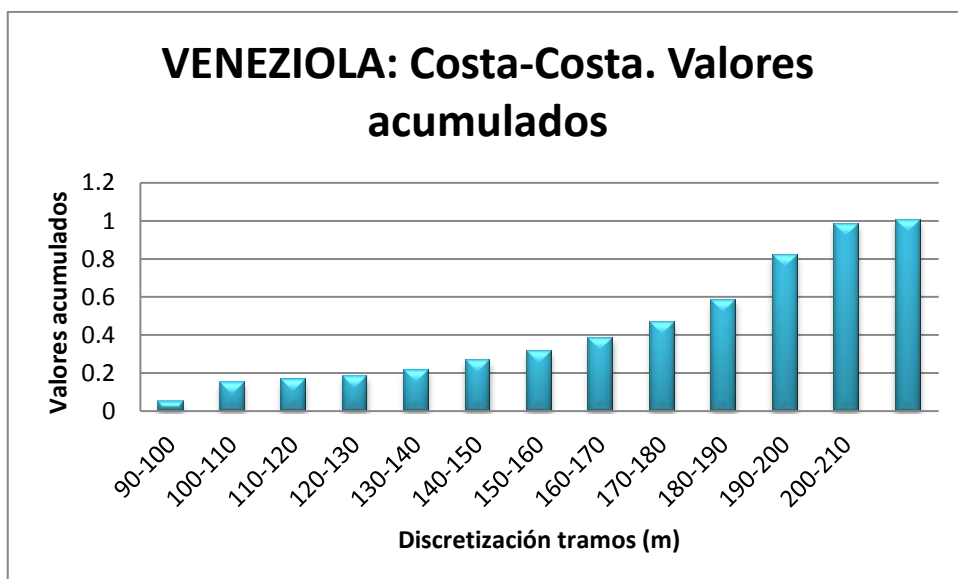


Gráfica 3.5: Valores discretizados Urbanización-Costa acumulados tramo El Pedrucho. **Fuente:** Elaboración propia.

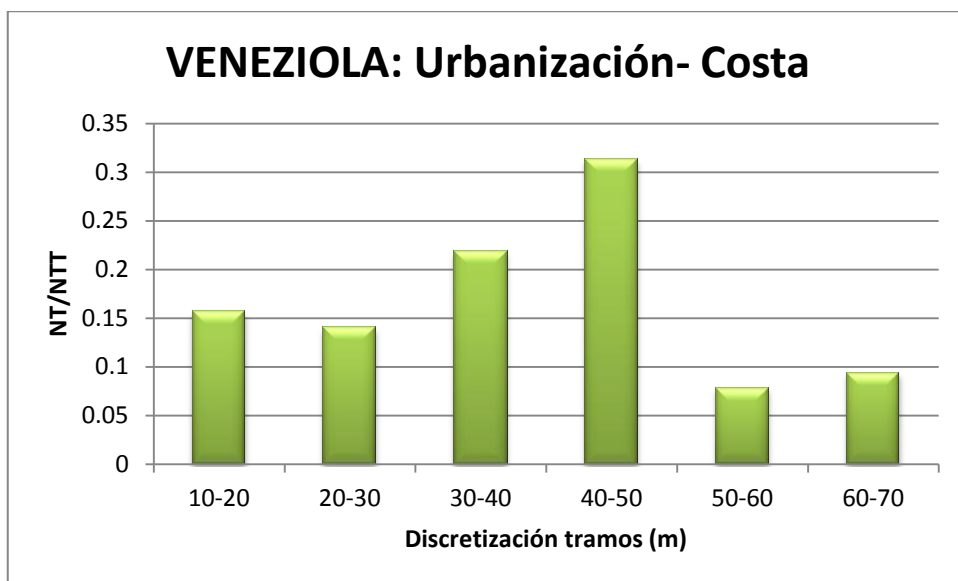


Gráfica 3.6: Valores discretizados Costa-Costa tramo Veneziaola. **Fuente:** Elaboración propia.

Donde NT y NTT, son el número de tramos y el número de tramos totales, respectivamente.

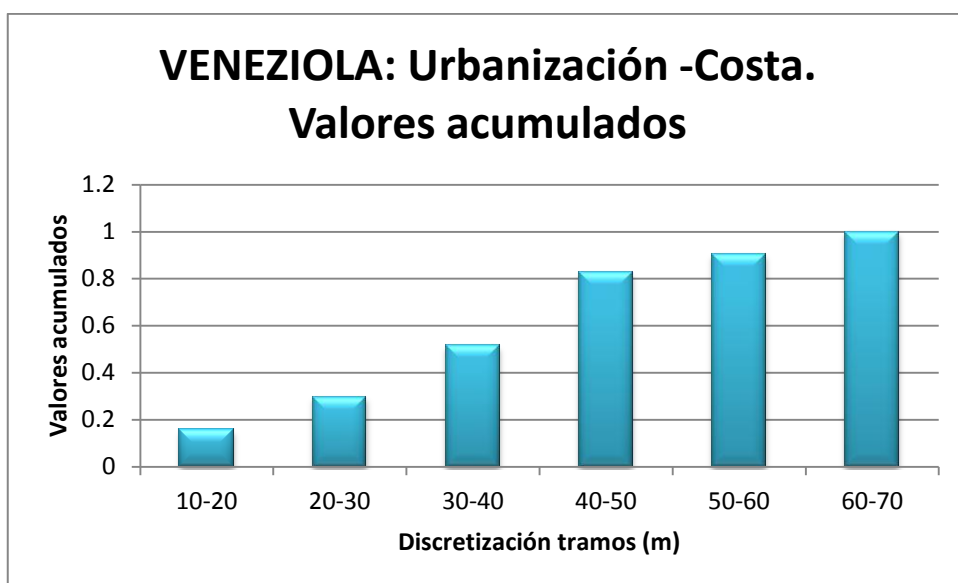


Gráfica 3.7: Valores discretizados Costa-Costa acumulados tramo Veneziaola. **Fuente:** Elaboración propia.



Gráfica 3.8: Valores discretizados Urbanización-Costa tramo Veneziola. **Fuente:** Elaboración propia.

Donde NT y NTT, son el número de tramos y el número de tramos totales, respectivamente.



Gráfica 3.9: Valores discretizados Urbanización-Costa acumulados tramo Veneziola. **Fuente:** Elaboración propia.

Metodología para el cálculo de valores λ_{gw}

Como ya se ha comentado con anterioridad, el valor λ_{gw} es la distancia de atenuación, es decir, con este valor se conocerá la distancia en metros, que el flujo subterráneo del Mar Mediterráneo es capaz de atravesar a través del cordón.

Para su cálculo se partirá de los siguientes valores:

-w= anchura del cordón (width)

-w_s= w/2= semi-anchura del cordón (semi-width)

-L_{uc}= distancia urbanización-costa

- λ_{gw} = escala de atenuación de flujos subterráneos (ground water-attenuation lengthsrale)

A partir de ellos y de la expresión siguiente, obtenemos los valores de λ_{gw} :

$$\lambda_{gw} = \left(\frac{\tau_i T}{\pi S_y} \right)^{1/2}$$

donde:

- τ_i , puede tomar valores medios de 12.45 horas, diarios de 24 horas, temporales de 24 horas 1.5 días, 3.5 días...aproximadamente.

-T, es la transmisividad (transmissivity), una propiedad hidrogeológica, con unidades de ($m^2/día$).

-S_y, rendimiento específico (specifiefield), es un parámetro adimensional.

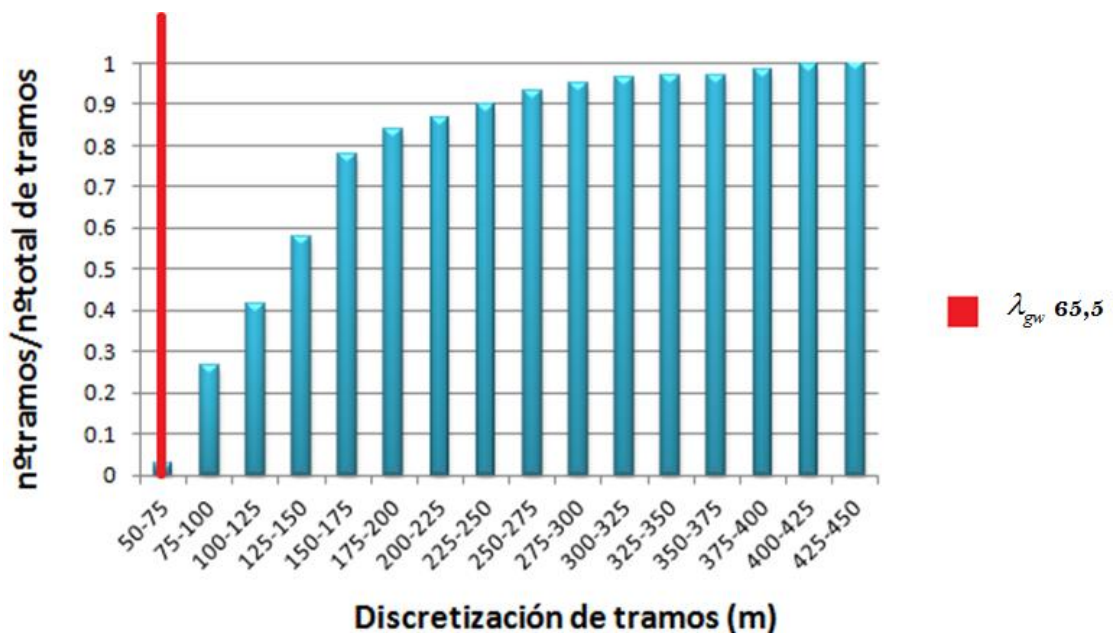
Para poder hacer la operación nos ayudamos además con valores de la inversa de $\frac{T}{S_y}$, es decir de $\frac{S_y}{T}$: $2.1 \cdot 10^{-3}(m^2/día)$, $5.25 \cdot 10^{-4}(m^2/día)$, $2.6 \cdot 10^{-4}(m^2/día)$.

A continuación se muestra una tabla con los valores calculados del parámetro λ_{gw} , para los distintos valores de τ_i y de $\frac{S_y}{T}$.

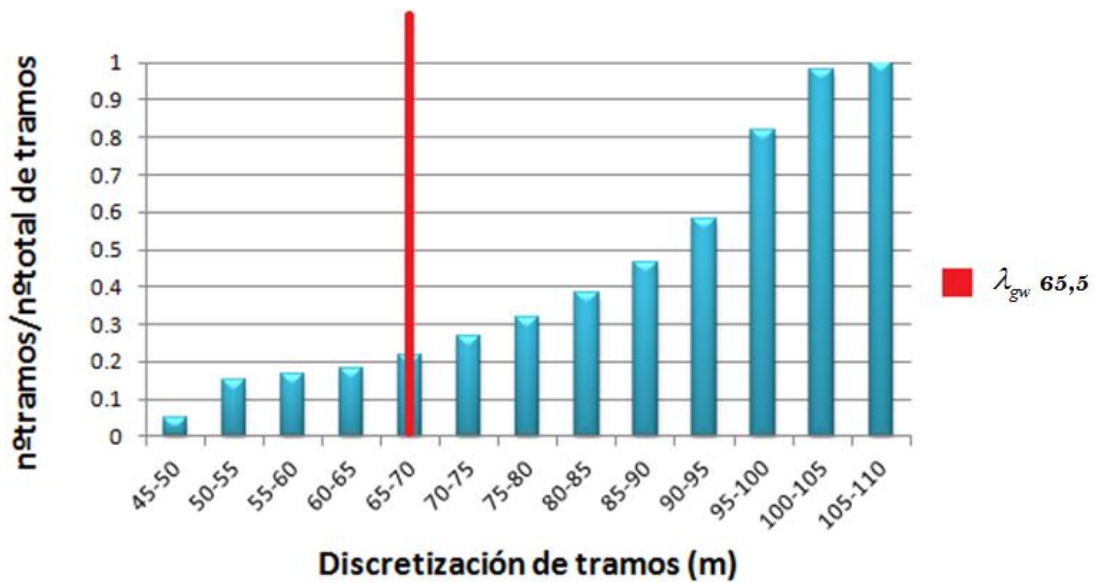
λ_{gw}	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_1 = 2.1 \cdot 10^{-3} (m^2/día)$	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_2 = 5.25 \cdot 10^{-4} (m^2/día)$	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_3 = 2.6 \cdot 10^{-4} (m^2/día)$
1 día= 24 horas	12.311	24.623	34.989
1.5 días= 36 horas	15.078	30.157	42.853
3.5 días= 84 horas	23.032	46.065	65.459

Tabla 3.5. Valores λ . Fuente: Elaboración propia.

Los valores anteriores se han representado en unas gráficas parecidas a las realizadas en el apartado anterior, pero en vez de tener en cuenta la anchura total del cordón litoral, se han realizado teniendo en cuenta la semi-anchura del cordón. Se muestran a continuación:



Gráfica 3.10: Valores λ_{gw} 1 día. Semianchura, valores acumulados, tramo Pedrucho. Fuente: Elaboración propia.



Gráfica 3.11: Valores λ_{gw} 1 día. Semianchura, valores acumulados, tramo Venezia. **Fuente:** Elaboración propia.

Metodología elaboración de mapas con representación del valor λ_{gw}

Para la elaboración de los mapas de los dos tramos considerados, tramo T3. Venezia, y tramo T5. El Pedrucho, se han elegido los valores más representativos de lamda, en este caso, dichos valores corresponden a la última columna de la tabla expuesta unas páginas atrás, correspondiente a $\left(\frac{S_y}{T}\right)_3 = 2.6 \cdot 10^{-4} (m^2/día)$.

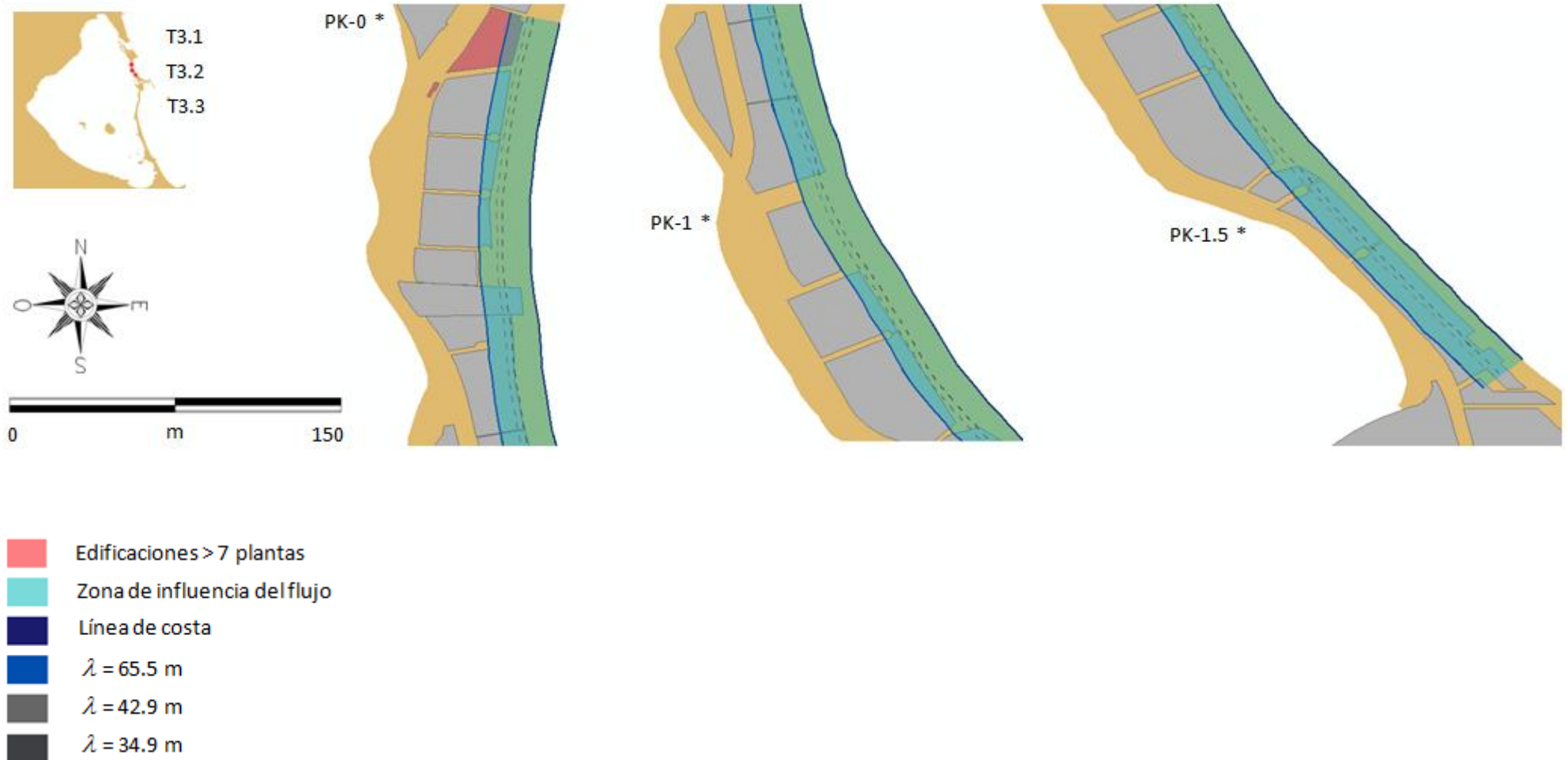
Lo que se pretende observar con la elaboración de estos mapas, es el alcance que tiene el flujo del Mar Mediterráneo atravesando el cordón litoral, teniendo en cuenta las edificaciones existentes en el mismo.

