



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

Presentado por

Cambroner Arribas, Patricia

Para la obtención del

Master Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2019/2020

Fecha: 04 de Septiembre de 2020

Tutor: González Escrivá, José Alberto

Cotutor: Molines Llodrá, Jorge

ÍNDICE DEL GENERAL

| | |
|---|-----------|
| RESUMEN..... | 4 |
| RESUM | 5 |
| ABSTRACT | 6 |
| CÁPITULO 1. INTRODUCCIÓN | 7 |
| 1.1. OBJETO | 7 |
| CÁPITULO 2. ANTECEDENTES..... | 8 |
| 2.1. NORMATIVA RELEVANTE | 8 |
| 2.2. ESTUDIOS PREVIOS | 10 |
| CAPÍTULO 3. PROPUESTA METODOLÓGICA..... | 11 |
| CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN MASA DE AGUA COSTERA C017 (SANTA POLA – GUARDAMAR DEL SEGURA)..... | 14 |
| CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO..... | 16 |
| CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL | 17 |
| 6.1. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS..... | 19 |
| CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN | 20 |
| SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días..... | 21 |
| SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días..... | 21 |
| SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días..... | 21 |
| SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días..... | 21 |
| SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días..... | 21 |
| SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días..... | 21 |
| 7.1. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS | 22 |
| CAPÍTULO 8. PROPUESTA DE MEDIDAS DE GESTIÓN..... | 23 |
| CAPÍTULO 9. CONCLUSIÓN | 26 |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | 27 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 28 |

ANEJO Nº1. Caracterización de la zona de estudio.

ANEJO Nº2. Clima marítimo y propagación del oleaje.

ANEJO Nº3. Dinámica litoral.

ANEJO Nº4. Modelo de dispersión de contaminantes – MOHID Water.

ANEJO Nº5. Planos.



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Delimitación de las masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana..... | 7 |
| Figura 2. Relación entre los objetivos establecidos y cada apartado de la propuesta metodológica. | 13 |
| Figura 3. Localización de la zona de estudio. | 14 |
| Figura 4. Ubicación de los 5 puntos de vertido que agrupan las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio. | 15 |
| Figura 5. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio. | 17 |
| Figura 6. Composición de las estimaciones de procedencia de partículas en las estaciones de la masa de agua C017. | 18 |
| Figura 7. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016. | 21 |
| Figura 8. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016. | 21 |
| Figura 9. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014. | 21 |
| Figura 10. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014. | 21 |
| Figura 11. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012. | 21 |
| Figura 12. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012. | 21 |
| Figura 13. Composición del resultado del modelo de dispersión de contaminantes sobre el plano de estaciones de muestreo..... | 23 |
| Figura 14. Propuesta de la nueva ubicación de las estaciones de muestreo DP113 y DP114..... | 24 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Definición general para ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras..... | 8 |
| Tabla 2. Indicadores para la definición del estado de las masas de agua costera del tipo AC-T06. | 9 |
| Tabla 3. Umbrales para la definición del estado de las masas de agua costera del tipo AC-T06. | 9 |
| Tabla 4. Resultados del indicador Fitoplancton en el intervalo 2011-2018 para las masas de agua C016, C0161, C017..... | 10 |
| Tabla 5. Resultados de los indicadores fisicoquímicos 2018 para las masas de agua C016, C0161, C017... .. | 10 |
| Tabla 6. Tabla resumen de 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio y agrupación en 5 localizaciones..... | 15 |
| Tabla 7. Resumen de las hipótesis formuladas. | 19 |
| Tabla 8. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water..... | 20 |
| Tabla 9. Resumen de la validación de hipótesis formuladas..... | 22 |

RESUMEN

La alteración exponencial de los ecosistemas en las últimas décadas ha llevado a la creación de políticas que promueven el control del estado ecológico de los diferentes medios. En particular, la Directiva Europea Marco del Agua y su transposición a la legislación española promueven el control de los ecosistemas acuáticos y limitan los niveles de contaminación en este medio.

En particular, se presenta la casuística de la masa de agua costera C017 localizada en la provincia de Alicante (Comunitat Valenciana), la cual presenta elevados niveles de concentración de organismos fitoplanctónicos según los últimos estudios realizados. Esto que conlleva a la clasificación del estado ecológico de esta masa de agua como *Moderado* en base a la normativa vigente.

El instituto IIAMA-UPV ha realizado el registro de los datos de calidad de agua referentes a parámetros fisicoquímicos (nutrientes) y biológicos (fitoplancton) de la masa de agua costera C017 y de las masas de agua contiguas C016 (Cabo de Huertas – Santa Pola) y C018 (Guardamar del Segura – Cabo Cervera). Estos datos han sido obtenidos mediante el análisis de muestras tomadas las estaciones ubicadas en estas masas de agua de manera periódica durante el periodo de análisis 2005-2018.

El presente Trabajo Final de Máster se centra en la investigación de la dinámica litoral de la zona en relación a la proliferación de organismos fitoplanctónicos. Para ello, se realiza en primer lugar una caracterización completa de la zona de estudio, identificando las fuentes potenciales de aporte de contaminantes que afectan al ámbito de análisis. También se estudia el clima marítimo propio de la zona que fundamentará los estudios posteriores de dinámica litoral.

Combinando la información obtenida en estos estudios con los datos aportado por el instituto IIAMA-UPV en relación a la calidad de agua existentes de las tres masas de agua que forman el ámbito de análisis (masas C016, C017 y C018), se ha elaborado un modelo de dispersión de contaminantes que simula la trayectoria de las partículas en el medio marino para las diferentes hipótesis establecidas.

La herramienta utilizada para el desarrollo del modelo de dispersión de contaminantes ha sido MOHID Water, de un modelo hidrodinámico tridimensional de aproximación numérica mixta euleriana-lagrangiana de transporte de contaminantes.

Mediante los resultados obtenidos para las diferentes simulaciones del modelo de dispersión de contaminantes, se identifican las fuentes que con mayor probabilidad afectarán a la zona de estudio en caso de emitir altas concentraciones de partículas de contaminación.

Finalmente, y en base a todo el estudio desarrollado, se realiza una propuesta de medidas de gestión que contribuyan a la mejora del estado ecológico de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura) y con ello al cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos por la Directiva Marco del Agua.

PALABRAS CLAVE

Clorofila; Corrientes marinas; Dinámica litoral; Fitoplancton; Fuente de aporte de nutrientes; Modelo de dispersión de contaminantes; Transporte de partículas.

RESUM

L'alteració exponencial dels ecosistemes en les últimes dècades ha portat al creació de polítiques que promouen el control de l'estat ecològic dels diferents mitjans. En particular, la Directiva Europea Marc de l'Aigua i la seua transposició a la legislació espanyola promouen el control dels ecosistemes aquàtics i limiten els nivells de contaminació en aquest medi.

En particular, es presenta la casuística de la massa d'aigua costera C017 localitzada a la província d'Alacant (Comunitat Valenciana), la qual presenta elevats nivells de concentració d'organismes fitoplànctònics segons els últims estudis realitzats. Això que comporta a la classificació de l'estat ecològic d'aquesta massa d'aigua com a *Moderat* sobre la base de la normativa vigent.

L'institut IIAMA-UPV ha realitzat el registre de les dades de qualitat d'aigua referents a paràmetres fisicoquímics (nutrients) i biològics (fitoplàncton) de la massa d'aigua costera C017 i de les masses d'aigua contigües C016 (Cap d'Hortes – Santa Pola) i C018 (Guardamar del Segura – Cap Cervera). Aquestes dades han sigut obtinguts mitjançant l'anàlisi de mostres preses les estacions situades en aquestes masses d'aigua de manera periòdica durant el període d'anàlisi 2005-2018.

El present Treball Final de Màster es focalitza en la investigació de la dinàmica litoral de la zona en relació a la proliferació d'organismes fitoplànctònics. Per a això, es realitza en primer lloc una caracterització completa de la zona d'estudi, identificant les fonts potencials d'aportació de contaminants que afecten l'àmbit d'anàlisi. També s'estudia el clima marítim propi de la zona que fonamentarà els estudis posteriors de dinàmica litoral.

Combinant la informació obtinguda en aquests estudis amb les dades aportades per l'institut IIAMA-UPV en relació a la qualitat d'aigua existents de les tres masses d'aigua que formen l'àmbit d'anàlisi (masses C016, C017 i C018), s'ha elaborat un model de dispersió de contaminants que simula la trajectòria de les partícules en el medi marí per a les diferents hipòtesis establides.

L'eina utilitzada per al desenvolupament del model de dispersió de contaminants ha sigut MOHID Water, d'un model hidrodinàmic tridimensional d'aproximació numèrica mixta euleriana-lagrangiana de transport de contaminants.

Mitjançant els resultats obtinguts per a les diferents simulacions del model de dispersió de contaminants, s'identifiquen les fonts que amb major probabilitat afectaran la zona d'estudi en cas d'emetre altes concentracions de partícules de contaminació.

Finalment i sobre la base de tot l'estudi desenvolupat, es realitza una proposta de mesures de gestió que contribuïsquen a la millora de l'estat ecològic de la massa d'aigua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura) i amb això al compliment dels paràmetres de qualitat establits per la Directiva Marc de l'Aigua.