En la elaboración de dichos mapas se ha tenido en cuenta la altura de los edificios de ambos tramos, para ello se ha coloreado en un tono rojizo las parcelas dónde se encuentran edificaciones de alturas superiores a las 7 plantas. También, para mayor seguridad en los mapas, se han incluido una serie de fotografías de google earth mostrando T3 y T5. En dichas fotografías se han representado estas edificaciones, haciendo con esto que sea más fácil identificar dichas construcciones en los mapas elaborados.

3.5. RESULTADOS

A continuación se mostrarán los resultados obtenidos para los tramos considerados: T.3. Veneziola y T.5. El Pedrucho. En ellos se pueden observar los tres valores de λ_{gw} considerados con distintos tipos de trazas, además de la línea de costa marcada en un tono azul marino, junto con las edificaciones mayores de siete plantas coloreadas en tonos rojos. Para una mejor comprensión de los mapas realizados, se han reseñado los distintos puntos kilométricos que se encuentran en cada fotografía, de esta forma se puede ubicar el subtramo de una forma fácil y sencilla. Además también se han incluido mapas de la zona del Campo del Mar Menor donde se han señalado los puntos que corresponden a los mapas realizados. Por último, como ya se comentó anteriormente, se muestran una serie de fotografías tomadas de google earth de la zona en cuestión, en las cuales se han identificado las construcciones mayores de siete pisos. De esta forma puede verse la correspondencia entre los mapas realizados a partir de la información geográfica del Instituto Geográfico Nacional (IGN), con la realidad.

TRAMO T.3. VENEZIOLA



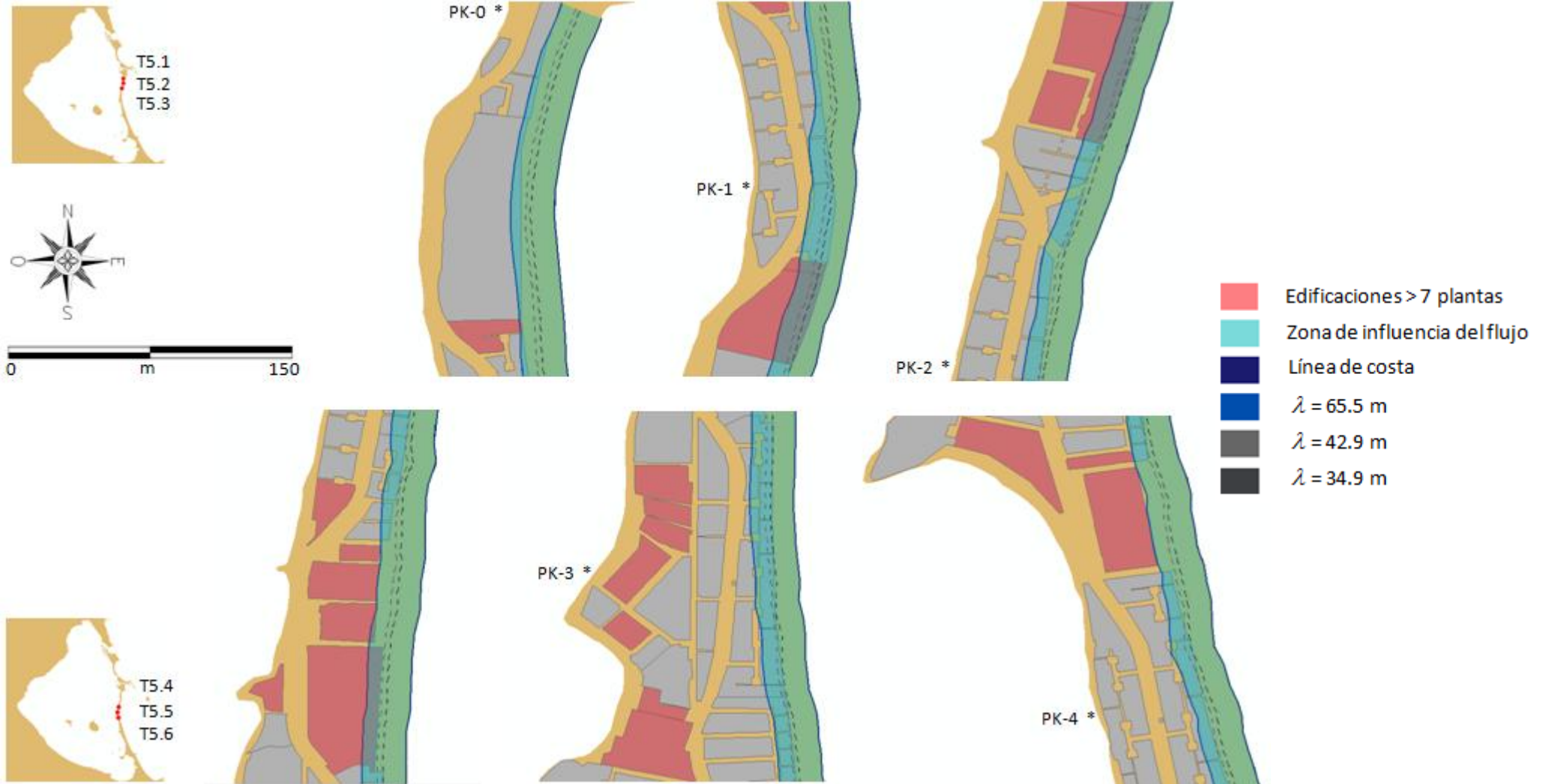
Imágen 3.25, 3.26, 3.27. Representación del valor de atenuación λ para el tramo T.3. Fuente: Elaboración propia.

IMÁGENES GOOGLE EARTH: T.3. VENEZIOLA



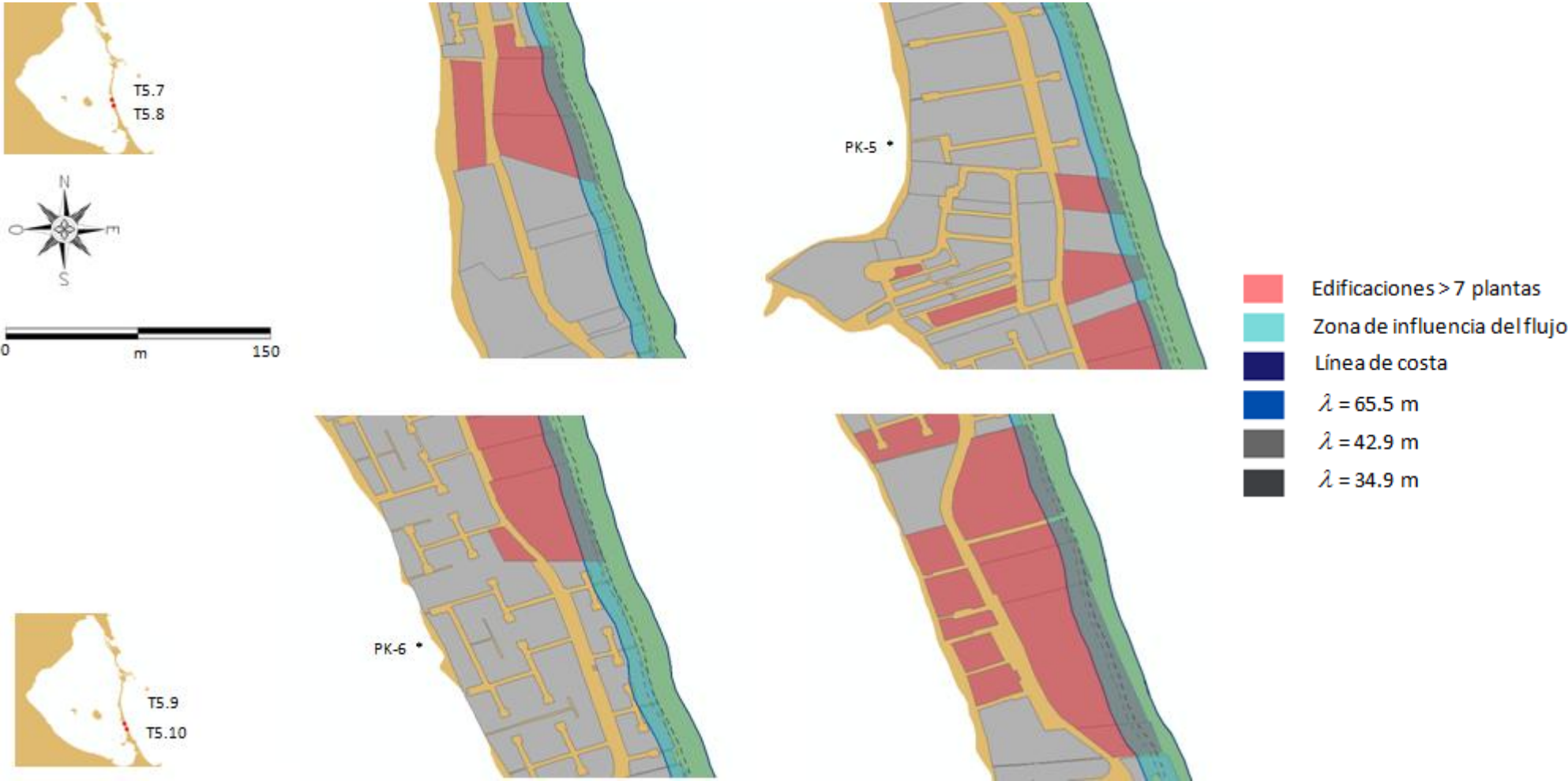
Imágenes 3.28 , 3.29 , 3.30. Vista aérea del tramo T.3. Fuente: Elaboración propia.

TRAMO T.5. EL PEDRUCHO



Imágenes 3.31, 3.32, 3.33, 3.34, 3.35, 3.36. Representación del valor de atenuación λ para el tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

TRAMO T.5. EL PEDRUCHO



Imágenes 3.37 , 3.38 , 3.39 , 3.40. Representación del valor de atenuación λ para el tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

TRAMO T.5. EL PEDRUCHO



Imágenes 3.41 , 3.42. Representación del valor de atenuación λ para el tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

IMÁGENES GOOGLE EARTH: T.5. PEDRUCHO



Imágenes 3.43 , 3.44 , 3.45 , 3.46 , 3.47 , 3.48. Vista aérea del tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

IMÁGENES GOOGLE EARTH: T.5. PEDRUCHO



Imágenes 3.49 , 3.50 , 3.51 , 3.52. Vista aérea del tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en las fotografías, los resultados obtenidos son muy interesantes, pues en ellas se puede apreciar con total claridad, cómo las edificaciones quedan bajo la influencia del flujo subterráneo del Mar Mediterráneo hacia el Mar Menor. En el tramo T.3. sobre todo se estima cómo el valor de $\lambda_{gw} = 65,459$, afecta a la totalidad del tramo, quedando todas las parcelas bajo su influencia, mientras que los otros dos valores de λ_{gw} representados afectan en mayor medida a la parte situada más al Sur, lugar hacia donde el cordón se va estrechando ligeramente y los edificios quedan más próximos a la costa. Con ello podemos afirmar que los flujos de agua subterránea quedan influenciados por las cimentaciones de dichos edificios, pues como ya se comentaba en el capítulo introductorio, las cimentaciones de grandes edificios forman una barrera impermeable, haciendo que los flujos no puedan seguir su camino natural, sino que han de sortear estos obstáculos, en el caso de que sean suficientemente fuertes, o de lo contrario quedarán frenados por dichas pantallas, actuando de esta forma como una presa, lo cual puede dar lugar a problemas de inestabilidad en las edificaciones. Cabe decir que en este tramo, las cimentaciones no han de ser tan profundas como en el tramo que estudiaremos a continuación, pues los edificios son de menor altura, ya que la zona está ocupada principalmente por viviendas familiares de 1- 2 plantas o como máximo con bloques de pisos de 6 alturas, tal y como puede observarse en las imágenes mostradas en páginas anteriores, sobre altura de edificaciones a lo largo del cordón litoral del Mar Menor y tipología de las mismas.

En el tramo T.5. ocurre algo parecido a lo ocurrido en el tramo T.3., el valor de $\lambda_{gw} = 65,459$ afecta a la totalidad de las parcelas a lo largo de este tramo de cordón. Por el contrario que en el tramo anterior, los otros dos valores de λ_{gw} , que afectaban poco a las parcelas, en este caso afectan en mayor medida. Esto se debe principalmente, a que este tramo es el que consta de mayor urbanización, pues es la zona donde se concentra mayoritariamente el turismo, por lo cual, la construcción está más masificada y próxima a la costa, haciendo con ello que la afección de los flujos subterráneos sea mayor. Esta es también una de las partes más estrechas y alargadas del cordón, de tal forma que es más fácil que los flujos se encuentren afectados por las construcciones, pues éstas han aprovechado hasta el límite la zona de construcción cercana a la costa.

A continuación, se van a exponer dos tablas que recogen valores que se han considerado de importancia para cada uno de los subtramos en los que se han dividido los tramos T.3. y T.5.. La metodología seguida para la obtención de los datos adjuntos en las tablas ha sido la siguiente: en primer lugar se ha hecho uso del mapa de la zona concreta. Seguidamente, para el cálculo de las anchuras medias de cada subtramo, en ArcGis, se han ido realizando varias medidas de anchura de cada subtramo, y a partir de ellas se ha realizado la media, obteniendo de esta forma

el valor que se muestra en la tabla. Para el cálculo de las altura máximas aproximadas, nos hemos ayudado del proyecto fin de carrera de un alumno de la escuela, donde viene representada una gráfica con el perfil de alturas a lo largo de todo el cordón de La Manga del Mar Menor. Para conocer el número de parcelas de más de 7 plantas y menos de 7, tan sólo se han contabilizado las mismas a partir de las imágenes de cada subtramo.

Tramo T.3. Veneziaola

	Altura máxima aprox. cordón (m)	Anchura media (m)	Parcelas > 7 plantas	Parcelas <7 plantas
T 3.1	2.5	187.01	2	6
T 3.2	3	186.27	0	6
T 3.3	3.3	119.91	0	4

Tabla 3.6. Datos específicos del tramo T.3. Fuente: Elaboración propia.

Tramo T.5. El Pedrucho

	Altura máxima aprox. cordón	Anchura media	Parcelas > 7 plantas	Parcelas <7 plantas
T 5.1	1.2	181.08	1	6
T 5.2	1.5	167.06	2	13
T 5.3	2.3	177.57	2	13
T 5.4	4.5	204.69	6	9
T 5.5	9.5	302.61	7	28
T 5.6	7.5	269.39	3	17
T 5.7	3.5	267.09	4	11
T 5.8	4.2	418.12	6	32
T 5.9	4.6	339.56	4	16
T 5.10	2.9	287.83	11	4
T 5.11	8.3	365.89	5	22
T 5.12	20	622.58	5	33

Tabla 3.7. Datos específicos del tramo T.5. Fuente: Elaboración propia.

3.6. CONCLUSIONES

En el estudio realizado, se ha intentado poner de manifiesto la ubicación de los edificios con cimentaciones profundas a lo largo del cordón litoral, que pueden dar lugar a una interferencia en la dinámica de los flujos subterráneos existentes entre el Mar Menor y el Mar Mediterráneo

Como principales conclusiones del estudio realizado en el Mar Menor, puede decirse que para los dos tramos estudiados, se ha encontrado una influencia bastante notable de las cimentaciones en el flujo subterráneo existente entre el Mar Mediterráneo y el Mar Menor para valores temporales de 1 día, 1.5 días y 3.5 días, sujetos a un valor de

$$\left(\frac{S_y}{T}\right) = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/d . \text{ Sobre todo, el valor más significativo es para 3,5 días, el cual afecta a}$$

la totalidad de las parcelas existentes en ambos tramos considerados. Hay que decir que el tramo T.5. es el más urbanizado de todo el cordón, tal y como puede observarse en las imágenes mostradas sobre tipología de edificaciones y alturas de los mismos mostradas anteriormente, en las que si contabilizamos las edificaciones de más de 7 plantas, se puede determinar la existencia de aproximadamente más de 80 construcciones. El hecho de que este tramo esté más construido no es simplemente lo que afecta a los flujos, sino que en esta zona es el lugar dónde se ubican los grandes hoteles turísticos, los cuales necesitan de grandes cimentaciones, que son las responsables de actuar como pantalla en el curso de los flujos existentes del Mar Mediterráneo hacia el Mar Menor. El turismo ha afectado en la tipología de las construcciones de este tramo (T.5.), haciendo necesarios la construcción de grandes complejos de alturas de más de 20 plantas en algunos casos, tal y como se ha comentado, lo cual favorece la utilización en algunos procesos de no sólo una línea de pilotes, sino la utilización de dos o más líneas de ellos para que los edificios tengan una buena estabilidad, provocando con ello que la influencia sobre los flujos subterráneos aumente de forma considerable. Por el contrario, en el tramo T.3., las parcelas están afectadas en menor medida, pues las edificaciones presentes en este tramo son más escasas y de menor altura, con lo cual la influencia que éstas puedan tener en los flujos subterráneos son menores que en el otro tramo estudiado.

Como se comentó en el capítulo I, la influencia de cimentaciones profundas en cordones litorales es bastante importante, sobre todo cuando hay varios edificios construidos mediante pilotaje, de tal forma que crean un efecto barrera sobre los flujos subterráneos. De estudios realizados sobre el tema (ponencia de Beatriz Sierra Ruiz y Elena Sánchez Badorrey), se deduce experimentalmente que tanto los niveles piezométricos como los flujos son afectados por la presencia de pilotes, tanto más, cuantos más pilotes haya construidos transversalmente en el cordón, es decir, uno al lado del otro vista una sección transversal del cordón.