PARAULES CLAU

Clorofil·la; Corrents marins; Dinàmica litoral; Fitoplàncton; Font d'aportació de nutrients; Model de dispersió de contaminants; Transport de partícules.

ABSTRACT

The exponential alteration of ecosystems in recent decades has led to the creation of policies that promote control of the ecological status of the different media. In particular, the European Water Framework Directive and its transposition into the Spanish legislation promotes the control of aquatic ecosystems and limit the levels of pollution in this environment.

In particular, it is presented the casuistry of the coastal water mass C017 located in the province of Alicante (Valencian Community), which presents high levels of concentration of phytoplankton organisms according to the latest studies that has been carried out. This leads to the classification of the ecological status of this body of water as *Moderate* based on current regulations.

The IIAMA-UPV institute has registered the water quality data referring to physicochemical (nutrients) and biological (phytoplankton) parameters of the coastal water body C017 and the contiguous water bodies C016 (Cabo de Huertas - Santa Pola) and C018 (Guardamar del Segura - Cabo Cervera). These data have been obtained by analyzing samples taken from the stations located in these bodies of water periodically during the analysis period 2005-2018.

This Master's Final Project focuses on the investigation of the coastal dynamics of the area in relation to the proliferation of phytoplankton organisms. To do this, firstly it has been carried out a complete characterization of the study area, identifying the potential sources of contaminant input that affect the site of analysis. The maritime climate of the area has been also studied, which will be the basis for the subsequent studies of littoral dynamics.

Combining the information obtained in these studies with the data provided by the IIAMA-UPV institute in relation to the existing water quality of the three bodies of water that form the scope of analysis (bodies C016, C017 and C018), a pollutant dispersion model that simulates the trajectory of the particles in the marine environment for the established hypotheses.

MOHID Water has been the tool used for the development of the pollutant dispersion model has been, which is a three-dimensional hydrodynamic model of mixed Eulerian-Lagrangian numerical approximation of pollutant transport.

Through the results obtained for the different simulations of the pollutant dispersion model, the sources that are most likely to affect the study area in case of emitting high concentrations of pollution particles are identified.

Finally, and based on the entire study developed, some management measures has been proposed, with the aim of contributing to the improvement of the ecological status of the coastal water mass C017 (Santa Pola - Guardamar del Segura) and with it to the fulfillment of the parameters of quality established by the Water Framework Directive.

KEY WORDS

Chlorophyll; Coastal dynamics; Particle transport; Phytoplankton; Pollutant dispersion model; Sea currents; Source of nutrient supply.

CÁPITULO 1. INTRODUCCIÓN

La publicación de la Directiva 2000/60/CE, conocida como *Directiva Marco del Agua*, introdujo un marco de referencia europeo para la protección y mejora de las masas de agua comunitarias. En particular, la directiva estableció los principios que debía seguir cada Estado miembro para establecer los criterios de calidad del estado ecológico de las masas de agua de su territorio, además de promover la vigilancia de los parámetros correspondientes para el cumplimiento de estos criterios.

Las aguas costeras del territorio español son competencia de las Comunidades Autónomas, quienes tienen la responsabilidad de mantener y vigilar el estado ecológico de las masas de agua costera dentro de los límites de calidad establecidos.

En particular, la Comunitat Valenciana cuenta en su territorio con 19 masas de agua costera. Desde el año 2005 se estableció una estrategia de muestreo con una red de aproximadamente 100 estaciones para el control y vigilancia del estado ecológico de las masas de agua costera de la Comunitat Valenciana. En concreto, el organismo autonómico responsable ha identificado una deficiencia en la calidad de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura). En base a los últimos datos ofrecidos por el Informe 2018 IIAMA-UPV, la masa de agua C017 incumple el estado ecológico establecido por la Directiva Marco del Agua, con un estado “Moderado” en el indicador *Fitoplancton*.

1.1. OBJETO

El presente estudio tiene por objeto el análisis de la influencia de la dinámica litoral en la proliferación de organismos fitoplanctónicos en la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura). Para ello, será necesario establecer las potenciales fuentes de aporte de nutrientes que afectan a la zona y realizar el estudio del transporte de partículas en el medio marino. Una vez establecida la relación de la dinámica litoral con la contaminación de la zona e identificadas las fuentes de contaminación potenciales, se establecerán propuestas de medidas de gestión para mejorar el estado ecológico de la masa de agua estudiada.

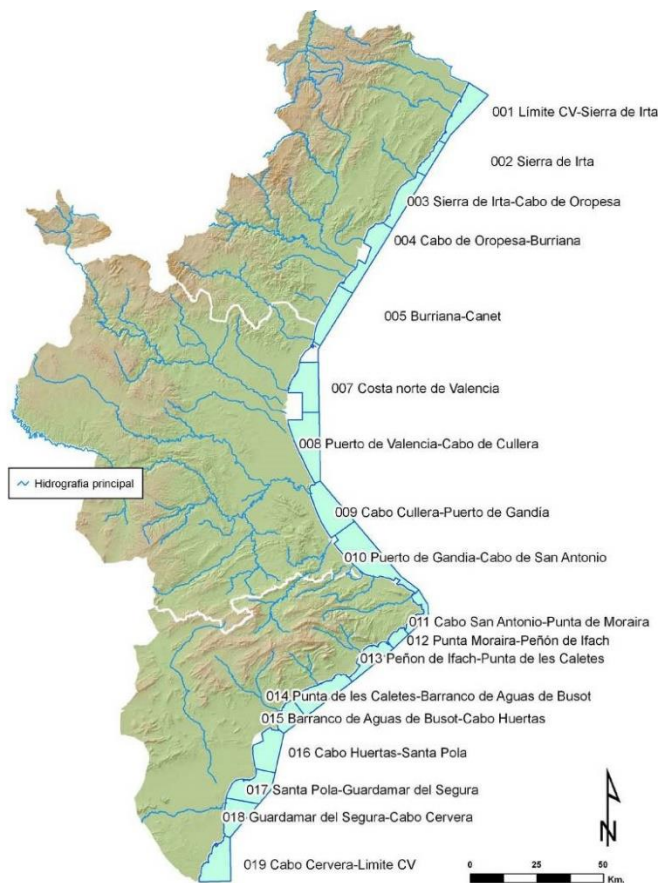


Figura 1. Delimitación de las masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana.
[Fuente: Direcció General de l'Aigua de la Comunitat Valenciana]

CÁPITULO 2. ANTECEDENTES

2.1. NORMATIVA RELEVANTE

Los documentos normativos de mayor relevancia para este estudio son, por una parte, la Directiva Marco del Agua en la que se definen las líneas principales que debe seguir cada estado miembro para establecer los criterios de calidad de las masas de agua costera su propio territorio. Por otra parte, es también relevante el Real Decreto 817/2005, el cual se establecen los límites de los parámetros de calidad para la definición del estado ecológico de las masas de agua costera.

2.1.1. Directiva 2000/60/CE del parlamento europeo y del consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

La Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea, conocida como *Directiva Marco del Agua*, constituye un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. La directiva trata de establecer una referencia común europea para la protección de las masas de agua comunitarias, la prevención de todo deterioro y la mejora del estado de los ecosistemas acuáticos existentes.

La Directiva Marco del Agua no se centra únicamente en las masas de agua superficiales continentales, sino que también se encarga de establecer un marco de referencia comunitario en cuanto a la protección y mejora de las aguas de transición, las aguas subterráneas y las aguas costeras. En particular, la directiva define *aguas costeras* como las aguas superficiales situadas hacia tierra desde una línea cuya totalidad de puntos se encuentra a una distancia de una milla náutica mar adentro desde el punto más próximo de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden, en su caso, hasta el límite exterior de las aguas de transición.

La Directiva Marco del Agua establece la necesidad de definición por parte de cada estado miembro de las regiones ecológicas, tipos de masas de aguas costeras, y los límites para los indicadores de calidad que definirán el estado ecológico de las masas de agua costera:

| Indicador | Muy buen estado | Buen estado | Estado aceptable |
|-----------|--|--|---|
| General | <p>No existen alteraciones antropogénicas de los valores de los indicadores de calidad fisicoquímicas e hidromorfológicas correspondientes al tipo de masa de agua superficial, o existen alteraciones de muy escasa importancia, en comparación con los asociados normalmente con ese tipo en condiciones inalteradas.</p> <p>Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes a la masa de agua superficial reflejan los valores normalmente asociados con dicho tipo en condiciones inalteradas, y no muestran indicios de distorsión, o muestran indicios de escasa importancia.</p> <p>Éstas son las condiciones y comunidades específicas del tipo.</p> | <p>Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial muestran valores bajos de distorsión causada por la actividad humana, pero sólo se desvían ligeramente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas.</p> | <p>Los valores de los indicadores de calidad biológicos correspondientes al tipo de masa de agua superficial se desvían moderadamente de los valores normalmente asociados con el tipo de masa de agua superficial en condiciones inalteradas. Los valores muestran signos moderados de distorsión causada por la actividad humana y se encuentran significativamente más perturbados que en las condiciones correspondientes al buen estado.</p> |

*Tabla 1. Definición general para ríos, lagos, aguas de transición y aguas costeras.
[Fuente: Directiva 2000/60/CE]*

Los indicadores de calidad del estado ecológico para la categoría de *Aguas Costeras* que define la directiva son de tres tipos:

1. Indicadores biológicos: fitoplancton, flora acuática y fauna bentónica de invertebrados.
2. Indicadores hidromorfológicos que afectan a los indicadores biológicos: condiciones morfológicas, corrientes marinas y oleaje.
3. Indicadores químicos y fisicoquímicos que afectan a los indicadores biológicos: transparencia, condiciones térmicas, condiciones de oxigenación, salinidad, condiciones relativas a los nutrientes y contaminantes específicos.

La directiva europea se centra en la definición cualitativa del estado de la masa de agua en función de estos indicadores. Serán los Estados miembros los encargados de la definición cuantitativa de estos indicadores y de los umbrales para la clasificación del estado de las masas de agua costera en “Muy buen estado”, “Buen estado”, “Estado aceptable” o “Estado deficiente”. Cabe destacar que, en el caso español, estos indicadores se definen en el *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*.

La Directiva Marco del Agua también establece la periodicidad mínima de controles de vigilancia de los parámetros correspondientes a los indicadores de calidad.

2.1.2. *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.*

El Real Decreto 817/2015 establece, entre otras consideraciones, “las condiciones de referencia y los límites de clases de estado de los indicadores de los elementos de calidad biológicos, fisicoquímicos e hidromorfológicos para clasificar el estado o potencial ecológico de las masas de agua superficiales.”. Este real decreto amplía algunos aspectos en línea con la Directiva 2000/60/CE y la legislación española en materia de aguas.

En relación a las masas de agua costeras, se definen treinta tipos en función de su localización y sus características. En particular, la masa de agua costera C017 se define como *AC-T06 Aguas costeras mediterráneas no influenciadas por aportes fluviales, someras mixtas*.

El Real Decreto 817/2005 también establece qué indicadores serán aplicables en cada tipo de masa de agua costera para la definición su estado de calidad, además de los límites para cada indicador que definen los umbrales para la clasificación del estado de las masas de agua costera en “Muy buen estado”, “Buen estado”, “Estado aceptable” o “Estado deficiente”. En el caso de la masa de agua costera C017, los indicadores y los límites para establecer el estado ecológico de la masa de agua son los siguientes:

| Elemento | Indicador | Acrónimo |
|--------------------------------------|--|----------|
| Fitoplancton | P90 de concentración de clorofila-a (µg/L) | Chl-a |
| Condiciones generales: Nutrientes | Amonio (µmol NH ₄ /L) | Amonio |
| | Nitritos (µmol NO ₂ /L) | Nitritos |
| | Nitratos (µmol NO ₃ /L) | Nitratos |
| | Fosfatos (µmol PO ₄ /L) | Fosfatos |
| | Índice Fosfatos-Amonios-Nitritos | FAN |

Tabla 2. Indicadores para la definición del estado de las masas de agua costera del tipo AC-T06.
[Fuente: Real Decreto 817/2015]

| | Referencia | Muy bueno/ Bueno | Bueno/ Moderado | Moderado/ Pobre | Pobre/ Malo |
|--|------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| P90 Clorofila a (µg/L) | 1.8 | 2.26 | 3.60 | 5.00 | 6.42 |
| Promedio Amonio (µmol NH ₄ /L) | | | 4.60 | | |
| Promedio Nitrito (µmol NO ₂ /L) | | | 0.92 | | |
| Promedio Nitrato (µmol NO ₃ /L) | | | 7.3 | | |
| Promedio Fosfato (µmol PO ₄ /L) | | | 0.76 | | |
| FAN | | -0.2 | 0.2 | 0.6 | 1 |

Tabla 3. Umbrales para la definición del estado de las masas de agua costera del tipo AC-T06.
[Fuente: Real Decreto 817/2015]

2.2. ESTUDIOS PREVIOS

El documento principal del que toma la base este estudio es el *Informe 2018 IIAMA-UPV*, en el cual se describen los resultados obtenidos hasta la fecha de las campañas de muestreo para la definición del estado ecológico de tres masas de agua, entre ellas la masa de agua costera C017.

Cabe destacar la existencia de otros estudios relevantes, los cuales se citan a lo largo de este documento como referencias bibliográficas.

2.2.1. Informe de la Campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana. (2018, IIAMA – UPV)

El Informe 2018 sobre la calidad de las masas de agua costeras C016 (Cabo de Huertas – Santa Pola), C0161 (Puerto de Alicante) y C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura) identifica que, en base a las últimas campañas de muestreo realizadas, la masa de agua C017 incumple el estado ecológico establecido por la Directiva Marco del Agua, con un estado “Moderado” en el indicador *Fitoplancton*.

El Informe 2018 IIAMA-UPV ha sido emitido por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente perteneciente a la Universidad Politécnica de Valencia, quien se encarga de la determinación del estado ecológico de las masas de agua C016, C0161 y C017, según los requerimientos de la Directiva Marco del Agua.

El informe indica que el indicador biológico *Fitoplancton* de la masa C017 ha superado el límite establecido para el estado “Bueno/Moderado” en la mayoría de las anualidades históricas de las que se cuenta con datos. A pesar de haber mejorado ligeramente en los últimos años, sigue incumpliendo en el promedio de las últimas 5 anualidades, por lo que, según los criterios establecidos, se asigna un “Estado Moderado” de la calidad a la masa de agua costera C017 en relación a este indicador.

No obstante, el indicador de *Fitoplancton* para las masas de agua costera próximas a la masa de agua C017 obtienen resultados ligeramente inferiores, lo cual mantienen la calificación de estas masas de agua en estado de calidad “Bueno”.

| Masa | Fitoplancton |
|-------|--------------|
| C016 | Bueno |
| C017 | Moderado |
| C0161 | Bueno |

Tabla 4. Resultados del indicador *Fitoplancton* en el intervalo 2011-2018 para las masas de agua C016, C0161, C017.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Este informe también establece que, respecto a los criterios de salinidad, pH y turbidez, las masas de agua estudiadas mantienen los valores habituales para su tipología, sin aspectos importantes que destacar. En cuanto a los indicadores físico-químicos, todas las masas de agua costera estudiadas en el informe cumplen con los criterios de calidad establecidos en la Directiva Marco del Agua.

| Masa | Promedios | | | | Estado masas de agua según nutrientes |
|------|-----------|---------|---------|-------|---------------------------------------|
| | Amonio | Nitrito | Nitrato | PSR | |
| C016 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |
| C017 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |
| C161 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |

Tabla 5. Resultados de los indicadores físicoquímicos 2018 para las masas de agua C016, C0161, C017.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

CAPÍTULO 3. PROPUESTA METODOLÓGICA

Como se ha establecido anteriormente, el **objetivo principal** de este estudio es analizar la dinámica litoral de la masa de agua C017 y su influencia en la proliferación de organismos fitoplanctónicos.

Para ello, es necesario desarrollar una serie de objetivos secundarios, mediante la determinación de los cuales se llegará a la consecución el objetivo principal:

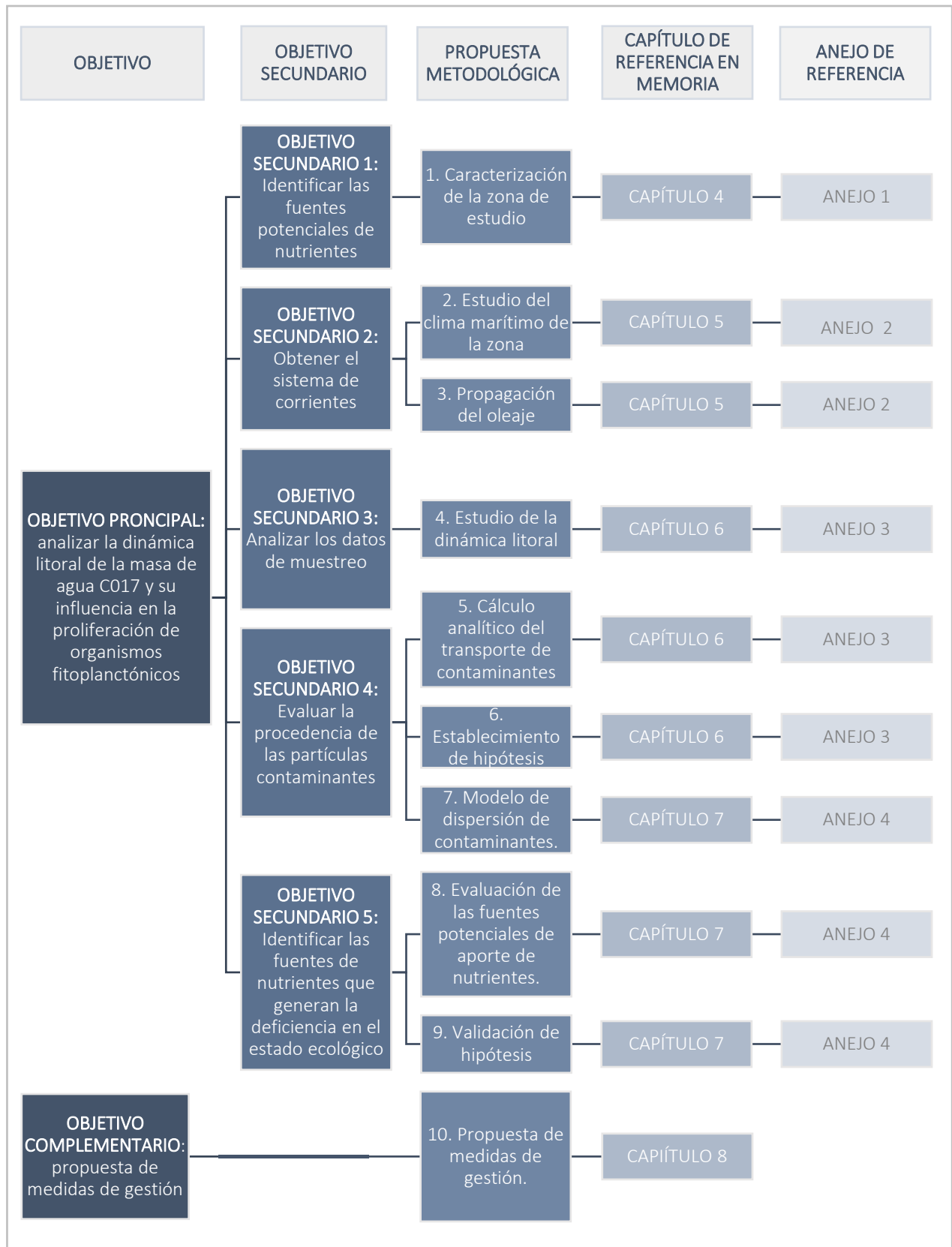
- **Objetivo secundario 1.** Identificar las fuentes potenciales de aporte de nutrientes.
- **Objetivo secundario 2.** Obtener el sistema de corrientes de la zona de estudio.
- **Objetivo secundario 3.** Analizar los datos de muestreo y establecer posibles correlaciones.
- **Objetivo secundario 4.** Evaluar la procedencia de las partículas contaminantes que llegan a las estaciones de muestreo.
- **Objetivo secundario 5.** Identificar las fuentes de nutrientes que generan las deficiencias en el estado ecológico de la masa de agua costera.

Una vez determinado el objetivo principal de este estudio, se realiza una propuesta de medidas de gestión que complementarán a todo lo establecido anteriormente. Esta última fase del estudio se llevará a cabo una vez desarrollados todos los objetivos, principales y secundarios, por lo que se tratará de un **objetivo complementario** al cumplimiento de los otros objetivos.

Para lograr los objetivos marcados, se establece la siguiente metodología de trabajo:

1. Caracterización de la zona de estudio: se realiza un análisis físico y ambiental del ámbito de estudio, localizado en la masa de agua costera objeto de análisis en el medio y definiendo la extensión del área de estudio. Además, se describen las fuentes de agua naturales que tienen su desembocadura ubicada en el ámbito de análisis. También se identifican los principales vertidos desde tierra al mar y se realiza una estimación de los posibles vertidos no autorizados. Con todo ello, se obtiene una descripción integral de la zona de estudio.
2. Estudio del clima marítimo de la zona: se establece en nivel de referencia y se analizan los niveles del mar habituales mediante la definición del régimen de mareas de a la zona. También se define el régimen de oleaje a través de estudio de sus parámetros representativos: altura de ola significativa, periodo pico y dirección predominante de oleaje.
3. Propagación del oleaje: partiendo de las condiciones de clima marítimo establecidas, se realiza la propagación del oleaje hacia aguas poco profundas, donde se considerarán los efectos del fondo marino y se producen los fenómenos de refracción, difracción y asomeramiento. Con esto, se obtendrá una definición completa del oleaje característico en cada punto de la zona de análisis.
4. Estudio de la dinámica litoral: se define la dinámica propia de la zona debida a la actuación sobre el medio de los diversos agentes climáticos, principalmente el oleaje, las mareas, las corrientes y el viento.
5. Cálculo analítico del transporte de contaminantes: se establecen los principios físicos para el transporte de partículas en el medio marino y se realiza el cálculo aproximado del desplazamiento de las partículas aplicando la Teoría de la Deriva de Stokes.
6. Establecimiento de hipótesis: una vez se ha definido todo el ámbito de estudio y se ha calculado una primera aproximación de la trayectoria que las partículas de contaminante han seguido hasta alcanzar las estaciones de muestreo, es posible establecer una serie de hipótesis sobre las posibles fuentes de aporte de nutrientes que afectan a la proliferación de organismos fitoplanctónicos en la zona de estudio.

7. Modelo de dispersión de contaminantes: se realiza la modelación del sistema de corrientes y del transporte de contaminantes en la zona de estudio mediante la herramienta de cálculo numérico MOHID Water, la cual permite simular la dispersión y trayectoria de las partículas a través de trazadores lagrangianos.
8. Evaluación de las fuentes potenciales de aporte de nutrientes: se realizan distintas simulaciones analizando diferentes escenarios con el modelo hidrodinámico MOHID Water para evaluar la trayectoria de las partículas procedentes de las distintas fuentes de contaminantes próximas a la zona de estudio. De este proceso se obtiene una aproximación de las fuentes potenciales de contaminantes que afectan a la zona de análisis y a la problemática estudiada.
9. Validación de hipótesis: en base a los resultados del modelo de cálculo tridimensional, se realiza un proceso de validación y descarte de las hipótesis formuladas anteriormente.
10. Propuesta de medidas de gestión: finalmente, en base a todo el estudio realizado y una vez determinadas las fuentes potenciales de contaminación, se propone una serie de medidas de gestión para tratar de mejorar la problemática existente.



*Figura 2. Relación entre los objetivos establecidos y cada apartado de la propuesta metodológica.
[Fuente:propia]*

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN MASA DE AGUA COSTERA C017 (SANTA POLA – GUARDAMAR DEL SEGURA).

La *masa de agua costera C017 Santa Pola - Guardamar del Segura* se ubica en el litoral de la provincia de Alicante, entre la zona norte del cabo de Santa Pola y el norte del litoral del municipio de Guardamar del Segura. Se trata de una zona de 148 Km² de superficie de masa de agua costera distribuidos a lo largo de cerca de 20 km de litoral continental.

Para una mayor caracterización de la zona de estudio, también se han definido y analizado las masas de agua contiguas *C016 Cabo Huertas – Santa Pola* y *C018 Guardamar del Segura – Cabo Cervera*. De esta manera, se logra una mayor comprensión de la problemática existente.

La caracterización completa de la zona de estudio se presenta en el *Anejo nº1* de este trabajo. Seguidamente se realiza una breve exposición de los aspectos más característicos de esta parte del estudio.

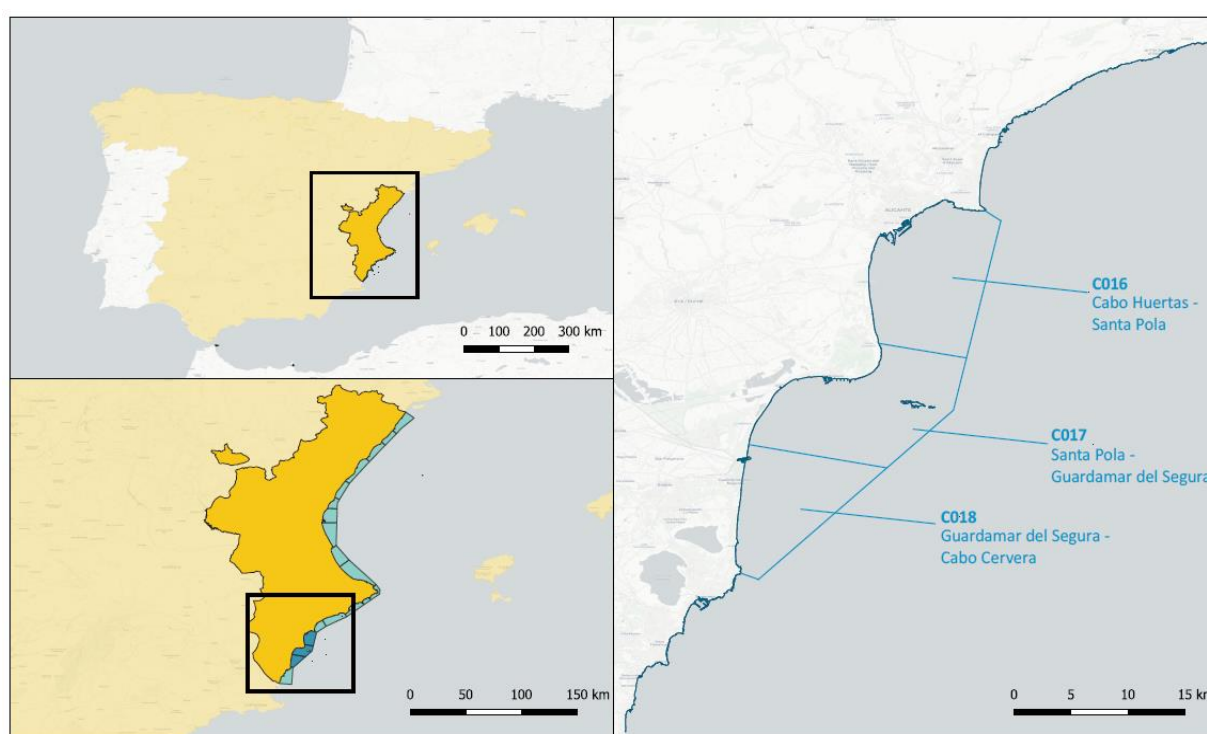


Figura 3. Localización de la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº1: Localización de la zona de estudio]

Caracterización ambiental de la zona de estudio

La descripción de las características ambientales de la zona se centra en la identificación de los principales elementos naturales pertenecientes al medio físico y biótico.