Por ello, el cambio generado por las cimentaciones profundas, en la distribución espacial, magnitud y orientación del flujo, puede suponer una alteración de la funcionalidad ambiental del cordón, dada la influencia de la variabilidad del nivel freático en el sustrato oxidativo y la composición biogeoquímica del sustrato (Ursino et al. (2004), Li et al (2005) y Silvestri y Marani (2004)), y su impacto en la distribución espacial de las comunidades biológicas que albergan. Es por ello por lo que se ha de tener especial cuidado en el ámbito del Mar Menor, pues las grandes construcciones que se han realizado, no han tenido en cuenta estos efectos negativos sobre el medio ambiente, lo cual, a la larga será muy perjudicial, ya que dentro de unos años, esta zona no se conocerá tal y como hoy día se conoce.

Debido a la degradación ambiental y el excesivo crecimiento y desnaturalización que ha sufrido el Mar Menor durante las últimas décadas, se han de tomar serias medidas al respecto, además es necesario que sirva como ejemplo de colmatación urbanística y desarrollo turístico, para que, en otros casos similares de lagunas costeras, no se incurran en los mismo errores que en La Manga. Es imprescindible para ello que el medio ambiente tenga primacía sobre el sector turístico, pues estas son lugares de especial belleza, en las que éste último traería consigo grandes beneficios económicos, lo cual, en muchos casos, por desgracia, son los intereses que priman.

CAPÍTULO IV. CASOS DE NADOR Y CAPE COD

4.1. INTRODUCCIÓN

Este capítulo se centra en el estudio de dos cordones litorales como son: Cape Cod (Massachusetts) y Nador (Marruecos), en los cuales se puede llevar a cabo la metodología para la planificación futura de edificaciones. Puesto que estos cordones aún están sin edificar, se ha de aprender de los errores cometidos en La Manga del Mar Menor, y llevar a cabo una planificación urbanística sostenible con el medio ambiente, de tal forma que no se degrade como ha ocurrido en La Manga. Para ello se han de aunar esfuerzos y realizar un estudio previo del impacto que las mismas puedan ocasionar en el entorno. A continuación se procederá con más detalle a un estudio de cada uno de los dos cordones.



Imágenes 4.1 y 4.2: Izq. Localización Cape Cod. Derech. Localización Mar Chica. **Fuente**: Elaboración propia

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

-CASO DE NADOR

Localización

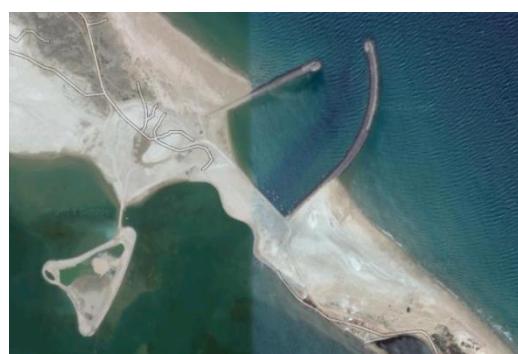
La laguna de Nador, o también llamada Mar Chica o Bou Areg, de 115 km², se encuentra situada en el noreste de Marruecos, en la parte central de la gran bahía de Nador. Esta zona, entre el Rif y el Atlas, de coordenadas geográficas: 35°9,21 N - 2°50,58 N, se caracteriza por tener pequeñas montañas que dominan amplias depresiones más o menos planas. Aquí, se individualizan pequeñas redes hidrográficas mediterráneas cuya cuenca, Bou Areg, se extiende sobre centenas de kilómetros cuadrados. Esta cuenca está definida por dos cadenas montañosas

que alcanzan el sureste de la misma: el macizo de Kibdana, con 932 m de altitud máxima, y las montañas alineadas de norte a sur, formadas por el macizo de Gourougou, con 887m y Bni Bu Ifrouf con 697 m.

La laguna está alimentada por las aguas del Mar Mediterráneo a través de un único punto, conocido como Bukhana, de 120 m aproximadamente, distancia que distan las dos barreras arenosas que separan esta laguna del mar abierto, también se encuentra alimentada por los ríos de agua dulce y el vertido de aguas residuales procedentes de las diversas actividades humanas llevadas a cabo en las ciudades que rodean dicha laguna: Beni Enzar, Kariat Arkmane y Nador.

La laguna de Nador es la única laguna costera en la costa mediterránea de Marruecos, tiene forma semi-elíptica. Está separada del Mar Mediterráneo por dos franjas arenosas: Boukhana, con 10 km de largo al norte, y Aljazeera de 12.5 km de largo al sur. Como ya se ha comentado anteriormente, estas dos barreras distan entre sí, una longitud de 120m, longitud que es aprovechada por el Mar Mediterráneo y la laguna de Nador para establecer su comunicación. La anchura máxima que llega a alcanzar esta laguna es de 7,5 km. Su profundidad es variable, entre 0,5 y 4 metros en la periferia y entre 5-7 metros en el centro.

Las barras arenosas, además, están formadas por dunas consolidadas, poseen una altura entre 3 y 20 metros, y una anchura de 300 a 1000 metros, llegando incluso en el sur a ocupar una anchura de 2 km.



Imágenes 4.3 y 4.4: Izq. Dimensiones Mar Chica. Derech. Detalle de la gola del Mar Chica. **Fuente:** Elaboración propia

4.3. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS

-GEOMORFOLOGÍA DE LA ZONA

La laguna de Nador está caracterizada por cuatro dominios estructurales: el macizo de erupciones volcánicas de Gourougou, el macizo Beni-Bour-Iffrou, la llanura de Bou-Areg y el macizo de Kbdana. Estas formaciones se encargan de alimentar los fondos de la laguna con material sedimentario, por lo que es de gran importancia el estudio de su composición e historia geológica.

Procedemos a continuación a realizar un pequeño comentario de cada una de estas formaciones geológicas, ayudándonos para ello del texto de Alberto Mendoza.

-El monte volcánico Gourougou

Este monte es una montaña baja eruptiva, en forma de cono, que domina las ciudades de Nador y Melilla. Posee una altitud de 887 m, y consta de pendientes bastante pronunciadas además de unos 30 km de diámetro en la base.

Las erupciones volcánicas que han creado este volcán durante el Terciario y Cuaternario temprano, han dado lugar a las largas coladas de traquitas y riolitas, andesitas y basaltos. Estas rocas se han extendido hasta la frontera oriental de la llanura de Bou Areg, el nivel de Arkmane.



Imagen 4.5: Monte Gourougou. Nador. **Fuente:** Grupo de Acción para el Medio Ambiente. GRAMA.

-Macizo Beni Bu Ifrou

Este macizo está marcado por varios accidentes tectónicos, y es conocido por sus explotaciones de hierro. Alcanza una altura de 699m y constituye la base del vulcanismo de Gourougou. Su historia se extiende desde el Jurásico (calizas, areniscas y margas calcáreas), al Cretácico (series de piedra arenisca-esquisto y volcanso-sedimentarias). Todo está cubierto por el Mioceno (melaza). Una parte del macizo está atravesado por varias venas microgranodioríticas, asociadas con la mineralización del flysch y la piedra caliza, lo que explica su gran cantidad de hierro.

-Llanura Areg Bou

Forman parte del hundimiento de la cuenca 'Gareb-Bou-Areg'. Los conglomerados y areniscas del Plioceno constituyen los cimientos de esta llanura, pero la mayor parte de la misma está cubierta por arcilla roja del cuaternario medio. El espesor de estos depósitos excede 120 m cerca del mar.

Las diversas deformaciones, fallas y ejes anticlinales y sinclinales, han afectado a esta llanura, junto a la llanura de Gareb. La subsidencia que acompaña estas deformaciones dió lugar a la reciente construcción de las terrazas fluviales que cubren las formaciones más antiguas.

-Montaña Kbdana

Se eleva a una altura de 937 m y se caracteriza por la abundancia de piedra caliza y margas del Jurásico al Mioceno tardío. Las laderas de la zona noroeste tienen la misma inclinación que mantienen hasta el mar, donde se extienden hacia el este a través de acantilados verticales.

El macizo Kbdana está rodeado por un conjunto de fallas y pliegues, al igual que ocurre con todas las unidades orográficas del Norte-Este, de hecho, éste es un gran pliegue fuertemente doblado y ligeramente inclinado hacia el sur.

Los acontecimientos geológicos que marcan la historia de la cuenca del Mediterráneo norte oriental de Marruecos, caracterizada por la influencia combinada de la tectónica y el vulcanismo, son:

- ✓ La formación de los macizos Kbdana (Jurásico) y Beni-Bu-Iffrou (Jurásico Cretácico).
- ✓ El hundimiento de la llanura de Bou-Areg.
- ✓ La sucesión de episodios transgresivos y regresivos.

- ✓ Las erupciones volcánicas.
- ✓ La génesis de la laguna de Nador.

-GEOMORFOLOGÍA DEL CORDÓN

La isla barrera que separa la laguna del mar está compuesta de una base de dunas consolidadas, barras de calcoarenitas, separadas por corredores en forma de canales, a veces, de aspecto pantanoso. En él se pueden identificar cuatro unidades sedimentarias con distintas características. Las más antigua data del Pleistoceno, y está compuesta por un facies litificado de calcarenita que testifica un medio sedimentario costero de alta energía. Las barras más recientes indican la existencia de una dinámica del borde del mar (alta influencia de las mareas). Por otro lado, la isla muestra en algunos lugares una serie de depósitos asociados a las olas de tormenta. Todas esta características sedimentarias indican un sistema de isla barrera transgresora.

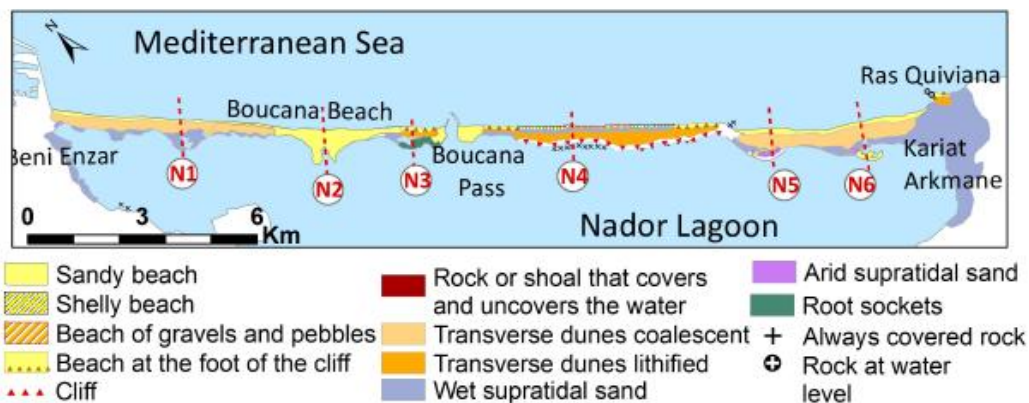


Imagen 4.6: Geología superficial del cordón litoral de Nador. Fuente: Información de Lillio Carpio, 1995

Por el lado de la laguna, el borde del cordón presenta unidades norte y sur de pendientes suaves, mientras que las barras de calcarenita se encuentran entre estas dos unidades dominando la laguna por un alto acantilado.

Por el lado del Mar Mediterráneo, el cordón muestra dunas vivas y playas, interrumpidas localmente (en la zona centro), por acantilados. Estas playas están constituidas en su mayoría de arena con conchas y su anchura varía entre 20 y 5 m.

Al sur de la Bukhana, el cordón muestra corredores correspondientes a los antiguos pasos que han sido invadidos por plantas acuáticas altas y densas. Los corredores existen igualmente

en el norte del paso, pero su traza está poco marcada dentro del paisaje de dunas vivas bajas (3m). Estos corredores constituyen eventualmente flujos con aportaciones de agua y sedimentos marinos en la laguna debido a las olas de tormenta. Por este motivo, juegan un papel fundamental en la configuración de la isla, en la hidrología y en el engorde del margen oriental de la laguna.



Imagen 4.7: Detalle del cordón de Nador, derech, Mar Mediterráneo, izqu. Mar Chica.
Fuente: Grupo de Acción para el Medio Ambiente. GRAMA

-HIDROLOGÍA DE LA ZONA

Las llanuras de Bou Areg y del Gareb poseen acuíferos que constituyen reservas hídricas muy importantes.

El acuífero de Bou Areg, de 190 km² de superficie, se compone principalmente de formaciones lacustres villafranchiennes (Carlier, 1971). Su profundidad es de 40 m cerca de Kibdana y de 1 m cerca de la costa. Las aguas de este acuífero fluyen directamente hacia la laguna y su resurgimiento freático aparece sobre el borde continental de la laguna, sobre todo a nivel de los ríos.

El acuífero de Gareb, de mayor extensión que el anterior, ocupando un área de 290 km², además de poseer mayor profundidad (80 m al sur y 20 m al norte), fluye hacia el norte y por lo tanto actúa indirectamente sobre la laguna Bou Areg.

Sin embargo, diversos factores, tales como las pendientes profundas de los macizos, la falta de sistemas de captación y el clima árido, juegan un papel en contra de la constitución de acuíferos y generan flujos temporales en la superficie de las montañas. Desde el desarrollo hidroagrícola de la llanura, el riego contribuye de manera significativa a la recarga del acuífero. Por otro lado, existen una infiltración de agua marina en el acuífero, al menos en el noroeste, por lo que las aguas del acuífero Bou Areg son salinas y enriquecidas en nutrientes.

Datos hidrológicos e hidrodinámicos

La hidrología de la laguna de Nador depende de tres tipos de recursos hídricos, los cuales constan de características hidrodinámicas y físico-químicas muy diferentes, estos recursos son:

- Aportaciones marinas.
- Aportaciones continentales naturales provenientes de la escorrentía de aguas pluviales y aguas subterráneas.
- Aportación de aguas residuales tratadas y sin tratar.

Detallando cada una de estas aportaciones tenemos, haciendo uso de la información recogida en el PFC de Alberto Mendoza, lo siguiente:

-Aportaciones marinas.

Los intercambios entre la laguna el Mar Mediterráneo se realizan en la actualidad por una gola de 250 m de longitud. Allí las corrientes de marea son muy intensas (aprox. 1 m/s), bidireccionales, alternantes y disminuyen gradualmente de norte a sur. Por el contrario, en la costa continental de la laguna, las corrientes son débiles y disminuyen pasando a ser de menos de 0,05 m/s. La marea es de tipo semi-diurno, variando entre 0,5 m (mareas vivas) y 0,1 m (mareas muertas). En ausencia de mareas, el viento, es el principal factor de circulación y renovación del agua. Además de estos intercambios regulares, las aguas marinas rompen dentro de la laguna por encima del cordón durante las tormentas, las cuales generan grandes olas que llegan a la laguna en forma de corredores poco profundos que existen a lo largo del cordón litoral.

También se da la existencia de un intercambio mar-laguna debido a la filtración a través del cordón que, aunque el flujo es bajo, ejerce influencia sobre las propiedades físico-químicas y la integridad biológica de las aguas de la laguna. Éste último caso es el tema en el que se basa el presente proyecto, y que posteriormente analizaremos con más detalle, mostrando imágenes de la influencia de los flujos subterráneos entre el Mar Mediterráneo y el Mar Chica.

-Aportaciones continentales

La red hidrográfica de Bou Areg se compone de multitud de pequeños arroyos poco ramificados. La mayoría de ellos se encuentran limitados a los periodos de fuertes lluvias, mientras que algunos wadis/cauces permanentes, como son: Akhandouk, Caballo, Selouane, Arkmane... están formados por las aguas provenientes de las alcantarillas de las zonas urbanas que atraviesan.

A continuación se caracterizan las principales corrientes:

-Oued Bouaroug: desemboca al sur de la ciudad de Nador. El río alimenta a la laguna de aguas residuales no tratadas de la ciudad de Zeghanghane y también las derivadas de la alteración del estrato volcánico del Gourougou.

-Oued Selwan: consiste en uno de los ríos más grandes la región de Nador. Aporta tanto materiales naturales, derivados de la erosión de las formaciones de calizas y margas calcáreas de Selwan y limo de la llanura de Bou Areg, como antropogénicos, procedentes de la industria y de la agricultura (pesticidas y nutrientes).

-Oued Afelioun: situado en el extremo sureste de la laguna, aporta las aguas residuales de la ciudad de Arkmane y escombros de piedra caliza Kibdana.

Los acuíferos de Bou Areg y Gareb aportan sus aguas a la laguna de Nador. En la actualidad, el techo del acuífero parece estar cada vez más bajo, a pesar de las contribuciones proporcionadas por el riego. Sus aguas desbordan en la laguna sólo localmente (costa sur), con afloramientos producidos a raíz de las fuertes lluvias y el riego intenso.

El canal de riego Bou Areg, coincidente en su parte terminal con el río Sidi Amer (o Iyamniouen), y el sistema de riego local que desemboca en la laguna aseguran la aportación irregular del exceso de agua para riego.

Los efluentes de las ciudades y poblaciones (Nador Sélouane, Zeghanghane, Arkmane...) deben ser considerados seriamente, dado el crecimiento acelerado de los centros urbanos. El flujo de la planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Nador depura desde hace 20 años unos 5000 m³/día (El Abassi y Yagoubi, 1984), mientras que el resto de aguas residuales de la ciudad, unos 1720 m³/día de agua, se vierten directamente en la laguna (Chatbi, 1983). Actualmente, existen tanques de decantación en Beni Ansar y está proyectada la construcción de una segunda planta de aguas residuales al sur de Nador.

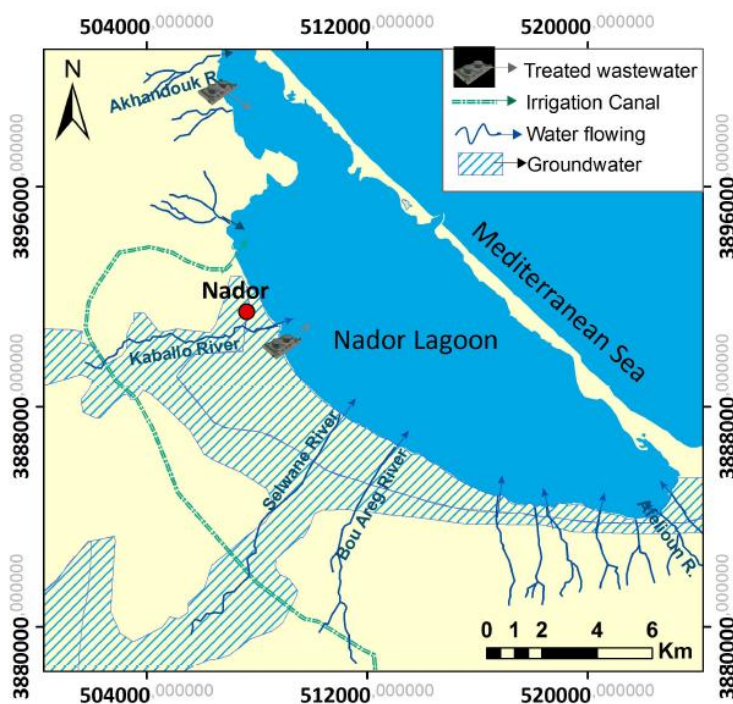


Imagen 4.8: Aportes de agua a la laguna de Nador. **Fuente:** Obtenida a partir del PFC de Isabel Jalón.

-HIDRODINÁMICA

La laguna de Nador es clasificada como laguna 'interior' pues el periodo de renovación de sus aguas se encuentra alrededor de los 80 días. El factor más importante que controla el tiempo de permanencia es la acción del viento en la superficie del agua. El rango de tiempo de permanencia oscila entre los 590 días en una situación con ausencia de viento y los 30 días bajo una acción de vientos moderados o fuertes (Abdellatif Orbi et al.).

En cuanto a la circulación de la superficie de la laguna, los vientos de superficie generan corrientes instantáneas que están implicadas en la misma dirección y acumulan el agua en el norte y en el sur. De hecho, generan olas estivales de dirección NE que nacen cerca del Lido y terminan en la costa continental, y un oleaje del OSO que parte de la orilla continental hasta el Lido. Estas corrientes se sumergen en profundidad en el medio de la laguna.

Se observa un retorno de la corriente en contra de la dirección del viento, causada por un gradiente de presión hidrostática longitudinal (Hilmi et al., 2005b).

-GOLA

Nos centramos a continuación en la gola existente en el cordón litoral de Nador, debido a que ha cambiado varias veces en el tiempo y puede seguir cambiando. Entre los años 1907 y 1910, la laguna se encontraba aislada y con predominio de la evaporación. En 1910 se realizó el primer dragado y a partir de ahí se sucedieron diferentes comunicaciones. La bukhana, que se corresponde con el paso actual, inaugurada en 1981 tras dos años de cierre de la laguna, se originó tras una fuerte tormenta. Posteriormente, fue obstruido gradualmente desde el año 1987 para cerrarse de nuevo en 1993. Los trabajos de acondicionamiento (ensanchamiento del canal existente, y la construcción de dos diques), han ayudado a restablecer la comunicación con el mar.



Imagen 4.9: Posición de la gola a lo largo del tiempo. **Fuente:** Basada en información de M. Dakki, 2003.

-ORGANIZACIÓN DE USOS Y RECURSOS

En los alrededores de la laguna de Nador, la agricultura es la actividad más extendida, ocupando un área de 21.823,21 ha, o el 47% de la superficie total, repartida en 6414 explotaciones (Khattabi et al. , 2008). El resto de área es ocupada por:

- ✓ Agua: principalmente la laguna.
- ✓ Arena: presente fundamentalmente en las playas y dunas de la laguna y condicionada por la erosión y la extracción para construcción.
- ✓ Urbanización: en el año 2006, la población dispersa ocupaba 3.076,93 ha, mientras que la urbanización densa 585,19 ha (Khayyabi et al., 2008). La ciudad de Nador forma el núcleo urbano más importante y de rápida expansión.
- ✓ Zona portuaria: el puerto comercial de Beni Enzar constituye la principal salida al mar para la región oriental de Marruecos y sus alrededores. Está situada a 15km de Nador y posee una población estratégica respecto a España.

El resto del suelo se encuentra ocupado principalmente por una vegetación muy rica en especies endémicas, raras y amenazadas. Cabe destacar la vegetación húmeda, que cubre las dunas y el cordón litoral, el matorral originado tras la degradación de los bosques, la thuya (cedro), ecosistema natural ubicado en el límite sudes de la ciudad de Kariat Arkmane, y los bosques, cuya replantación permite recuperar los recursos forestales de la región, satisfacer las actividades de recreo y fijar las dunas de arena.

Además de las tres poblaciones rurales más o menos consolidadas (Dzia, Hay el Masjid y Ouled Issa), existe una urbanización difusa a lo largo de todo el cordón, principalmente de pescadores. Entre los usos antropogénicos cabe destacar los 21 puertos pesqueros que conforman la base de la economía de la zona.

4.4. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE NADOR

Para describir las características socioeconómicas, se distinguen cuatro subdivisiones administrativas en torno a la laguna: Nador, Beni Ansar, Bouareg y Arkmane. La información que se muestra a continuación ha sido extraída del PFC de Alberto Mendoza, el cual obtuvo dicha información a partir del Censo de Población y Vivienda (RGPH) de 2004.

-POBLACIÓN Y VIVIENDAS

El área de estudio tiene aproximadamente 198.786 hab. , distribuidos en 41.865 hogares con un tamaño promedio de 4,7 personas por hogar. El 84,8% de la población es urbana, mientras que el 15,2% es rural. El componente femenino está alrededor del 50%. De estudios realizados se deduce que la mayoría de la población se encuentra concentrada en las ciudades de Nador

(con una densidad de 2.866 hab/km²) y Beni Ansar (con una densidad de 1045 hab/km²). Asimismo, la totalidad de la población rural vive en las comunidades de Arekmane y Bouarg.

Subdivisión Administrativa	Población					Viviendas	
	Urbana	Rural	Masculina	Femenina	Total	Total	Personas/hogar
MU Beni Ansar	31.800	0	16.368	15.432	31.800	6.799	4,7
MU Nador	124.915	0	63.059	61.856	124.915	26.691	4,6
CR Bouareg	6.641	16.470	11.852	11.259	23.111	4.385	5,3
CR Arekmane	5.228	13.732	9.251	9.709	18.960	3.720	5,1
Total	194.064	31.304	113.625	111.743	225.368	46.984	4,8

Tabla 4.1: Distribución de la población. **Fuente:** Datos obtenidos a partir del PFC de Alberto Mendoza

La población de la zona creció de 173.708 en 1994 a 198.786 habitantes en 2004, resultando esto un incremento de 25.078 personas durante 10 años. Este crecimiento se atribuye principalmente a los municipios de Nador y Beni Ansar, que como ya es de suponer, en ellos se concentra la mayor parte de la actividad económica del lugar, dando como resultado la migración a estas comunidades.

-ACTIVIDADES ECONÓMICAS

En el área de estudio, las actividades económicas son de dos tipos: las basadas en la explotación y procesamiento de recursos naturales tales como la agricultura, ganadería, pesca, industria y artesanía y actividades complementarias como el comercio, el turismo y el sector servicios. En orden de importancia, se puede decir que la agricultura es la principal actividad llevada a cabo por la población. Es seguido por la pesca, el comercio y, finalmente, el trabajo remunerado (Boubkraoui H. et al., 2008).

Agricultura

La mayor parte de la ocupación del suelo de la zona es de tierras agrícolas, llegan a ocupar 27.847 ha, las cuales están divididas en riego y seco, con 8.351 y 19.496 ha (Boubkraoui H. et al., 2008), respectivamente. La mayoría de estas tierras se encuentran en las comunidades de Arekmane (11.770 ha) y Bouareg (9.858 ha).

Los cultivos que se dan son muy variados, como puede ser: cereales 51,5%, 10,78% de horticultura, 9,27% de cultivos industriales, 5,13% de cultivos frutales, 4,69% de cultivos oleoginosis, 3,63% de forraje y el resto es tierra en barbecho (Boubkraoui H. et al., 2008).

También cabe decir que las mayoría de las tierras agrícolas, son en su mayoría 'Melk' (99,46%), es decir, son tierras comunales.

Ganadería

La ganadería es la actividad que se realiza en paralelo con la agricultura. El tipo de ganado se divide entre las categorías de bovinos, ovinos y caprinos. Los animales de tiro son principalmente burros y mulas. Esta actividad se puede clasificar en:

- ✓ Ganado de razas puras o mestizas intensivo.
- ✓ Pastoreo de ganado en zonas amplias de montaña.

Pesca

La pesca es una actividad bastante importante, puesto que genera puestos de trabajo para la población.

La laguna cuenta con 26 puntos de embarque, 21 de los cuales se encuentra en el cordón litoral y 5 en el borde sur de la laguna. El número de embarcaciones según Boubkraoui H. et al., se estima en 390, las cuales se están repartidas en varios puntos de desembarque.

Con la excepción de Sidi Ali, que cuenta con un infraestructura débil, los demás puntos tienen una falta total de infraestructura básica y de comercialización. Sin embargo puede afirmarse que son accesibles, lo cual lleva a:

- ✓ Rápido flujo de productos pesqueros.
- ✓ Suministro y reparación de material pesquero.
- ✓ Ingresos adicionales para los pescadores debido a su proximidad con los lugares turísticos.

A pesar de estos factores positivos que se dan, la actividad no llega a desarrollarse completamente. Esto es debido a:

- ✓ La regresión de peces por la contaminación de las aguas por aguas residuales.
- ✓ Falta de infraestructura básica.
- ✓ Falta de evaluación cualitativa y cuantitativa de los peces.
- ✓ Ausencia de asociaciones u organizaciones de pescadores.

Turismo

Este área se caracteriza por poseer un gran potencial natural, lo cual le da importantes ventajas como producto turístico. Algunas de estas ventajas son: proximidad con Europa, gran mercado emisor de turistas, clima favorable, además de un cuadro natural y medioambiental muy diverso: laguna, playas, bosques, montañas...(CCISN, 2006).

La actividad turística se puede dividir en dos grandes categorías: de baño y ecológica.

-Turismo de baño. La laguna de Nador está rodeada de tres playas: Kariat Arekmane, Mohandis y Bokan, las cuales cumplen con los estándares requeridos de calidad de las aguas de baño y arenas (CCISN, 2006).

El turismo nacional proviene de las principales ciudades cercanas y de otras regiones de Marruecos, se estima en un 93,8% (Khattabi, 2003). El turismo extranjero es de un 1,3% para visitantes del Norte de África y de un 4,8% para extranjeros provenientes de Francia, Holanda, Alemania, España y Bélgica.

Los visitantes suelen hospedarse en Nador, ciudad que cuenta con numerosos hoteles, aunque también está la posibilidad de hospedarse en ciudades como Arekmane y Bocana.

-Turismo ecológico: esta actividad se da en el macizo de Gourougou, que cubre un área de 1.351 ha y se encuentra próximo a las ciudades de Nador y Beni Ansar. Alberga una vegetación masiva, densa y cerrada basada en pinos y eucaliptos. La fauna se compone de especies reptiles, perdices y jabalíes.

A pesar de todo ello, el turismo está muy por detrás comparado con otros lugares del país. La contribución que da a la economía regional es muy débil, debido principalmente a la lejanía, falta de equipo y sobre todo por falta de una intervención temprana del estado.

Industria

Esta actividad es relativamente reciente y de baja capacidad de absorción de empleo, pues el tamaño de las unidades industriales es muy pequeño. Nos encontramos con la unidad Marost, dedicada a la pesca, como mayor representante, después está la industria agroalimentaria, la textil, química, mecánica, fabricación de ladrillos...

Comercio

El comercio es una actividad importante en la zona ya que genera una ocupación permanente para muchas personas. Sin embargo, la actividad está dominada por el sector informal debido a la proximidad con Melilla. Así, las instalaciones comerciales son muy reducidas en las comunidades rurales y algo mayores en las principales zonas urbanas (Beni Ansar y Nador).

4.5. TIPOS DE EDIFICIOS EN NADOR

Como puede observarse fácilmente a través de imágenes satélite del cordón litoral de Nador, las edificaciones principalmente se basan en casas tradicionales de la zona, de menos de 3 m de altura, y algunos núcleos de viviendas unifamiliares de planta baja, con alturas menores a los 6 m.

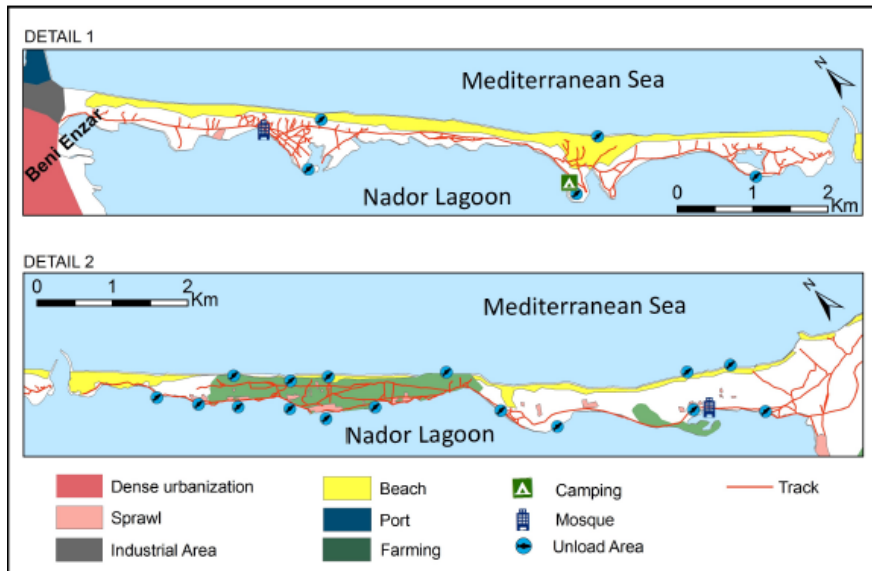
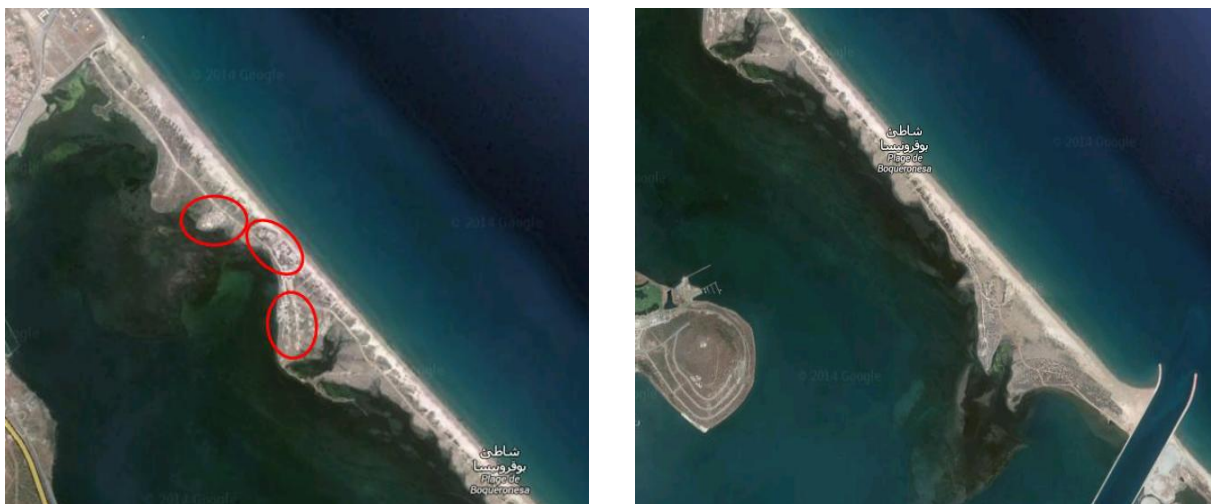


Imagen 4.10: Usos del suelo en el cordón litoral de Nador. **Fuente:** Imágen obtenida del PFC de Isabel Jalón

Puede verse que el cordón prácticamente se encuentra sin urbanizar. La no existencia de grandes construcciones urbanísticas es lo que principalmente queremos que quede reflejado en este proyecto, pues posteriormente a la muestra de resultados, se hará una comparativa de los cordones litorales, viendo con ellos las principales diferencias encontradas.

A continuación se muestra una imagen donde se encuentran localizadas las principales viviendas existentes en el cordón.





Imágenes 4.11, 4.12, 4.13 y 4.14: Localización de viviendas en el cordón litoral de Nador. Fuente: Elaboración propia

4.6. TRAMIFICACIÓN DEL CORDÓN

-METODOLOGÍA

En primer lugar, para la realización del estudio, se han tomado dos tramos de aproximadamente 3-3,5 km de longitud a ambos lados de la gola, los hemos llamado T.1 y T.2. Se han tomado estos tramos pues son los pueden tener mayor interés en el tema de estudio. En el tramo T.1. se puede comprobar que no existe ningún tipo de edificación a lo largo del mismo, mientras que en el tramo T.2. se observan grupos de casas diseminadas a lo largo del mismo, principalmente en la costa de la laguna.