Para ello, se establece en primer lugar la batimetría de detalle empleada de la plataforma costera sumergida y se define el estado ecológico de las masas de agua con respecto a su calidad ambiental. También se caracteriza la morfología marina, los usos del suelo y el patrimonio natural de la franja litoral, además de describir las comunidades bentónicas y la biocenosis principales de la zona de estudio. Todo ello se acompaña de mapas temáticos correspondientes a los *Planos 2 a 6*.

Análisis y caracterización de las fuentes y vertidos que afectan a la zona de estudio

Los vertidos que se consideran de relevancia para el estudio de las posibles fuentes de contaminación de la masa de agua costera C017 han sido agrupados, en función de su naturaleza, de la siguiente manera:

- **Fuentes naturales**, correspondientes a las principales masas de agua de transición de la zona.
- **Vertidos autorizados**, correspondientes a vertidos artificiales que han sido autorizados por la autoridad reguladora responsable, tratándose principalmente de vertidos de aguas residuales tratadas u otro tipo de aguas que han recibido algún tratamiento de depuración.
- **Vertidos no autorizados**, los cuales no están siendo controlados por el organismo responsable, en su mayoría no están registrados siendo por tanto de difícil identificación y caracterización.

La siguiente tabla sintetiza las principales fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados que han identificado en la zona de estudio. Además, se realiza una agrupación de algunas de estas fuentes y vertidos según la proximidad de su ubicación, resultando finalmente cinco localizaciones de vertido en la zona de estudio.

| TIPO DE FUENTE | DESCRIPCIÓN | UBICACIÓN DEL PUNTO DE VERTIDO |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| FUENTES NATURALES | Desembocadura y Frente Litoral del Segura | 1. Desembocadura del Segura |
| | Desembocadura del Río Vinalopó | 2. Desembocadura del Vinalopó |
| | Salinas de Santa Pola | 2. Desembocadura del Vinalopó |
| | Barranco de las Ovejas | 4. Puerto de Alicante |
| VERTIDOS AUTORIZADOS | Vertido “Ayuntamiento de Guardamar del Segura” (tanques de preengorde de piscifactorías): | 1. Desembocadura del Segura |
| | Vertido “Mancomunitat de l’Alacantí” (emisario submarino EDAR Monte Orgegja) | 5. Emisario Alacantí |
| VERTIDOS NO AUTORIZADOS | Emisario submarino EDAR Rincón de León | 4. Puerto de Alicante |
| | Vertidos difusos en Santa Pola | 3. Santa Pola |

Tabla 6. Tabla resumen de 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio y agrupación en 5 localizaciones.



Figura 4. Ubicación de los 5 puntos de vertido que agrupan las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio.

CAPÍTULO 5. ESTUDIO DE CLIMA MARÍTIMO

La definición completa del clima marítimo de la zona y la propagación del oleaje se presenta en el *Anejo nº2* de este trabajo. Seguidamente se realiza una breve exposición de los aspectos más característicos de esta parte del estudio.

Análisis de los niveles del mar en la zona y los regímenes de mareas

En cuanto al análisis del nivel del mar, se define el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) como nivel de referencia empleado para todo el estudio. No obstante, también se utilizará el esquema Datum del Mareógrafo de Gandía para la definición de algunos parámetros de entrada del modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water definidos en el *Anejo nº4*.

Definición del oleaje característico de la zona

El análisis de oleaje realizado se centra en la definición de las condiciones de clima marítimo en régimen medio, ya que, de manera general, este estudio se enmarcará en este régimen de oleaje. No obstante también se realiza una breve descripción del régimen extremal de la boya más cercana a la zona de estudio, únicamente a modo informativo y para una mayor definición de área de análisis.

Se selecciona el punto SIMAR S2 (2077097) como el más representativo para la descripción del régimen medio de oleaje de la zona de estudio. El análisis realizado determina que las direcciones *Este*, *Este-Sureste* y *Este-Noreste* se definen como las direcciones predominantes del oleaje. Además, se caracterizan los parámetros *Altura de Ola Significante* y *Periodo Pico* propios del oleaje en régimen medio de la zona de estudio.

Estudio de la propagación del oleaje mediante el modelo SWAN.

Por último y partiendo de las condiciones de clima marítimo establecidas, se realiza la propagación del oleaje por todo el ámbito de estudio con el objetivo de obtener una definición completa del oleaje característico en cada punto de la zona de análisis.

La propagación del oleaje se ha realizado con el modelo numérico SWAN. Los resultados obtenidos serán utilizados como datos de entrada para el modelo de dispersión de contaminantes MOHID Water.

Por limitaciones computacionales, ha sido necesario definir dos mallas de cálculo, una malla del modelo general y una malla reducida. En esta última se reduce el área de computación y con el fin de alargar el periodo de simulación.

Finalmente, se han realizado seis simulaciones de propagación de oleaje: 3 periodos de análisis y 2 simulaciones por periodo, con un mallado y una extensión temporal diferente. Los resultados obtenidos por el modelo SWAN para cada una de las simulaciones se calculan con un intervalo horario definido y se almacenan en archivos HDF asociando un valor por celda, por parámetros y por intervalo horario. Los parámetros que han sido propagados por toda la extensión de la zona de estudio son: *Dirección media de oleaje*, *Periodo pico de oleaje*, *Altura significativa de ola*, *Componente X del tensor de radiación* y *Componente Y del tensor de radiación*.

CAPÍTULO 6. ESTUDIO DE DINÁMICA LITORAL

La definición completa de la dinámica litoral de la zona de estudio se presenta en el *Anejo n°3* de este trabajo. Seguidamente se realiza una breve exposición de los aspectos más característicos de esta parte del estudio.

Características del entorno

Los principales componentes para la definición de la dinámica litoral de la zona y su relación con el transporte de partículas contaminantes son la descripción batimétrica de la plataforma sumergida, la definición del clima marítimo propio de la zona y la propagación del oleaje hacia aguas poco profundas, todo ello definido en los *Anejos n° 1 y 2*. Con esto, se realiza un estudio analítico de la posible procedencia de partículas de contaminantes en base a la dinámica litoral de la zona.

En primer lugar, se estudia el comportamiento estacional de los niveles de clorofila por encima del límite establecido. Se obtienen los siguientes resultados del análisis de las campañas de muestreo realizadas por el IIAMA durante el periodo 2005-2018:

- Ubicación de 11 estaciones de muestreo de las 3 masas de agua estudiadas (Plano n°8).
- Número de muestras analizadas válidas: **551**.
- Número de muestras en las que se ha detectado un exceso del indicador clorofila: **66 muestras**.
- Las tres masas de agua estudiadas han superado el límite establecido para la determinación de un estado “Bueno” de la masa de agua en algún momento del periodo de estudio. En el gráfico se observan dos patrones diferenciados en dos periodos: 2005-2010, en general, valores por encima del límite establecido, y 2010-2018 tendencia a la disminución de concentración de clorofila en las tres masas de agua. Sin embargo, la masa de agua C017 ha mantenido durante el último periodo (2010-2018) concentraciones de clorofila cercanas y superiores al criterio límite establecido
- La estación DP115 de la masa de agua costera C017 es la que mayores de concentración de clorofila ha registrado en el último periodo de análisis (2012-2018).
- En base al estudio realizado en el *Anejo n°3*, no se aprecia una variación estacional de los niveles de concentración de clorofila de la zona de estudio.