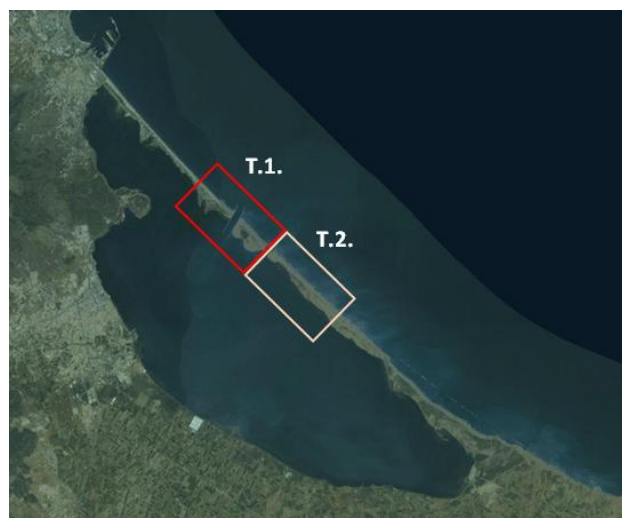


Imagen 4.15: Definición de tramos en el cordón litoral de Nador. Fuente: Elaboración propia

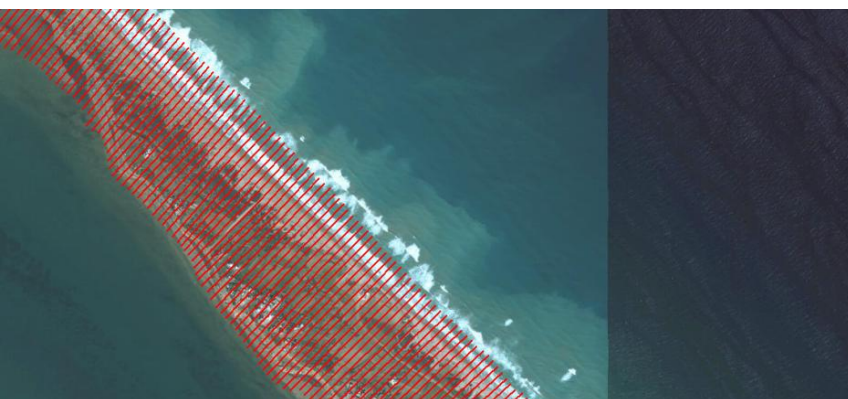
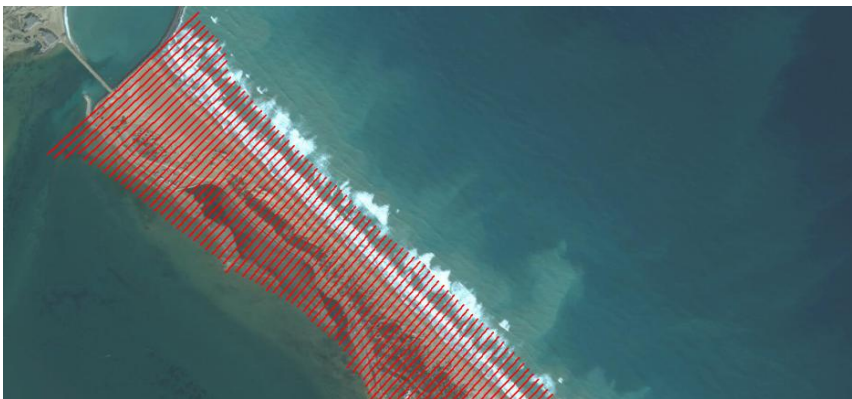
Posteriormente, se ha procedido a la discretización de ambos tramos cada 30 m. Después se han representado los valores λ_{gw} a lo largo de la costa, en el caso de Nador, por ser un cordón mediterráneo, al igual que el Mar Menor, y presentar características similares al mismo, se han tomado los mismos valores. La metodología seguida ha sido la misma que para el caso del Mar Menor. Hay que decir que la cartografía utilizada ha sido vía WMS a través del programa ArcGis. A continuación se muestran los resultado obtenidos:



Imágenes 4.16 y 4.17: Discretización tramo T.1. Fuente: Elaboración propia



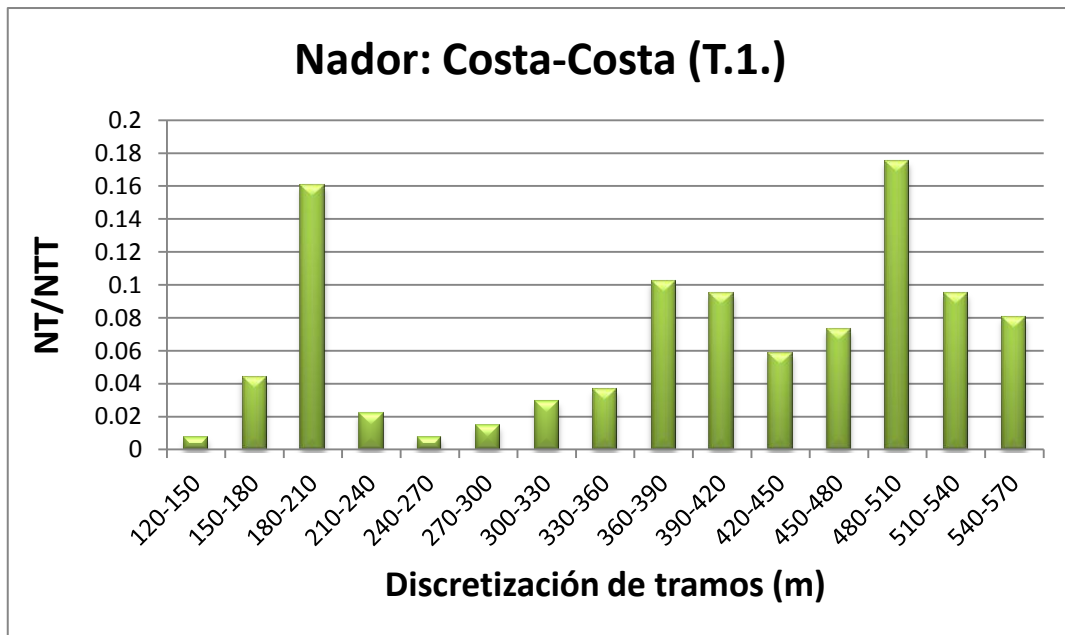
Imagen 4.18: Discretización tramo T.1. **Fuente:** Elaboración propia



Imágenes 4.19 y 4.20: Discretización tramo T.2. **Fuente:** Elaboración propia

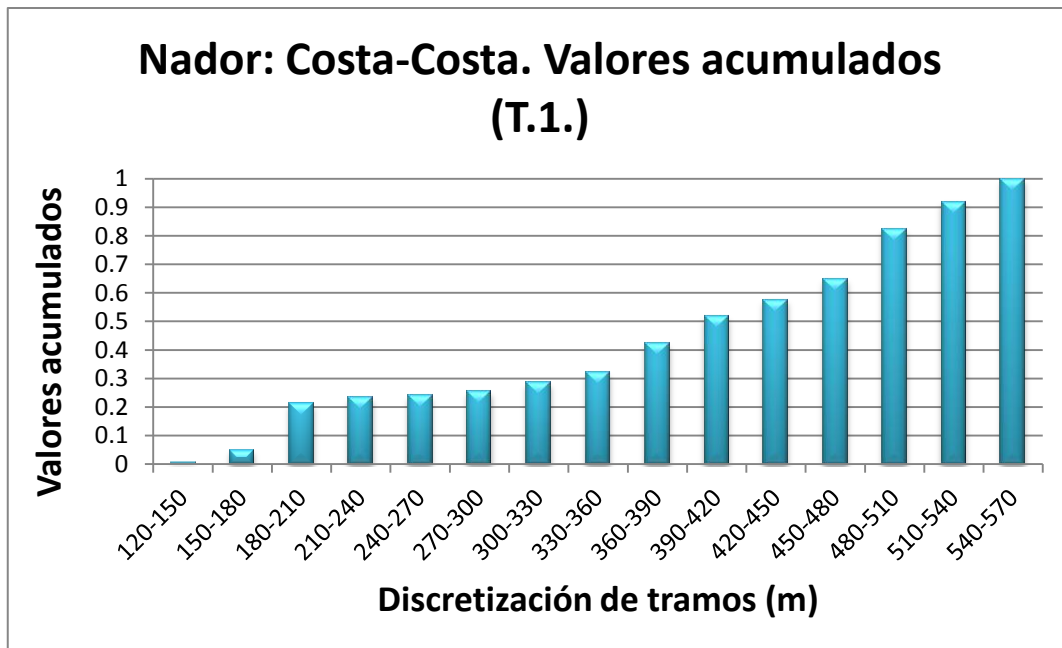


Imagen 4.21: Discretización tramo T.2. **Fuente:** Elaboración propia

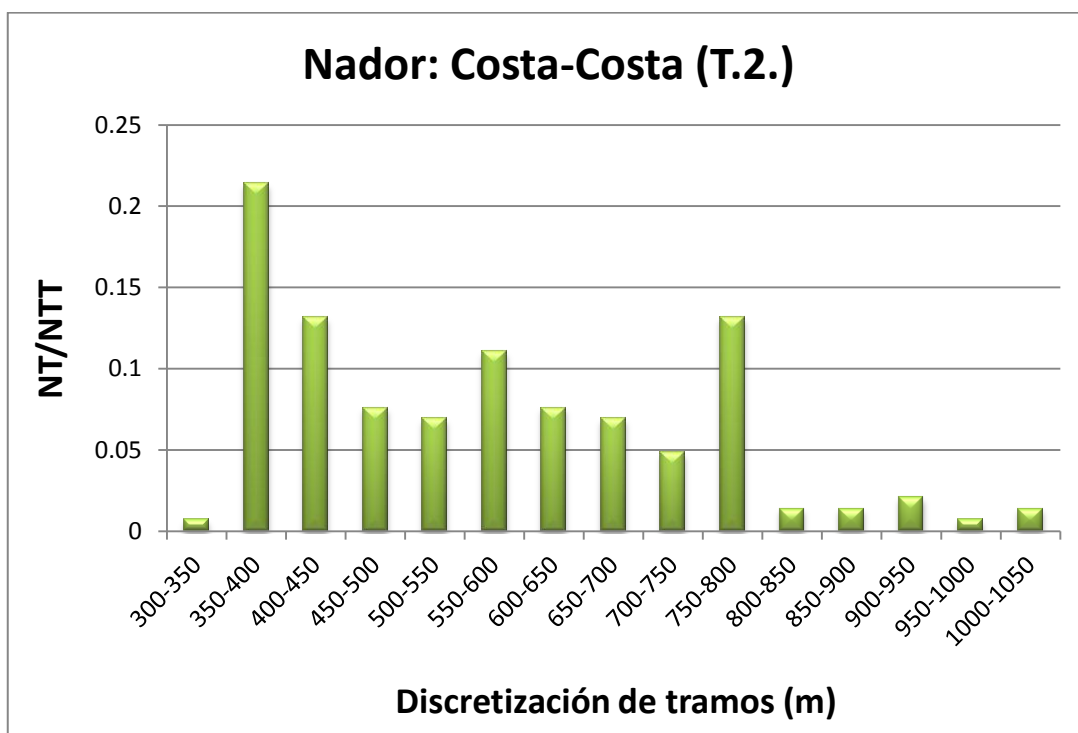


Gráfica 4.1: Valores discretizados Costa-Costa tramo T.1. **Fuente:** Elaboración propia

Siendo NT y NTT, el número de tramo y el número de tramos totales, respectivamente.



Gráfica 4.2: Valores discretizados Costa-Costa tramo T.1. Fuente: Elaboración propia



Gráfica 4.3: Valores discretizados Costa-Costa tramo T.2. Fuente: Elaboración propia

Donde NT y NTT, el número de tramo y el número de tramos totales, respectivamente.



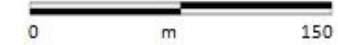
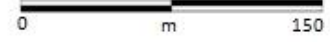
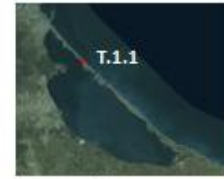
Gráfica 4.4: Valores discretizados Costa-Costa tramo T.2. **Fuente:** Elaboración propia

Los valores de λ_{gw} son los mismo que los utilizados en el Mar Menor, a continuación se muestran en la siguiente tabla:

λ_{gw}	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_1 = 2.1 \cdot 10^{-3} (m^2/día)$	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_2 = 5.25 \cdot 10^{-4} (m^2/día)$	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_3 = 2.6 \cdot 10^{-4} (m^2/día)$
1 día= 24 horas	12.311	24.623	34.989
1.5 días= 36 horas	15.078	30.157	42.853
3.5 días= 84 horas	23.032	46.065	65.459

Tabla 4.2: Valores λ_{gw} . **Fuente:** Elaboración propia

Los mapas con el valor de λ_{gw} representado se mostrarán a continuación. En ellos se ha representado la línea de costa en un trazo azul marino, y los distintos valores de λ_{gw} quedan, los dos intermedios en trazas discontinuas de colores en gama de grises, y el mayor valor en un tono morado. Los pocos edificios que hay en los tramos considerados no superan las 7 plantas, pues son en su mayoría viviendas familiares de no más de 2 plantas de altura, por lo cual no hay ningún tipo de localización de las mismas. También se ha incluido en cada una de las imágenes, una imagen genérica del cordón, donde se localiza expresamente cada uno de los subtramos considerados.



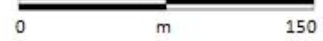
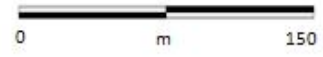
Imágenes 4.22, 4.23, 4.24 y 4.25: Representación del valor λ_{gw} en el tramo T.1 Fuente: Elaboración propia



Imagen 4.26: Representación del valor λ_{gw} en el tramo T.1 Fuente: Elaboración propia



Imágenes 4.27 y 4.28: Representación del valor λ_{gw} en el tramo T.2 Fuente: Elaboración propia



Imágenes 4.29 y 4.30: Representación del valor λ_{gw} en el tramo T.2 Fuente: Elaboración propia

En todas estas imágenes, la leyenda sería:

- Zona de influencia del flujo
- Línea de costa
- $\lambda = 65.5$ m
- $\lambda = 42.9$ m
- $\lambda = 34.9$ m

4.7. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

-CASO DE CAPE COD

Localización

El cordón litoral de Cape Cod se encuentra situado en la bahía de Cape Cod o bahía de Cabo Cod. Ésta es una gran bahía de la costa Atlántica de los Estados Unidos localizada en el estado de Massachusetts, ocupando una superficie de 1.560 km². En el límite norte se encuentra Brant Rock en Marshfield y punta Race, en Provincetown. Los límites de esta gran bahía son, al sur y al este, la península de Cabo Cod y al oeste por el condado de Plymouth. Al norte se encuentran la bahía de Massachusetts y el Océano Atlántico.

La laguna costera que nos ocupa se encuentra en la parte norte de la bahía de Cape Cod, recibe el nombre de East Harbor, y baña la localidad de Provincetown, de coordenadas 42° 3,25'N y 70° 11,26'O. La laguna tiene una longitud de 3,2 km, y una anchura máxima de aproximadamente 1 km en su parte central. Se encuentra atravesada por dos autopistas que unen el norte de la ciudad de Truro con Provincetown. Tiene una superficie de aproximadamente unos 2.300 km².



Imagen 4.31: Dimensiones de la laguna de East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** Elaboración propia



Imagen 4.32: Localización de Cape Cod. Massachusetts.
Fuente: Google imágenes

El Cabo Cod incluye todo el territorio del condado de Barnstable, que comprende 15 ciudades: Bourne, Sandwich, Falmouth, Mashpee, Barnstable, Yarmouth, Dennis, Harwich, Brewster, Chatham, Orleans, Eastham, Wellfleet, Truro y Provincetown.

Dos de las quince ciudades (Borune y Sandwich), incluyen territorio de la ribera continental del canal. Las ciudades de Plymouth y Wareham, que forman parte del condado de Plymouth se consideran a veces parte de Cabo Cod, pero no se encuentran sobre la península. El límite del cabo se estableció en el siglo XVII.

Cabo Cod presenta cuatro regiones:

-**El Cabo Superior**, es la región más cercana al continente, que incluye las ciudades de Bourne, Sandwich, Falmouth y Mashpee. Mientras parte de la ciudad de Barnstable se sitúa en esta región, generalmente se considera en la porción central. Falmouth es sede de la famosa Institución Oceanográfica de Woods Hole y varias otras agencias de investigación, además de contar con el transbordador a Martha's Vineyard más utilizada.

-El **Cabo Medio**, incluye las ciudades de Barnstable, Yarmouth y Dennis. Esta región presenta hermosas playas, incluyendo playas de agua caliente. La zona es también centro comercial e industrial del cabo. Hay siete suburbios en Barnstable.

-El **Cabo Bajo**, es la porción más angosta del cabo, donde dobla bruscamente hacia el norte. Este área comprende las ciudades de Harwich, Brewster, Chatham y Orleans.

-El **Cabo Exterior**, contiene las ciudades de Eastham, Wellfleet, Truro y Provincetown. Aquí se encuentra el Parque Nacional marino de Cabo Cod, que comprende la mayoría de la costa oriental y alberga algunas de las playas más populares de Estados Unidos, como Coast Guard Beach y Nauset Light Beach en Eastham.

4.8. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOMORFOLÓGICAS

-GEOLOGÍA DE LA ZONA

La mayoría de Cape Cod está formada por rocas glacialmente derivadas, arenas y gravas. La última glaciación terminó hace unos 12.000 años, y al final de esta, la bahía era probablemente un lago de agua dulce con drenaje a través de la actual península de Cape Cod, en lugares como el Bass River y Orleans Harbor. El istmo de Provincetown, al norte de High Hed en North Truro, lugar donde se encuentra la laguna de estudio, está formado por depósitos marinos de los últimos 5.000-8.000 años. Estos depósitos crearon el puerto de Provincetown, en forma de tazón, en la bahía de Cape Cod. En general, las corrientes que se dan en la zona, son de sentido antihorario, dirigiéndose hacia el sur desde Boston hasta Plymouth, y después hacia el este y luego al norte hasta Provincetown.]