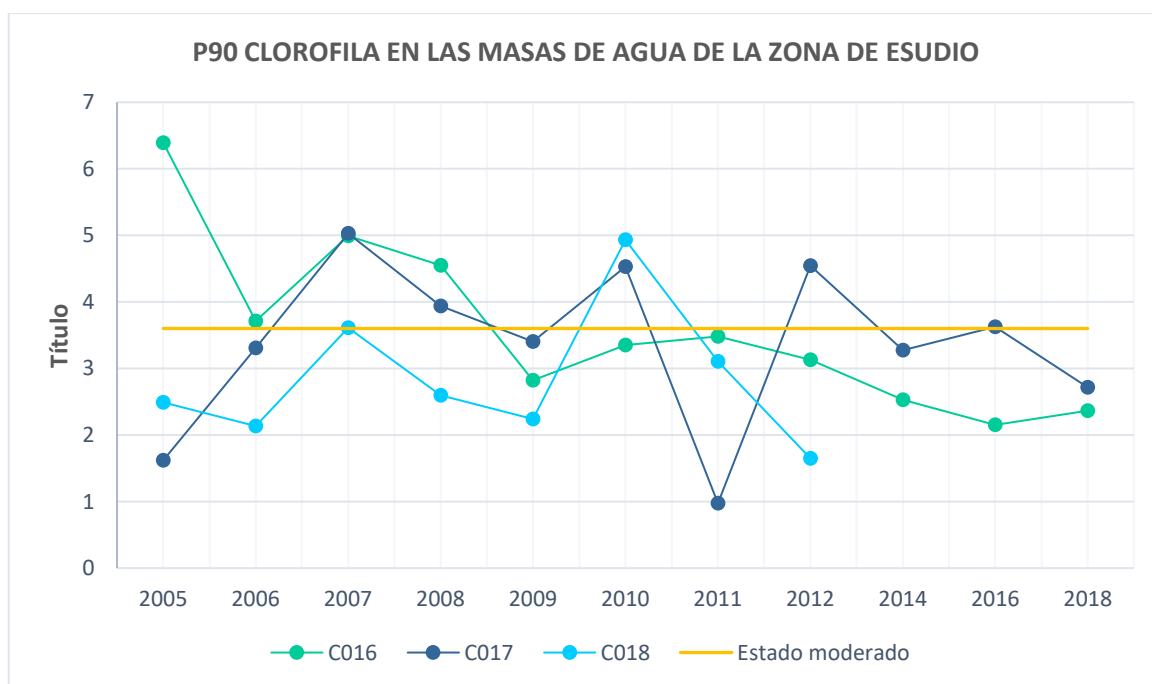


Figura 5. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio. [Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

Cálculo analítico del transporte de contaminantes

El cálculo realizado del transporte de contaminantes por métodos analíticos se ha basado en las teorías de la trayectoria de las partículas en el medio marino. Se define la Teoría lineal de Airy que determina trayectorias circulares y elípticas de las partículas en función de su profundidad, y la Teoría de la deriva de Stokes, que basándose en la Teoría de Airy, establece la existencia de un transporte de masa neto de las partículas.

Con el objetivo de obtener una primera aproximación de la procedencia de las partículas que alcanzan las estaciones de muestreo de la masa de agua C017, se ha calculado y representado el polígono funicular de la trayectoria de procedencia de las partículas en las 48 horas anteriores a la toma de muestras para los días que se ha identificado un exceso del indicador Clorofila.

En la *Figura 6* se muestra como las direcciones de procedencia de las partículas se encuentran, en su mayoría, en el rango de direcciones Este-Noreste y Este-Sureste.

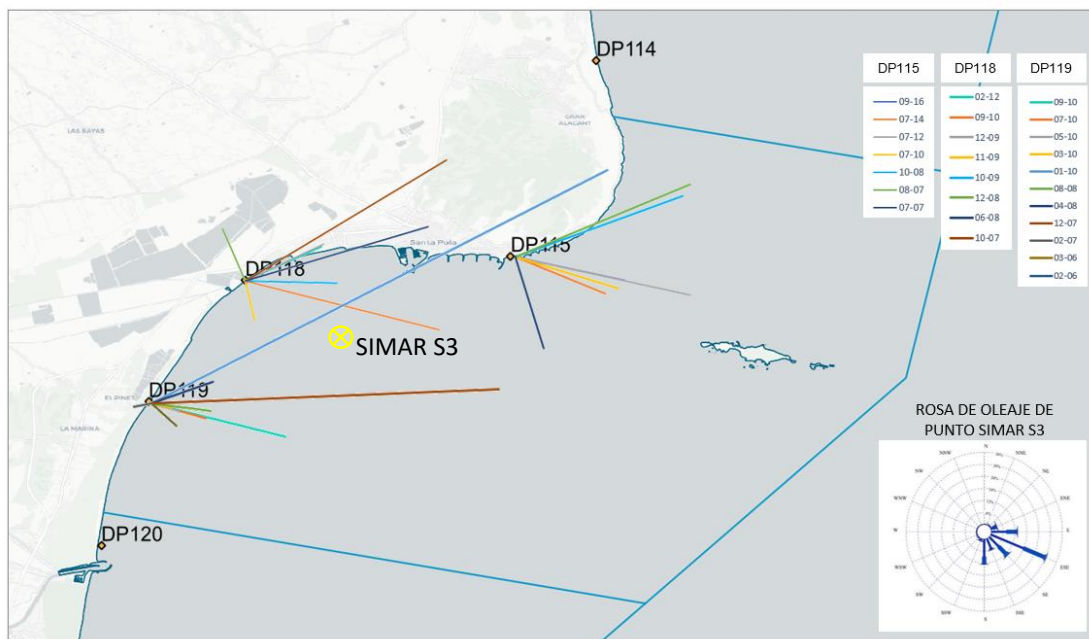


Figura 6. Composición de las estimaciones de procedencia de partículas en las estaciones de la masa de agua C017. [Elaboración propia]

Modelado del sistema de corrientes

Posteriormente, se ha modelado el sistema de corrientes de la zona con la herramienta MOHID Water. Para ello, se han empleado los resultados de la propagación del oleaje obtenidos por el modelo SWAN. Los resultados del modelado de corrientes serán empleados como dato de entrada del modelo de dispersión de contaminantes, también realizado con la herramienta MOHID Water.

Los resultados obtenidos del modelado de corrientes indican la existencia de corrientes de Norte a Sur en la línea de costa de la zona de ubicación de la estación DP115 (lugar de recogida de muestra con altos niveles en el indicador *Fitoplancton*). Además, la Isla de Tabarca parece afectar al sistema de corrientes causando un cambio de dirección: corrientes con dirección Norte - Sur que, una vez alcanzan la isla, toman una dirección Este - Noroeste.

Teniendo en consideración los valores generales de las velocidades de corriente de las simulaciones realizadas, con velocidades bajas en zonas de mar adentro (1-5 cm/s), alcanzando los mayores valores en la línea de costa (5-30cm/s), se observa una gran similitud con los resultados obtenidos para la trayectoria de las partículas en 48h por cálculo analítico, tanto en la dirección de procedencia como en la distancia recorrida por las partículas.

El conjunto de resultados gráficos del modelado del sistema de corrientes para las 6 simulaciones realizadas se adjunta en el *Apéndice 1* de este del *Anejo n°3*.

6.1. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS

Con todo lo anterior y en base a los análisis realizados en los *Anejos nº1, 2 y 3*, se realizan una serie de hipótesis en relación a la procedencia de las partículas de nutrientes que están causando la proliferación de fitoplancton en el ámbito de estudio, y con ello deteriorando el estado ecológico de la zona. Se toma de referencia la agrupación de las fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados realizada en el apartado 4.4. *Tabla resumen de las fuentes naturales y vertidos del Anejo nº1*.

- **HIPÓTESIS 1.** Las partículas contaminantes proceden de punto de vertido 1. *Desembocadura del Segura*, que agrupa la fuente natural del Río Segura y el vertido autorizado del Ayuntamiento de Guardamar del Segura.
- **HIPÓTESIS 2.** Las partículas contaminantes proceden de punto de vertido 2. *Desembocadura del Vinalopó*, que agrupa la fuente natural del Río Vinalopó y el drenaje de las Salinas de Santa Pola.
- **HIPÓTESIS 3.** Las partículas contaminantes proceden de punto de vertido 3. *Santa Pola*, que hace referencia a la posible existencia de vertidos difusos a lo largo de la franja litoral.
- **HIPÓTESIS 4.** Las partículas contaminantes proceden de punto de vertido 4. *Puerto de Alicante*, que agrupa la fuente natural del Barranco de las Ovejas y vertido no autorizado de la EDAR Rincón de León.
- **HIPÓTESIS 5.** Las partículas contaminantes proceden de punto de vertido 5. *Emisario Alacantí*, que hace referencia al vertido autorizado de la Mancomunitat de l'Alacantí procedente del emisario submarino de la EDAR Monte Orgegia.

| HIPÓTESIS | UBICACIÓN DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN | FUENTES Y VERTIDOS AGRUPADOS | TIPO DE FUENTE |
|-------------|---|--|-----------------------|
| HIPÓTESIS 1 | 1. Desembocadura del Segura | Desembocadura y Frente Litoral del Segura | Fuente natural |
| | | Vertido "Ayuntamiento de Guardamar del Segura" | Vertido autorizado |
| HIPÓTESIS 2 | 2. Desembocadura del Vinalopó | Desembocadura del Río Vinalopó | Fuente natural |
| | | Salinas de Santa Pola | Fuente natural |
| HIPÓTESIS 3 | 3. Santa Pola | Vertidos difusos en Santa Pola | Vertido no autorizado |
| HIPÓTESIS 4 | 4. Puerto de Alicante | Barranco de las Ovejas | Fuente natural |
| | | Emisario submarino EDAR Rincón de León | Vertido no autorizado |
| HIPÓTESIS 5 | 5. Emisario Alacantí | Vertido "Mancomunitat de l'Alacantí" Emisario submarino EDAR Monte Orgegia. | Vertido autorizado |

*Tabla 7. Resumen de las hipótesis formuladas.
[Elaboración propia]*

CAPÍTULO 7. ANÁLISIS DE LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN

La definición completa del modelo de dispersión de contaminantes mediante el cual se analizan las fuentes potenciales de contaminación de la zona de estudio se presenta en el *Anejo n°4* de este trabajo. Seguidamente se realiza una breve exposición de los aspectos más característicos de esta parte del estudio.