La punta de Provincetown, está constituida mayoritariamente por depósitos marinos, transportados desde playas lejanas. Los sedimentos que se movieron hacia el sur crearon las islas y arrecifes de Monomoy. Así, mientras otras partes del cabo se han erosionado por acción del oleaje, estas zonas han aumentado.

El proceso continúa aún, debido a su posición saliente sobre el océano Atlántico. Se piensa que dentro de algunos miles de años, el cabo quedará totalmente sumergido. La erosión causa el lavado de las playas y la destrucción de la barrera insular.

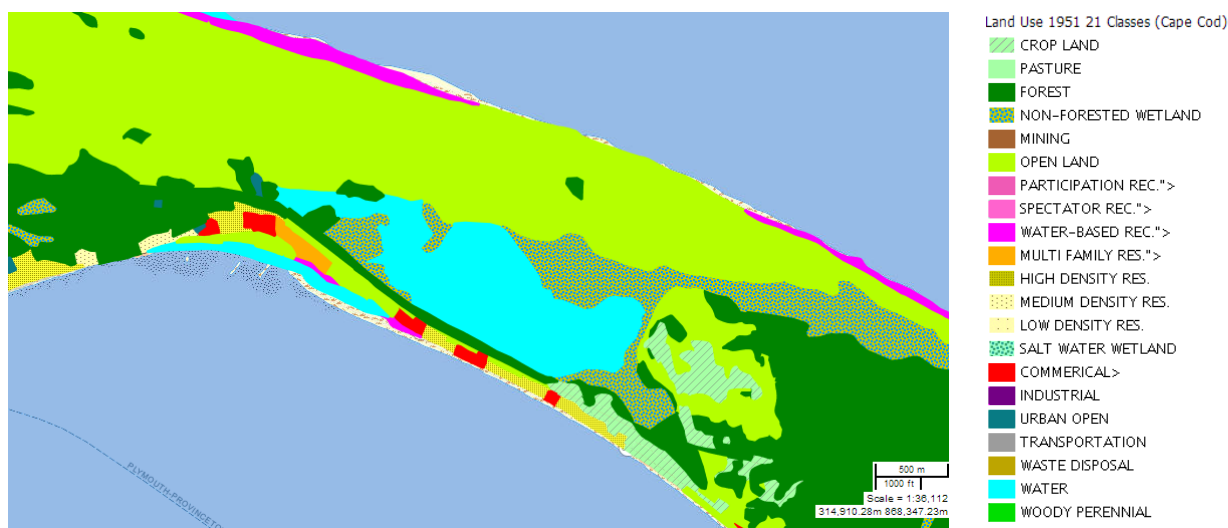


Imagen 4.33: Ocupación del suelo alrededor de la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** MassGIS's Online Mapping Tool

En la fotografía adjunta se pueden ver los usos del suelo en la zona de estudio, puede observarse cierta diversidad de usos del suelo. Se tiene una zona ocupada por bosque, recorriendo casi la totalidad del cordón litoral. También hay una zona comercial, situada principalmente cerca del lugar donde se ubican las residencias familiares, además de suelo sin ocupación.

También hay que decir que la máxima elevación que se puede encontrar a lo largo del Cabo Cod es de 93 m, en la cima de Pine Hill, en el sector del ejido de Bourne de la Reserva Militar de Massachusetts.

-HIDROLOGÍA

El sistema de East Harbor, el cual incluye a Moon Meadow, Salt Meadow y la laguna East Harbor, fue aislado artificialmente del medio marino de la bahía de Cape Cod desde el relleno de la amplia entrada original en el extremo noroeste del sistema en 1868. Esta exclusión de la salinidad de las mareas causa la disminución de los niveles naturales de 25-30 partes por millón, a casi agua dulce. De esta forma, la fauna que allí habitaba fue extinguida. Con el tiempo la obstrucción causada por las mareas provocó numerosos problemas ecológicos. La falta de lavado por mareas, hizo que el sistema de agua de la bahía de Cape Cod se convirtiera en una zona falta de nutrientes, llegando a convertirse en un estanque de agua dulce 'estancado'. Esto dio lugar a la muerte de peces y a una alta proliferación de especies exóticas.

Este ecosistema se vio degradado en gran medida por el cierre de la comunicación con la bahía, lo cual llevó a la pérdida casi completa de todas las especies que allí habitaban pasados 140 desde entonces. Por el contrario, la llanura aluvial fue tomada por especies no nativas y algunas plantas altamente invasivas como es la salicaria y carrizo. Los árboles y arbustos quedaron establecidos en las elevaciones más altas de la zona.

Esta situación se agravó con la gran muerte de peces en septiembre de 2001, lo cual llevó a realizar un estudio para restaurar las condiciones del sistema. La atención se centró en la tubería de drenaje encargada de drenar las aguas del sistema, la cual tenía aproximadamente 215 m de largo y 1,2 m de diámetro. Se dotó a esta tubería de válvulas para drenar el agua del sistema, pero impidió que las mareas marinas fluyeran nuevamente dentro del sistema. Más tarde, desde noviembre de 2002, se abrieron ininterrumpidamente dichas válvulas, lo cual ha permitido, que desde entonces, se haya producido una impresionante recuperación de la biota del estuario y la salinidad.

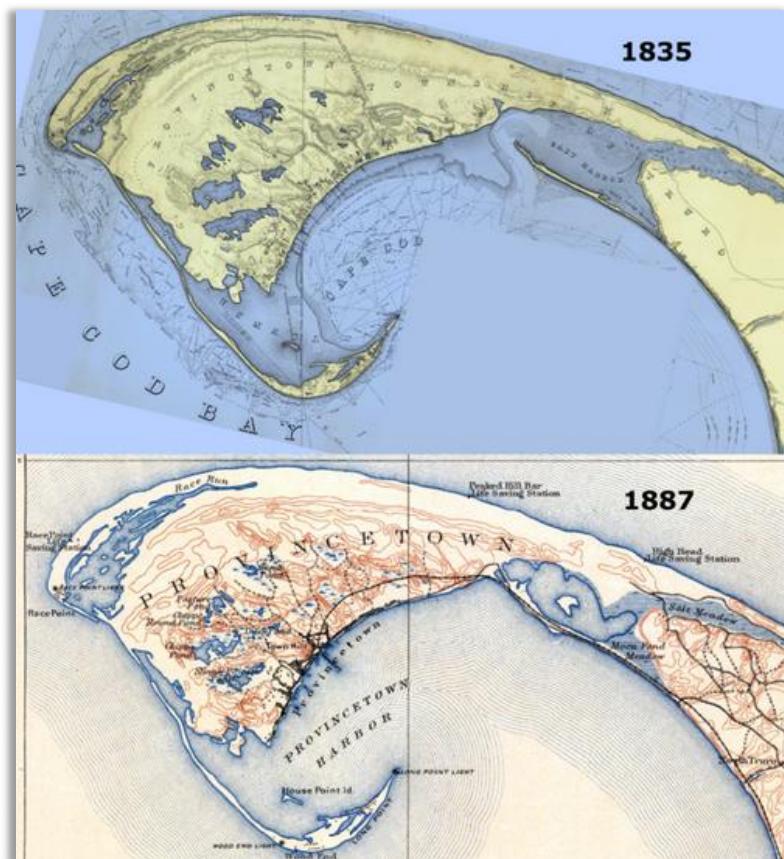


Imagen 4.34: Cierre de comunicación de la bahía con la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** National Park Service.

Debido a la restauración de la comunicación entre el mar y la laguna, ésta ha pasado de ser un lago turbio con casi ninguna visibilidad a convertirse en un estuario muy claro y bien iluminado. El fondo, compuesto principalmente de arenas, puede verse a través del agua limpia de toda la laguna.

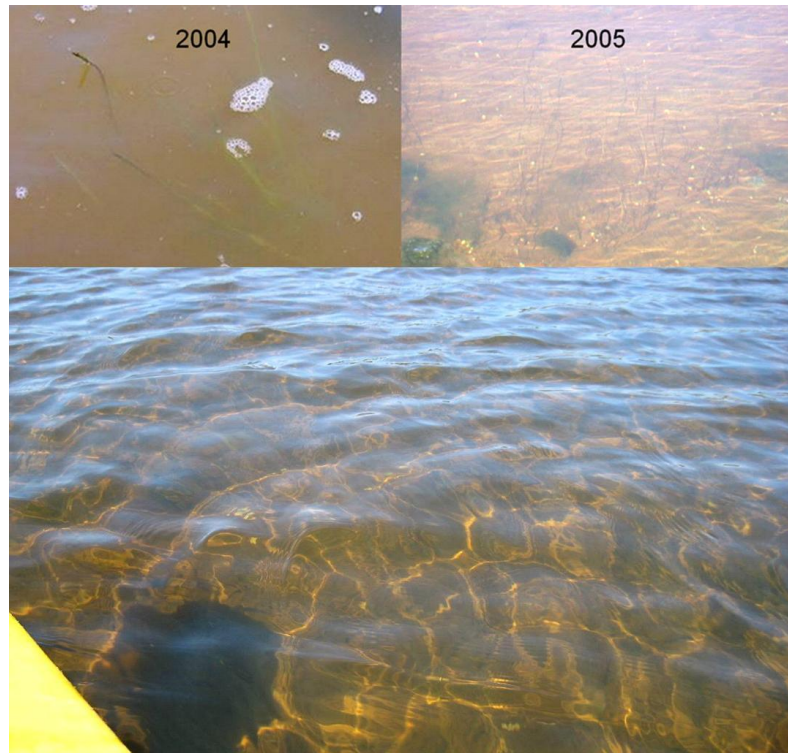


Imagen 4.35: Cambio de las aguas en la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** National Park Service.

-CLIMA

Cabo Cod tiene un clima marino templado. Aunque el tiempo es típicamente más moderado que en el continente, ha habido ocasiones en las que ha sufrido severos temporales. A causa de la influencia del océano Atlántico, las temperaturas son unos pocos grados más bajas en verano y unos pocos grados más altas en invierno.

El clima del cabo también se caracteriza por una primavera retrasada, al estar rodeado del mar que mantiene el frío del invierno. En compensación, los otoños son extraordinariamente suaves, debido al mismo efecto retardador del mar.

La temperatura más alta registrada históricamente en Cabo Cod fue de 40°C en Provincetown, y la más baja de -12°C en Barnstable.

Las precipitaciones en el cabo son las más bajas de la región, con promedios algo menores a 1.000mm anuales. Esto se debe a los sistemas de tormentas que se mueven a través de las zonas occidentales, ascendiendo en zonas montañosas y disipándose antes de llegar a la costa. A pesar de ello, la región no registra gran cantidad de días de sol.

-VEGETACIÓN

La restauración de la laguna ha permitido que se incrementen los niveles de salinidad, pero sobre todo en la zona más próxima a dicha comunicación con el mar, quedando un poco excluidas las zonas más periféricas.

En los últimos años están proliferando las macroalgas, hecho que algunas veces, cuando se descontrola, causa ciertos problemas.

-FAUNA

Antes del restablecimiento de flujos, sólo habitaban: carpa asiática, perca blanca, anguilas americanas... Con la reintroducción del agua del mar llegó una explosión de diversidad biológica como son: espinosos, pejerreyes, peces pipa, winter flounder, mejillones azules, chilas, almejas sin cáscara, camarones, cangrejos herradura, anémonas de mar... También se encuentran al menos 13 especies de patos de mar, serratas rojo...

Se espera que el crecimiento de aves acuáticas continúe tanto como permanezca la comunicación entre mar y laguna.



Imagen 4.36: Fauna en la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** National Park Service.



Imagen 4.37: Fauna en la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** National Park Service.



Imagen 4.38: Flora en la laguna East Harbor, Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** National Park Service.

4.9. CARACTERIZACIÓN SOCIO-ECONÓMICA DE CAPE COD

En general Massachusetts cuenta con algunas de las empresas más grandes, entre las que están: Liberty Mutual Insurance Company Group de Boston y MussMutual de Springfield.

Los sectores vitales para la economía incluyen la educación superior, la biotecnología, las finanzas, la salud y el turismo. La alta tecnología sigue siendo un sector importante, aunque pocas de las empresas tecnológicas más grandes tienen su sede allí. En los últimos años, el turismo ha desempeñado cada vez un papel más importante en la economía del estado, siendo Cape Cod y Boston los principales destinos.

En 2005 había 7.700 granjas en Massachusetts, abarcando un total de 2.100 km². También se dan ciertos productos agrícolas, como son el tabaco, frutas, nueces, bayas...

-DEMOGRAFÍA

En general, en el condado de Barnstable, según el censo de 2000, hubo 222.230 personas, 94.822 hogares y 61.065 familias residiendo. La densidad poblacional era de 217 hab/km². La demografía del condado era de 94,23% de población blanca, 1,79% afroamericanos, 0,56% amerindios, 0,63% asiáticos, 0,02% isleños del Pacífico, 1,11% de otras razas y 1,66% de dos o más razas. El 1,35% de la población era de origen hispano o latino de cualquier raza, el 5,9% eran de descendencia alemana, el 5,0% estadounidenses, y el 9,4% italiana. El 93,6% de la población hablaba inglés, el 1,7% portugués, el 1,4% español, y el 1,0% francés.

La renta per cápita promedio del condado era de 45,933\$, y el ingreso promedio para una familia era de 54,728\$. El ingreso per cápita para el condado era de 25,318\$ y el 4,6% de la población estaba bajo el umbral de pobreza nacional.

Concretamente en Provincetown, lugar donde se ubica la laguna en estudio, según el censo de 2010, había 2.942 personas residiendo allí. La densidad de población era de 64,97 hab/km². De los 2.942 habitantes, Provincetown estaba compuesto por el 91,47% de población blanca, el 4,01% eran afroamericanos, el 0,61% eran amerindios, el 0,61% eran asiáticos, el 0,03% eran isleños de Pacífico, el 1,56% eran de otras razas y el 1,7% pertenecían a dos o más razas. Del total de la población, el 4,83% eran hispanos o latinos de cualquier raza.

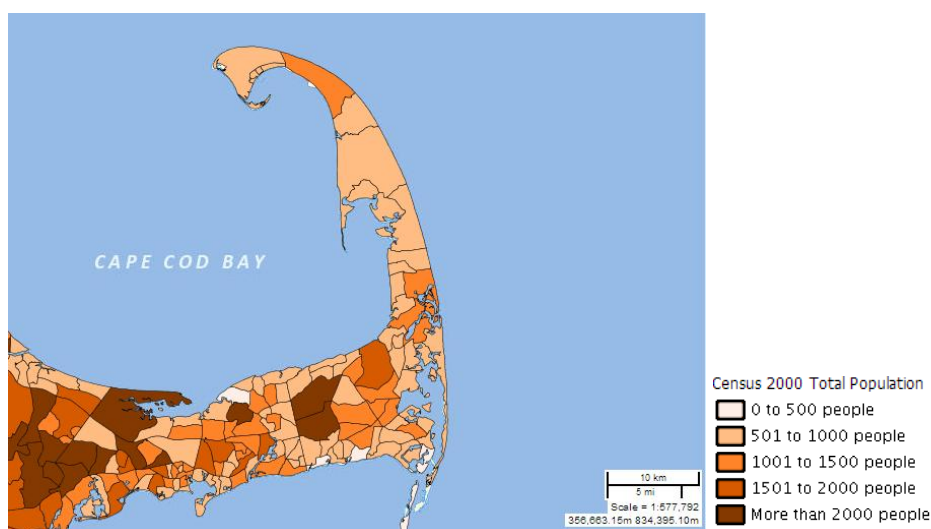


Imagen 4.39: Población en Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** MassGis's Online Mapping Tool.

4.10. TIPOS DE EDIFICIOS EN CAPE COD

La zona de Cape Cod no es una zona altamente urbanizada, sobre todo la zona más al norte que es la que nos ocupa. Principalmente se conforma de viviendas familiares de varias plantas de altura como máximo, también nos podemos encontrar algunos edificios de 3-4 plantas, pero no existen grandes bloques de pisos ni grandes urbanizaciones urbanísticas.

Las viviendas se encuentran ubicadas en la costa de la bahía, pues hacia la otra costa se encuentran las dos autopistas que atraviesan el cordón litoral.

A continuación se muestra una imagen de toda la bahía de Cape Cod, donde se puede observar la cantidad de viviendas por zonas.

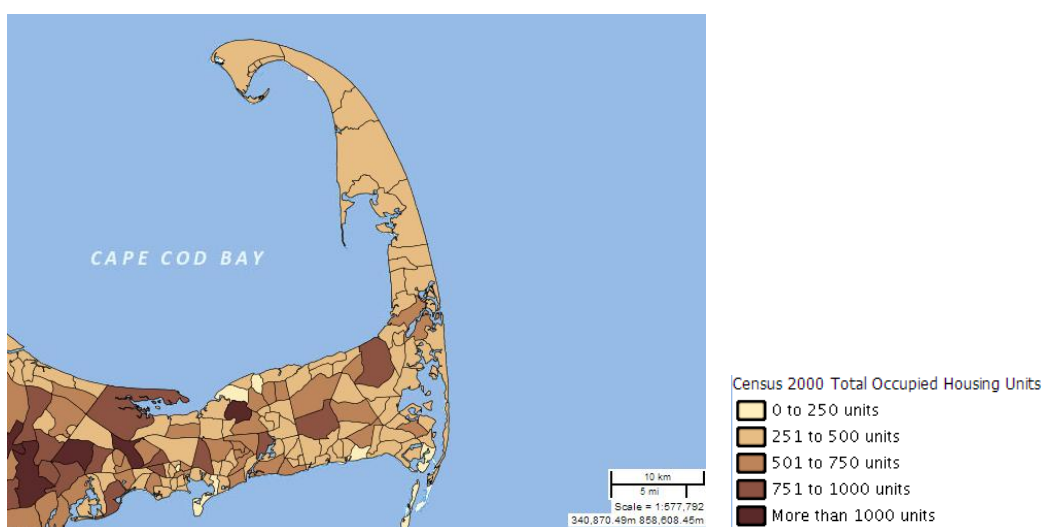


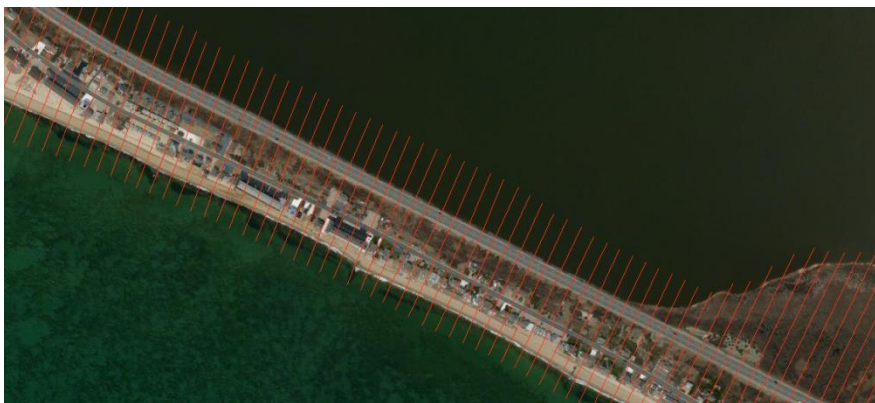
Imagen 4.40: Viviendas en Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** MassGis's Online Mapping Tool

4.11. TRAMIFICACION DEL CORDON

- METODOLOGÍA

Para la realización del estudio, se ha considerado la totalidad del cordón litoral, pues es pequeño y puede aceptarse un estudio completo. A lo largo de todo el cordón se presentan las edificaciones descritas anteriormente. Seguidamente se ha procedido a la discretización del cordón cada 30 m. Después se han representado los valores λ_{gw} a lo largo de la costa, en el caso de Cape Cod, por ser un cordón de la costa atlántica, se han tenido que calcular nuevos valores de λ_{gw} , a partir de unos datos obtenidos del artículo 'Simulation of Groundwater Flow at Beach Point, Cape Cod, Massachusetts (Martin, Larry, (2008))'.

La metodología seguida para la representación de los valores de λ_{gw} ha sido la misma que para el caso del Mar Menor y Nador. Hay que decir que la cartografía utilizada ha sido vía WMS a través del programa ArcGis, al igual que en el caso de Nador. A continuación se muestran los resultado obtenidos:

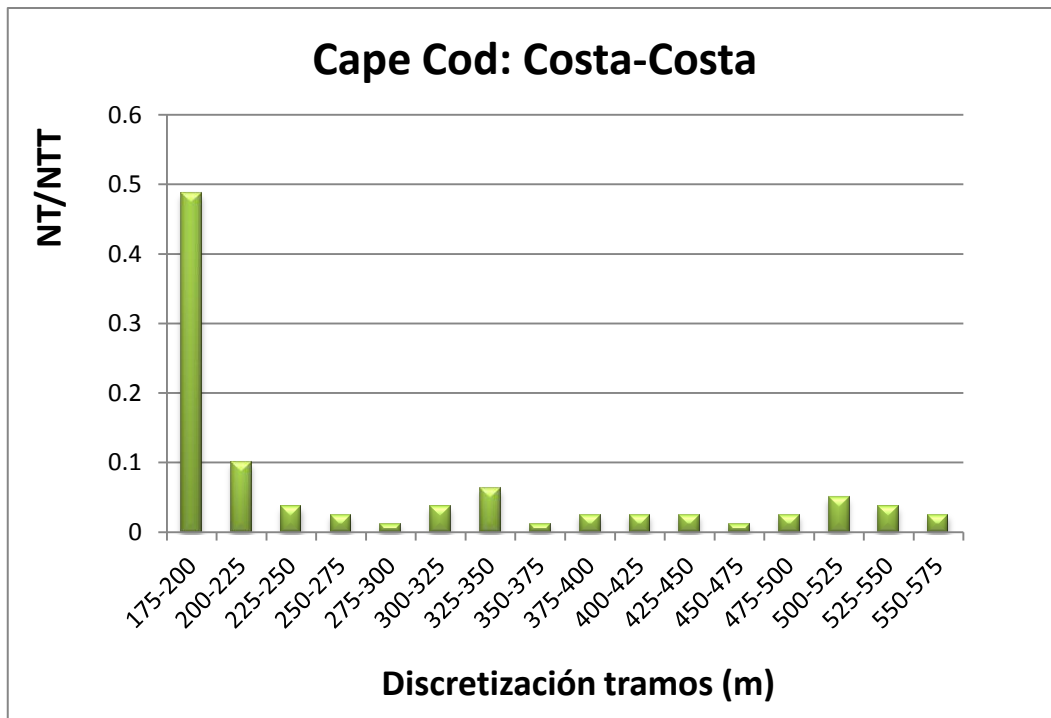


Imágenes 4.41 y 4.42: Discretización del cordón litoral en Cape Cod, Massachusetts.

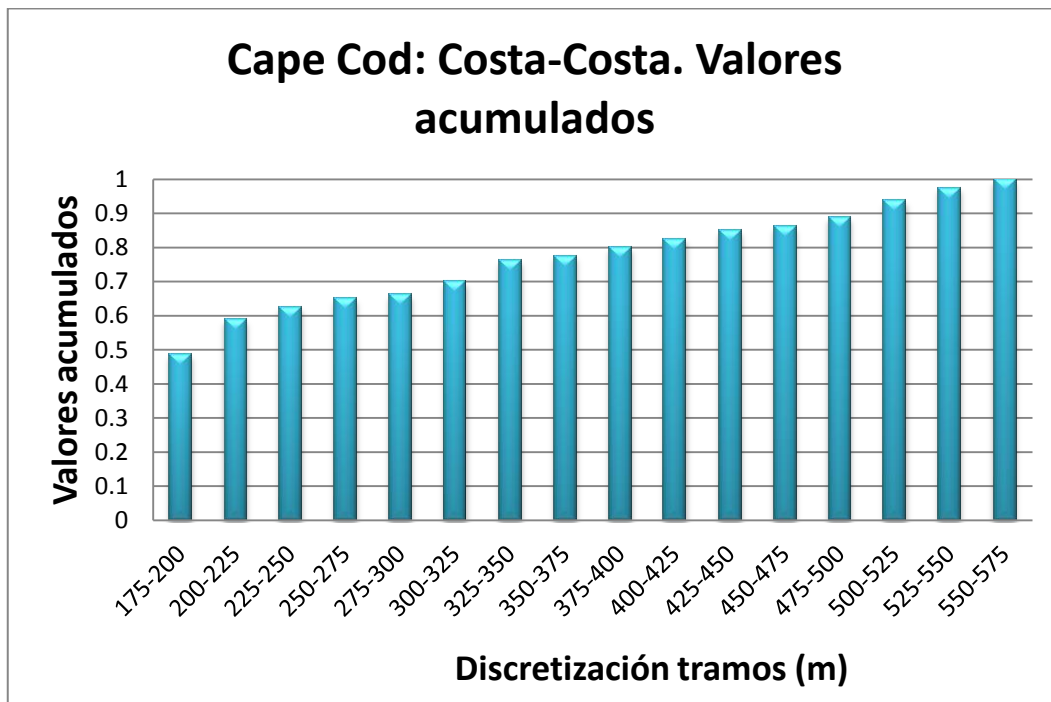
Fuente: Elaboración propia



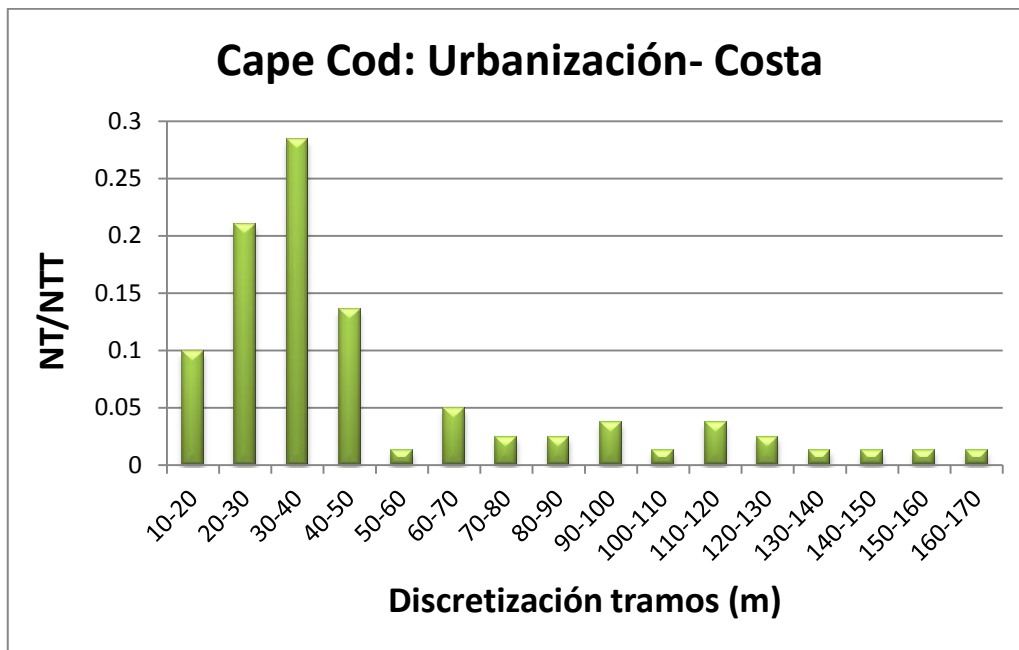
Imagen 4.43: Discretización del cordón litoral en Cape Cod, Massachusetts. **Fuente:** Elaboración propia



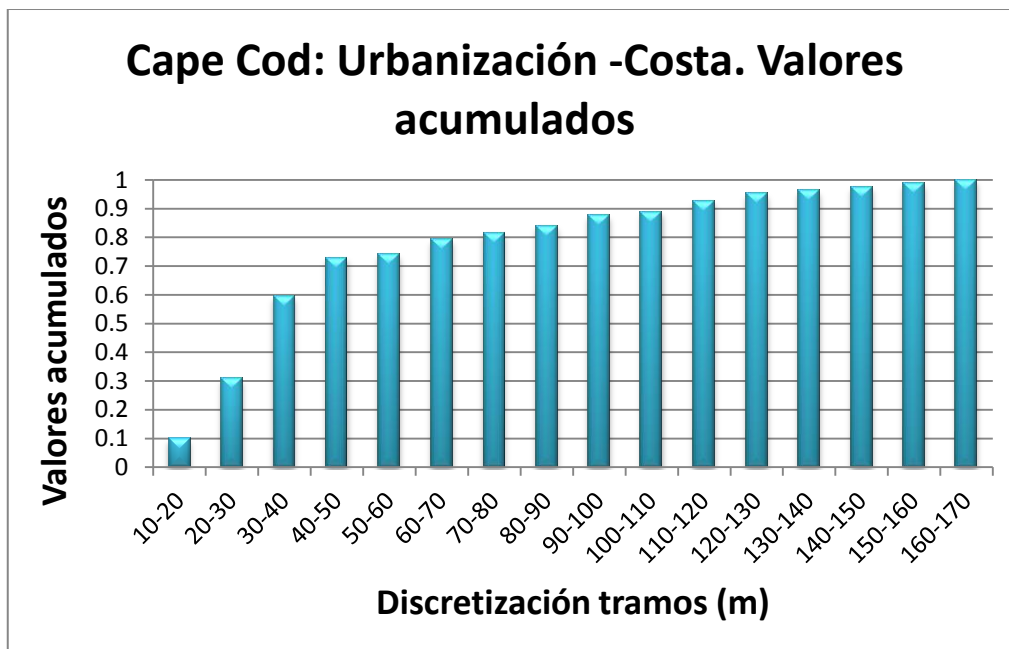
Siendo NT y NTT, el número de tramo y el número de tramos totales, respectivamente.



Gráficas 4.5 y 4.6: Valores discretizados Costa-Costa tramo cordón litoral en Cape Cod **Fuente:** Elaboración propia



Donde NT y NTT, el número de tramo y el número de tramos totales, respectivamente.



Gráficas 4.7 y 4.8: Valores discretizados Urbanización-Costa tramo cordón litoral en Cape Cod **Fuente:** Elaboración propia

Los valores de λ_{gw} se han calculado teniendo en cuenta que la laguna es homogénea e isotrópica, de valor $k= 7\text{m/día}$ y $S_y= 0,25$. La profundidad considerada es $H= 20$ m. Datos obtenidos del artículo 'Simulation of Groundwater Flow at Beach Point, Cape Cod, Massachusetts (Martin, Larry, (2008)), como se comentaba anteriormente. Con estos datos y sabiendo que la expresión de la transmisividad es:

$$\text{Transmisividad} = k \cdot \text{espesor} (H)$$

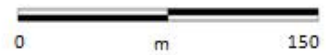
se puede proceder al cálculo de los valores de λ_{gw} .

A continuación se muestran los resultados en la siguiente tabla:

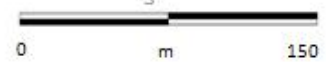
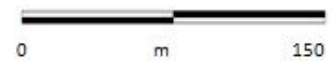
λ_{gw}	$\left(\frac{S_y}{T}\right)_1 = 1,78 \cdot 10^{-3}(\text{m}^2/\text{día})$
1 día= 24 horas	13,351
1.5 días= 36 horas	16,351
3.5 días= 84 horas	24,977

Tabla 4.3: Valores λ_{gw} . **Fuente:** Elaboración propia

Los mapas con el valor de λ_{gw} representado se mostrarán a continuación. En ellos se ha representado la línea de costa en un trazo azul marino, y los distintos valores de λ_{gw} quedan, los dos intermedios en trazas discontinuas de colores en gama de grises, y el mayor valor en un tono morado. Las edificaciones existentes no superan en ningún caso las 7 plantas de altura, por lo cual no hay ningún tipo de localización de las mismas. También se ha incluido en cada una de las imágenes, una imagen genérica del cordón, donde se localiza expresamente cada uno de los subtramos considerados.



Imágenes 4.44, 4.45, 4.46 y 4.47: Representación de valores λ_{gw} en el cordón litoral de Cape Cod, Massachusetts. Fuente: Elaboración propia



Imágenes 4.48, 4.49 y 4.50: Representación de valores λ_{gw} en el cordón litoral de Cape Cod, Massachusetts.

Fuente: Elaboración propia

En todas estas imágenes, la leyenda sería:

- Zona de influencia de flujo
- Línea de costa
- $\lambda = 25$ m
- $\lambda = 13,4$ m
- $\lambda = 16,4$ m

3.12 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como se puede observar, en el caso de Nador, no tenemos ninguna edificación que afecte a la existencia de flujos subterráneos en ninguno de los dos tramos considerados, pues sólo en uno de ellos existen edificaciones de poca altura pero en el lado contrario a la costa del Mar Mediterráneo, es decir, en la costa de la laguna de Nador. Los valores representados de influencia del flujo subterráneo del Mar Mediterráneo no estaría afectados de ningún modo, es decir, los flujos de agua circularían libremente, pues no encuentran ningún obstáculo como pueden ser los pilotes realizados en grandes edificios. El único condicionante de estos flujos es la composición geológica del cordón, además de las mareas y efectos que puedan generar los propios flujos.

En el caso de Cape Cod, podemos ver en las imágenes de resultados que los valores representados de λ_{gw} , tan sólo alcanzan mínimamente las viviendas en los subtramos T.3, T.4 y T.5. Como se ha comentado anteriormente, las edificaciones existentes en este cordón no superan las dos plantas de altura, salvo algunos edificios de 3-4 plantas construidos más hacia el interior del cordón. La conclusión que se puede obtener de esta situación es parecida al caso anterior, los flujos no tienen ningún obstáculo a su paso para su circulación. Además en el caso de los tramos citados al principio de este párrafo, al ser viviendas de poca altura, las cimentaciones necesarias para su construcción no deben de ser demasiado profundas, lo cual nos lleva a la misma conclusión, los flujos no encuentran pantallas impermeabilizantes que les impidan el paso o se lo dificulten en gran medida.

Estudios realizados sobre la fluctuación de los flujos de agua en este cordón (Cape Cod) muestran que, con la marea alta, el agua de la bahía se infiltra a través del cordón, causando una elevación del nivel freático, mientras que durante la marea baja, el agua fluctúa hacia la bahía, ocasionando una bajada del nivel freático.

Las simulaciones realizadas mostraron que el nivel de agua en la laguna es casi siempre superior al de la bahía, haciendo que el flujo subterráneo se dirija hacia dicha bahía. Sólo cuando hay marea alta, el nivel freático es superior en el lado de la bahía, pero el tiempo de duración de la misma no es suficiente para que se produzca un cambio total en el flujo de las aguas subterráneas en dicho cordón. Lo que llega a producirse en estos casos es un estancamiento temporal en una zona intermedia entre la bahía de Cape Cod y la laguna, se estima en 2/3 de la distancia de la bahía hacia la laguna.

Debido a esto, cualquier contaminante que se introduzca en el sistema de agua, fluirá siempre hacia la bahía de Cape Cod.

El nivel freático de la laguna está entre los 1,1 y 1,2 m sobre el nivel del mar en todo momento, así que aunque el nivel freático en la bahía está previsto que alcance los 1,3m de altura en breves periodos de tiempo durante la marea alta, esto no impide que el flujo siga yendo en dirección hacia la bahía.