Comparativa de modelos

En primer lugar, se realizó una comparativa de los modelos existentes con el fin de realizar la elección de la herramienta más adecuada para este estudio. Se ha seleccionado la herramienta de cálculo MOHID Water por cumplir con las dos características principales requeridas: modelo hidrodinámico tridimensional, y modelo mixto euleriano-lagrangiano de transporte de contaminantes. Además, la herramienta MOHID Water trata de un modelo de código abierto accesible sin necesidad de adquisición de licencia de uso.

Descripción de las simulaciones

Una vez descrita la herramienta y sus principales funcionalidades, se han definido las simulaciones a realizar: se establecen tres periodos de simulación en los días anteriores a la recogida de muestras para los tres días en los que sea registrado un exceso de clorofila en la estación DP115 en el periodo 2012-2018.

Por limitaciones computacionales, se han realizado dos simulaciones por periodo (un total de 6 simulaciones): 3 simulaciones de 15 días, en las cuales se utiliza la malla general del modelo y se modelan las cinco fuentes potenciales identificadas; y 3 simulaciones de 22 días en las que se utiliza una malla reducida del modelo y únicamente se modelan las fuentes que, en base a las simulaciones de 15 días, tienen más posibilidades causar un exceso de contaminación en la estación DP115.

| | SIMULACIÓN | | | FECHA INICIO | FECHA FIN |
|-----------|--------------|---------|---------|--------------|------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | 11-09-2016 | 26-09-2016 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | 04-09-2016 | 26-09-2016 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | 08-07-2014 | 23-07-2014 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | 01-07-2014 | 23-07-2014 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | 02-07-2012 | 17-07-2012 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | 26-06-2012 | 17-07-2012 |

Tabla 8. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water.

[Elaboración propia]

Modelado de la dispersión de contaminantes en la zona de estudio

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y se concluye lo siguiente:

- En las Simulaciones 1, 3 y 5 se observa como, en base al sistema de corrientes y a la trayectoria de las partículas durante los 15 días de simulación, las fuentes que con mayor probabilidad de emitir partículas de contaminación que alcancen la estación DP115 se ubican en los puntos de vertido 4 y 5, ubicados en la zona norte del ámbito de estudio.
- En base a las Simulaciones 2, 4 y 6, se observa como las partículas de contaminación emitidas desde el punto de vertido 4 alcanzan la ubicación de la estación de muestreo DP115 en el periodo de 22 días. La emisión de partículas contaminantes desde el punto de vertido 5 no alcanza la estación en el periodo simulado, aunque en base a las corrientes modeladas, se puede estimar que en un periodo de simulación mayor (en torno a los 30 días), las partículas emitidas desde este punto también alcanzarían la estación DP115.

Seguidamente se expone una muestra de los resultados obtenidos por el modelo de dispersión de contaminantes, en el que se incluye también el modelado del sistema de corrientes. Las figuras siguientes corresponden al instante final de las simulaciones realizadas. El conjunto de resultados gráficos del modelado del modelo de dispersión de contaminantes para las 6 simulaciones realizadas se adjuntan en el *Apéndice 1* de este del *Anejo n°4*.

SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días

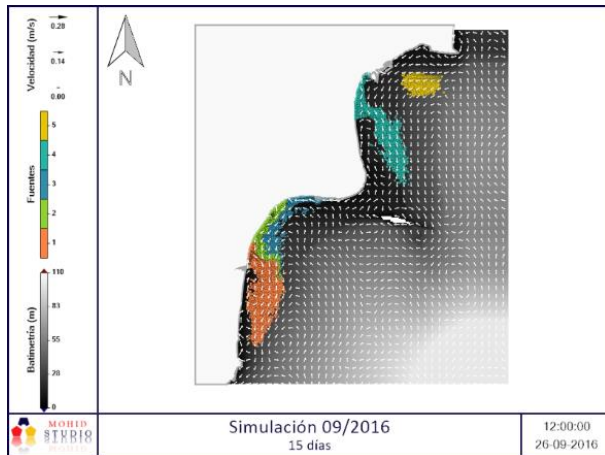


Figura 7. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días

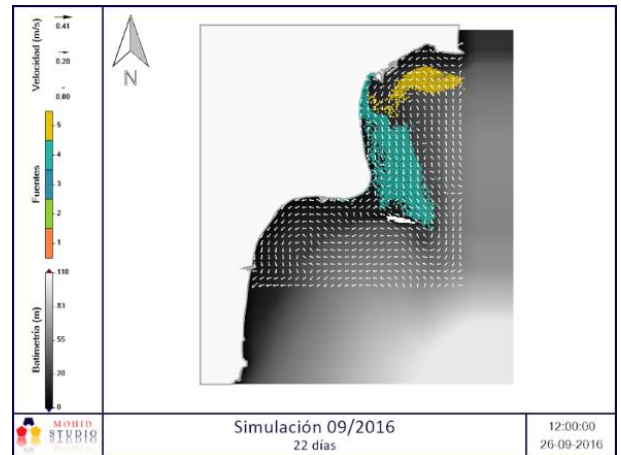


Figura 8. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días

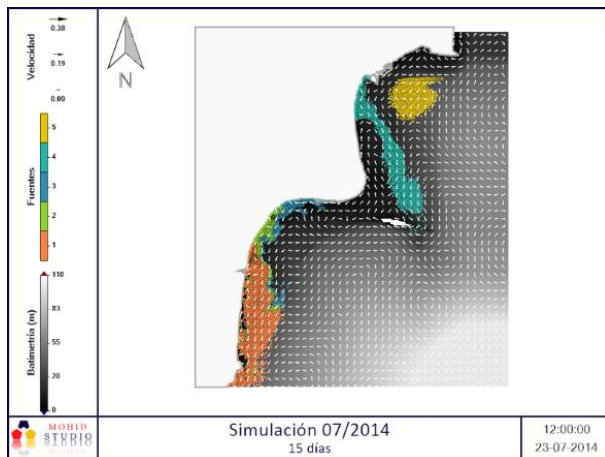


Figura 9. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días

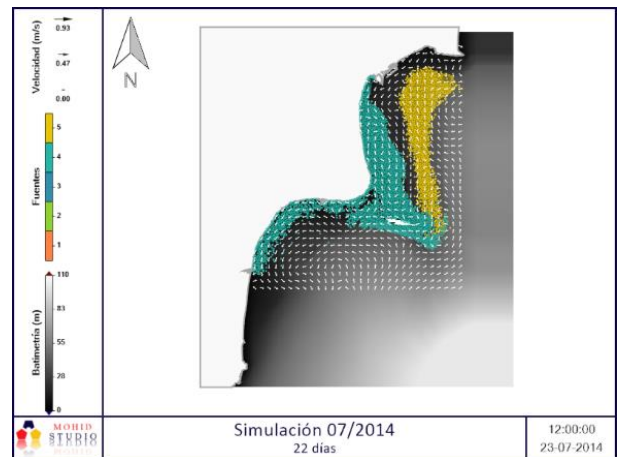


Figura 10. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días

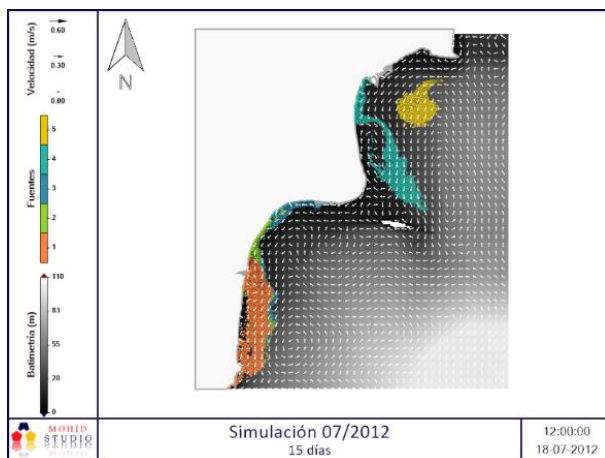


Figura 11. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días

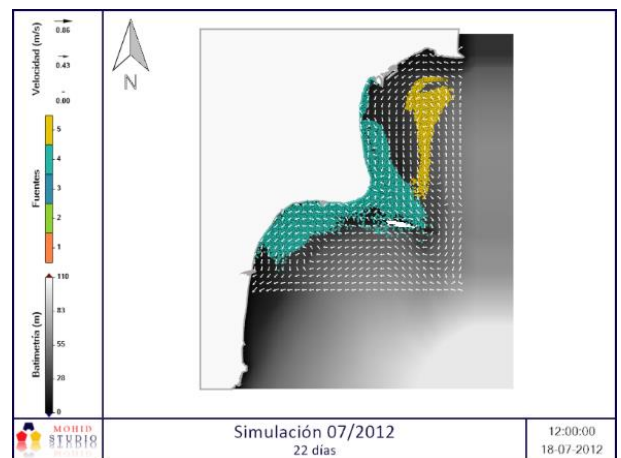


Figura 12. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012.
[Elaboración propia]

7.1. VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS

En base a los resultados obtenidos en las seis simulaciones del modelo de dispersión de contaminantes MOHID Water, se realiza una estimación de los puntos de vertido que con mayor probabilidad afectarán al estado ecológico de la masa de agua C017 en el supuesto de emitir un exceso de partículas contaminantes en el medio marino.