En dichos estudios realizados sobre los flujos subterráneos en esta zona, se hizo también una simulación con una gran cantidad de recarga para la evaluación de grandes precipitaciones sobre el sistema de flujo de agua subterránea. Los resultados mostraron un efecto bastante débil sobre el sistema de flujo subterráneo. El nivel freático subió 0,2 m y volvió a su nivel normal a las 6 horas de la finalización de la lluvia.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

-INTRODUCCIÓN

Los cordones estudiados son los siguientes:

- ✓ Cordón litoral del Mar Menor, conocido como 'La Manga del Mar Menor'.
- ✓ Cordón litoral de Nador, en el Mar Chica.
- ✓ Cordón litoral en la Bahía de Cape Cod, llamado East Harbor.

Como puede verse, estas lagunas tienen características bien distintas. Por un lado tenemos el cordón de La Manga, el cual es un cordón mediterráneo tremendamente urbanizado, con una enorme capacidad turística y complejos destinados a ello. Por otro lado tenemos el cordón de Nador, que al igual que La Manga, es un cordón mediterráneo, pero por el contrario de lo que le ocurre a éste último, este cordón se encuentra prácticamente en condiciones naturales, aún no ha tenido ningún tipo de desarrollo urbanístico, tan sólo cuenta con una serie de viviendas tradicionales de la zona de poca altura. Por último se encuentra el cordón al norte de la bahía de Cape Cod, el cual es bastante más pequeño que los estudiados anteriormente, pero se encuentra en la costa atlántica, lo que lo hace a efectos de estudio diferente de los anteriores, pues los flujos de mareas son distintos en ambos casos. Éste cordón también se encuentra urbanizado, pero de una forma moderada, con viviendas que no superan las 2 plantas, y algunos edificios de 3-4 plantas, a lo largo de todo el cordón.

-CONCLUSIONES

Como se ha podido comprobar en los resultados obtenidos, mostrados en los capítulos predecesores, el cordón litoral más afectado es el cordón de La Manga del Mar Menor, los flujos del Mar Mediterráneo se encuentran interrumpidos por las cimentaciones en ambos tramos considerados, aunque más en el tramo T.5. El Pedrucho que en el tramo T.3. Veneziaola, pues las grandes edificaciones se concentran principalmente en este primer tramo (T.5.), ya que es la zona de carácter más turístico y en la que se han llegado a construir edificaciones de más de 20 plantas de altura, ocasionando con ello que para las cimentaciones a realizar, debido a la pequeña anchura que en esta zona posee el cordón, además de otros problemas que se puedan presentar, sean necesarias la utilización de pantallas de pilotes, generando un efecto barrera bastante importante para el fluir de los flujos subterráneos del Mar Mediterráneo hacia el Mar Menor. Dicha influencia puede afectar en gran medida al dinamismo del cordón y la laguna, ocasionando serios problemas ambientales.

En el cordón de Nador se puede apreciar la zona de influencia de los flujos claramente, y tal y como se observa en los resultados, en estas zonas de influencia no hay existencia de edificaciones, lo cual hace que la dinámica de flujos siga su curso natural. Este es un claro contraejemplo al caso de La Manga del Mar Menor, pues es un cordón mediterráneo al igual que la La Manga, y por el contrario está en condiciones naturales, de tal forma que los flujos no quedan de ninguna forma influenciados por las cimentaciones. El caso del Mar Menor ha de servir como un claro ejemplo de actuaciones antrópicas a **no** seguir, pues ya se están viendo las consecuencias negativas de la construcción incontrolada. Por un lado se alcanza un elevado turismo de la zona, pero al alto precio de perder un entorno de valor ecológico y ambiental incalculable.

El caso de Cape Cod es un ejemplo de cordón litoral atlántico. Tras el estudio realizado se observa que el alcance de los flujos subterráneos de la bahía de Cape Cod son bastante débiles. Además, según estudios realizados en la zona, los flujos van en dirección contraria a como los hemos estado viendo en la costa mediterránea, los cuales fluyen de esta última hacia el cordón. En este caso, la laguna presenta siempre un nivel freático superior al de la bahía, lo cual hace que los flujos vayan de la laguna hacia la bahía. Tan sólo en los casos de marea alta el nivel de la bahía supera al de la laguna, haciendo con ello que haya un avance de los flujos de la bahía hacia la laguna, aunque estos períodos de marea alta son demasiado cortos como para que se produzca un cambio total en la dirección de los flujos. Lo que llega a producirse en estos casos son estancamientos en una zona intermedia del cordón ($2/3$ de la distancia de la bahía hacia la laguna), y cuando baja la marea, los flujos siguen su curso normal.

Una vez se tienen los resultados de los tres cordones litorales estudiados, cabe decir que dichas formaciones son entornos muy sensibles ante cualquier cambio. Por ello, el caso del Mar Menor es de gran importancia, pues es el cordón que ha sufrido una gran transformación en los últimos años, la cual es muy difícil de asimilar. Se ha de tomar conciencia de los efectos perjudiciales que estas acciones conllevan para no incurrir en ellas en la gestión de cordones litorales que se encuentran prácticamente vírgenes, como es el caso de Nador.

APÉNDICE

FUTURA URBANIZACIÓN EN NADOR

Actualmente está previsto un ambicioso proyecto en la ordenación de la laguna de Nador, el cual pretende transformar la zona, mejorar su calidad ambiental...convirtiéndola en un destino turístico marroquí y europeo. Las actuaciones a seguir son tres:

- ✓ El Atalayón Golf Resort.
- ✓ El Parque Ornitológico.
- ✓ La ciudad de los Dos Mares.

El gobierno marroquí ve en esta actuación una excelente oportunidad de futuro, pues supone el desarrollo para Nador. Con dicho proyecto se pretende combinar el aspecto económico, ya que se generaría riqueza, el social, con la generación de empleo, y el ecológico, pues supondría la recuperación del Mar Chica.

Centrándonos en las actuaciones a llevar a cabo, se tiene:

La construcción del Atalayón Golf Resort supondrá una transformación total del imponente macizo, convirtiéndose en una residencia turística ligada a un campo de golf.

La ciudad de los Dos Mares se construirá junto al canal recién abierto en la bocana que permite la renovación del agua de la laguna y su contacto con el Mar Mediterráneo. Esto supone una gran obra de ingeniería, que se compondrá de casas bajas y hoteles para personas con determinado nivel adquisitivo.

El parque ornitológico se llevará a cabo en una zona de 72 ha, dónde anteriormente se producían los vertidos de la depuradora. El objetivo de ello es transformar una zona, antiguamente 'negra', en una zona verde'. Actualmente ya se están llevando a cabo la construcción de grandes escolleras para crear zonas someras que atraigan la atención de las limícolas y demás aves acuáticas. También se está dragando todo el fondo de la zona.

Para el año 2025 se ha previsto la creación de más de 100.000 plazas turísticas integradas en 7 resorts de diferente extensión y capacidad, distribuidos alrededor de la albufera.

Actualmente sólo han comenzado los trabajos de dos de los resort, el de la Ciudad del Atalayón y el de la Ciudad de los Dos Mares. Su finalización está prevista para finales de 2014. El primero consta de una superficie de más de 45 ha, dentro de las cuales se levantarán 2.230 apartamentos, 650 villas turísticas y un hotel de 740 camas. En el segundo, algo más pequeño, se construirán 320 villas turísticas, 193 apartamentos y un hotel con 560 camas.

Las actuaciones aquí llevadas a cabo parece que siguen los mismos pasos que en el Mar Menor, a pesar de que se afirma que se ha tenido en cuenta la situación de este sistema para no incurrir en los mismos errores. De todas formas, puede verse claramente, que las actuaciones llevadas a cabo en la zona son principalmente para cubrir necesidades turísticas, lo cual, a la larga, provocará una situación similar a la que tiene actualmente el cordón de La Manga. Las construcciones previstas necesitarán de cimentaciones profundas, lo cual generará una influencia bastante notable sobre los flujos de agua subterránea, provocando una degradación ambiental tal y como ha ocurrido y sigue ocurriendo en La Manga del Mar Menor.

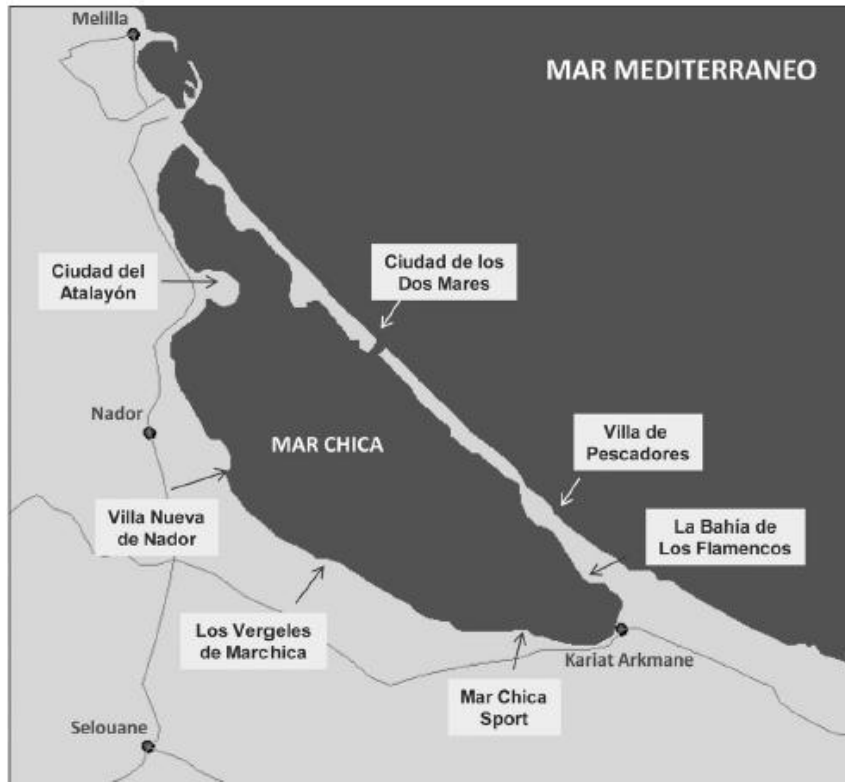


Imagen A.1: Localización de las futuras ciudades de Nador. Marruecos. **Fuente:** Obtenida a partir del estudio de Eduardo Araque Jiménez



Imagen A.2: Localización de la futura ciudad de Nador 'Ciudad de los Dos Mares'. Marruecos. **Fuente:** Obtenida a partir del PFC de Alberto Mendoza.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS

-*Jiu Jimmy Jiao & Chi-man Leung & Guoping Ding*. Changes to the groundwater system, from 1888 to present, in a highly-urbanized coastal area in Hong Kong, China. *Hidrogeology Journal* (2008).

-*Guoping Ding, Jiu J. Jiao and Dongxiao Zhang*. Modelling study on the impact of deep building foundations on the groundwater system. *Hydrological processes* (2007).

-*Coastal Services Center. National Oceanic and Atmospheric Administration*. Beach Nourishment: A Guide for Local Government Officials. <http://www.csc.noaa.gov/archived/beachnourishment/html/geo/barrier.htm>

-*Institute of Marine Sciences - Barcelona. Departament of geosciences*. Geología de la zona litoral. <http://www2.icm.csic.es/gma/es/content/geologia-del-litoral>

-*Servicio Nacional de Estudios Territoriales. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Introducción a la geología costera. http://mapas.snet.gob.sv/oceanografia/geoCostera0909/2_CostasArenosas.pdf

-*Universidad de Cantabria*. Geología. Dinámica Natural. <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/geologia/Materiales/tema12.pdf>

-*Conceptos fundamentales de hidrogeología*. Clasificación de las formaciones geológicas según su comportamiento hidrogeológico. http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf

-*Agua subterráneas Ltda. Mario Valencia Cuesta. Geólogo*. Propiedades hidráulicas de los acuíferos. <http://www.aguassub.com/aguassubpdf/TEMA%204-PROPIEDADES%20HIDRAULICAS%20DE%20LOS%20ACUIFEROS.pdf>

-*Lagunas Costeras. Conceptos básicos y clasificaciones*. <http://es.scribd.com/doc/232053935/Lagunas-Costeras>

-*La Comunidad El País. Marea Meteorológica*. <http://lacomunidad.elpais.com/masotmem/2008/8/28/marea-meteorologica>

-*La gran enciclopedia ilustrada del Proyecto Salón Hogar*. Lagunas Costeras. http://www.proyectosalohogar.com/Recursos_naturales/Lagunas_costeras.htm

- *Miguel Ángel Vergara Sánchez. Doctor en Ingeniería (2007)*. Trabajo de ingreso como miembro de la academia de ingeniería. Desarrollo integral y sustentable de lagunas costeras mexicanas.

<http://academiadeingenieriademexico.mx/archivos/coloquios/3/Desarrollo%20Integral%20y%20Sustentable%20de%20Lagunas%20Costeras%20Mexicanas.pdf>

-*Región de Murcia. ZEPIM: Área del Mar Menor y zona oriental mediterránea de Murcia.* <http://www.murciaenclaveambiental.es/enero-2004.html?idRe=27>

-*Lara-Lara, J.R., et al. (2008)*. Los ecosistemas costeros, insulares y epicontinentales, en Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México. http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20I/I04_Losecosistemascos.pdf

-*Ordenanzas reguladoras.* Consejería de Obras Públicas, Vivienda y Transporte. <http://borm.carm.es/borm/documento?obj=anu&id=63058>

-*Isabel Jalón Rojas (2010/2011)*. Universidad de Granada. Proyecto de investigación: Evaluación de Impacto y Funcionalidad Ambiental del Cordón Litoral en Lagunas Litorales. Dos casos de estudio: Lagunas de Nador y del Mar Menor.

-*Alberto Mendoza Nogueira (2010/2011)*. Universidad de Granada. Informe Técnico: Análisis de la ordenación del Territorio de los Cordones Litorales del Mar Menor y de Nador. Análisis de Técnicas Constructivas sostenibles.

-*Beatriz Sierra Ruiz & Elena Sánchez Badorrey.* Ponencia: Desarrollo Urbanístico y Dinámica de las aguas subterráneas a través de Cordones Litorales: Implicaciones Ecológicas y para la Calidad de las Aguas.

-*Martín J. Lillo Carpio.* Geomorfología Litoral del Mar Menor.

-*Wikipedia.* La enciclopedia libre. [http://es.wikipedia.org/wiki/Barra_\(relieve\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Barra_(relieve))

-*Wiki-geografía.* Agentes físicos que actúan sobre el litoral. <http://www.wikigeografia.net/agentes-fisicos-que-actuan-sobre-el-litoral/>

-*Marina Martínez Menchón y Alonso Melchor Senent.* El agua en el campo de Cartagena. Revista murciana de antropología, n°14, (2007). <http://revistas.um.es/rmu/article/viewFile/107651/102291>

-*Wikipedia.* La enciclopedia libre. Campo de Cartagena. http://es.wikipedia.org/wiki/Campo_de_Cartagena

- Centro Regional de Estadística de Murcia (CREM)*. Evolución de la población extranjera según entidades. http://www.carm.es/econet/sicrem/PU_padron/series/sec10.html
- Censo de viviendas de la región de Murcia 1991*. <http://www.carm.es/econet/publica/pdf/cenviv91.pdf>
- Asociación de Naturalistas del Sureste (ANSE)*. Propuestas para la recuperación ambiental del Mar Menor y su entorno: una apuesta por un modelo de desarrollo sostenible.
- F.Javier Sánchez San Román*. Departamento de geología. Universidad de Salamanca. Conceptos fundamentales de hidrogeología. (Julio 2014). http://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf
- OLIVER*. MassGIS's Online Mapping Tool. http://maps.massgis.state.ma.us/map_ol/oliver.php
- Adaptation aux Changements Climatiques au MAroc (ACCMA)*. http://www.efimed.efi.int/files/attachments/efimed/agora/rabat_wshp/11._khattabi_projet_accma.pdf
- *Wikipedia*. La enciclopedia libre. Bahía de Cabo Cod. http://es.wikipedia.org/wiki/Bah%C3%ADa_de_Cabo_Cod
- *Wikipedia*. La enciclopedia libre. Provincetown Harbor. http://en.wikipedia.org/wiki/Provincetown_Harbor
- *National Park Services*. Cape Cod, Massachusetts. <http://www.nps.gov/caco/naturescience/east-harbor-tidal-restoration-project-page.htm>
- *National Park Services*. Cape Cod, Massachusetts. <http://www.nps.gov/caco/naturescience/results-of-partial-tidal-restoration.htm>
- John Portnoy, Stephen Smith, Krista Lee, Kelly Chapman, Michelle Galvin, Patrick Lyons & Evan Gwilliam*. University of Rhode Island. Annual Report on Estuarine Restoration at East Harbor (Truro, MA). Cape Cod National Seashores, (2007). http://www.nps.gov/caco/naturescience/upload/East_Harbor_Final_report_2007-3.pdf
- *Wikipedia*. La enciclopedia libre. Condado de Barnstable. http://es.wikipedia.org/wiki/Condado_de_Barnstable
- E-Centro*. http://centrodeartigos.com/articulos-educativos/article_14664.html
- *Martin, Larry*. 2008. simulación de flujo de aguas subterráneas en Cape Cod National Seashore Beach Point, Cape Cod, Massachusetts. NPS/NRPC/WRD/NRTR informe técnico de los recursos naturales — 2008/111. Servicio de parques nacionales, Fort Collins, Colorado.
- Grupo de Atención para el medio ambiente*. (GRAMA), Junio (2013). <http://elblogdegrama.blogspot.com.es/2013/06/en-la-mar-chica-marruecos.html>
- Eduardo Araque Jiménez (Universidad de Jaén)*. Desarrollo turístico y medio ambiente en la costa norte de Marruecos.