- **HIPÓTESIS 1.** Se descarta la Hipótesis 1 ya que, en base a las simulaciones realizadas, las partículas emitidas desde el Punto de Vertido 1 se desplazan en dirección Sur, por lo que no llegan a alcanzar las estaciones de medición de la masa de agua C017. Por tanto, resulta poco probable que la fuente de contaminación que afecta a las estaciones de la masa de agua C017 proceda del Punto de Vertido 1.
- **HIPÓTESIS 2.** Se descarta la Hipótesis 2 ya que, en base a las simulaciones realizadas, las partículas emitidas desde el Punto de Vertido 2 se desplazan en dirección Sur. El Punto de Vertido 2 se ubica muy cercano a la estación DP118 y la trayectoria de las partículas emitidas desde este punto alcanza la estación DP119. No obstante, la problemática estudiada se centra en la estación DP115, en la que se registran mayores niveles de contaminación en comparación con las estaciones DP118 y DP119. Por tanto, en base a las simulaciones realizadas resulta poco probable que la fuente de contaminación que afecta a la estación DP115 proceda del Punto de Vertido 2.
- **HIPÓTESIS 3.** Se descarta la Hipótesis 3 ya que, en base a las simulaciones realizadas, las partículas emitidas desde el Punto de Vertido 3 se desplazan en dirección Suroeste. Este punto de vertido se ubica muy cercano a la estación DP115, pero la trayectoria que siguen las partículas emitidas desde esta localización de vertido se alejan de la ubicación de la estación DP115, por lo que resulta poco probable que la fuente de contaminación que afecta a la estación DP115 proceda del Punto de Vertido 3.
- **HIPÓTESIS 4.** Se valida la Hipótesis 4 ya que, en base a las simulaciones realizadas, las partículas emitidas desde esta localización de vertido alcanzan la estación DP115 de la masa de agua costera C017. Por tanto y en base a los resultados de las simulaciones, resulta probable que, en caso de emitirse un gran aporte de nutrientes desde alguna de las fuentes que agrupa este punto de vertido, éstos sean asimilados por la comunidad fitoplanctónica que por la dinámica litoral propia de la zona tiende a alcanzar la estación de medición DP115.
- **HIPÓTESIS 5.** Se valida la Hipótesis 5, ya que, aunque en las simulaciones realizadas la emisión de partículas contaminantes desde el Punto de Vertido 5 no alcanza la estación DP115, en base a las corrientes modeladas se puede estimar que en un periodo de simulación mayor (en torno a los 30 días), las partículas emitidas desde este punto también alcanzarían la estación DP115. Por tanto, resulta probable que, en caso de emitirse un gran aporte de nutrientes desde el Punto de Vertido 5, éstos sean asimilados por la comunidad fitoplanctónica que por la dinámica litoral propia de la zona tiende a alcanzar la estación de medición DP115.

| HIPÓTESIS | UBICACIÓN DE LA FUENTE DE CONTAMINACIÓN | FUENTES Y VERTIDOS AGRUPADOS | VALIDACIÓN DE HIPÓTESIS |
|-------------|---|---|-------------------------|
| HIPÓTESIS 1 | 1. Desembocadura del Segura | Desembocadura y Frente Litoral del Segura | DESCARTADA |
| | | Vertido "Ayuntamiento de Guardamar" | DESCARTADA |
| HIPÓTESIS 2 | 2. Desembocadura del Vinalopó | Desembocadura del Río Vinalopó | DESCARTADA |
| | | Salinas de Santa Pola | DESCARTADA |
| HIPÓTESIS 3 | 3. Santa Pola | Vertidos difusos en Santa Pola | DESCARTADA |
| HIPÓTESIS 4 | 4. Puerto de Alicante | Barranco de las Ovejas | VALIDADA |
| | | Emisario submarino EDAR Rincón de León | VALIDADA |
| HIPÓTESIS 5 | 5. Emisario Alacantí | Vertido "Mancomunitat de l'Alacantí" | VALIDADA |

*Tabla 9. Resumen de la validación de hipótesis formuladas.
[Elaboración propia]*

CAPÍTULO 8. PROPUESTA DE MEDIDAS DE GESTIÓN

En los apartados anteriores se ha descrito el trabajo realizado en relación al análisis de dinámica litoral de la masa de agua C017 y su influencia en la proliferación de organismos fitoplanctónicos, el cual se proponía como objetivo principal de este estudio.

Seguidamente, en base a todo el estudio realizado y una vez determinadas las fuentes potenciales de contaminación, se proponen una serie de medidas de gestión con el fin de tratar de mejorar la problemática existente.

- **MEDIDA DE GESTIÓN 1.** Se propone una nueva ubicación para las estaciones de muestreo.

Las simulaciones realizadas con modelo de dispersión de contaminantes muestran como el desplazamiento de las partículas emitidas desde el Punto de Vertido 4 sigue una trayectoria cercana a la costa en los primeros metros, hasta llegar a un punto donde esta trayectoria se aleja de la línea de costa ubicándose unos metros mar adentro.

Se identifica que la estación de muestreo DP113 se ubica en el lugar que se produce el cambio de trayectoria de las partículas emitidas desde el Punto de Vertido 4. La estación DP114 se ubica alejada de la trayectoria de estas partículas. Un ejemplo de ello se muestra en la *Figura 13*, donde mediante un ejemplo una de las simulaciones realizadas superpuesta sobre el plano de ubicación de las estaciones de muestreo.

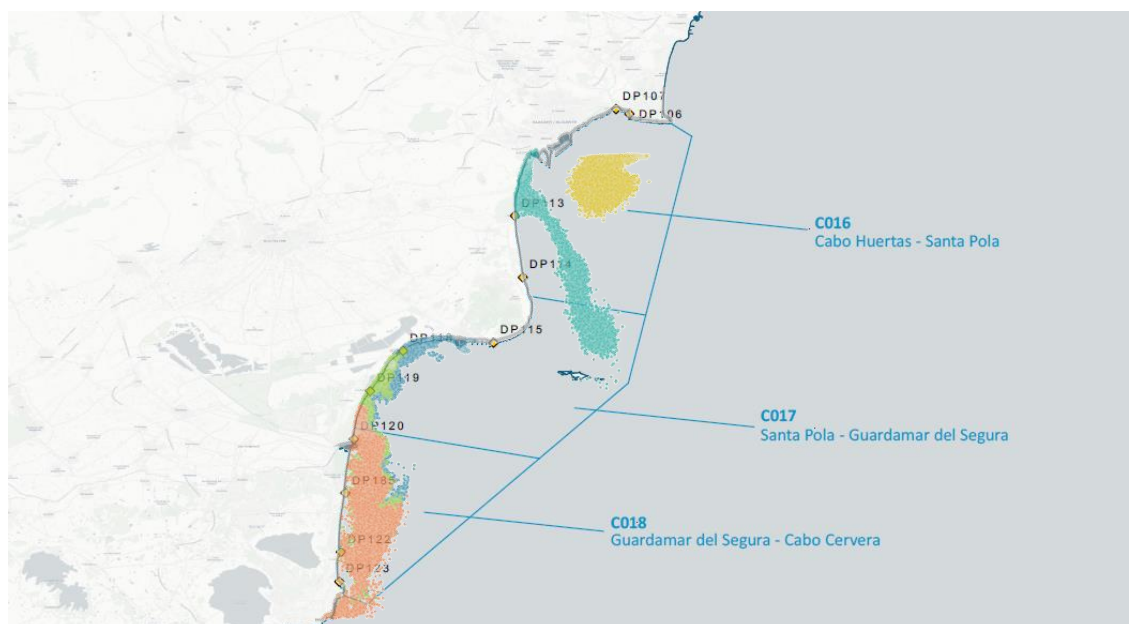


Figura 13. Composición del resultado del modelo de dispersión de contaminantes sobre el plano de estaciones de muestreo. Simulación 3. 07/2014 – 15 días en su instante final (23/07/2014 12:00h). [Elaboración propia]

Puesto que todas las situaciones modeladas muestran este fenómeno de cambio de trayectoria de las partículas en el mismo punto, en el supuesto que la contaminación fuese emitida desde la localización del Punto de Vertido 4, las estaciones DP113 y DP114 podrían no estar detectando esta problemática existente, la cual también afectaría a la masa de agua C016.

Por tanto, se propone una nueva ubicación de las estaciones DP113 y DP114 en los siguientes puntos:

- Estación DP113: desplazar la ubicación 1.5 km hacia el Norte, manteniendo la posición sobre la línea de costa.
- Estación DP114: desplazar su ubicación 4 km en dirección Este mar adentro.

La nueva ubicación propuesta se muestra en la siguiente figura:

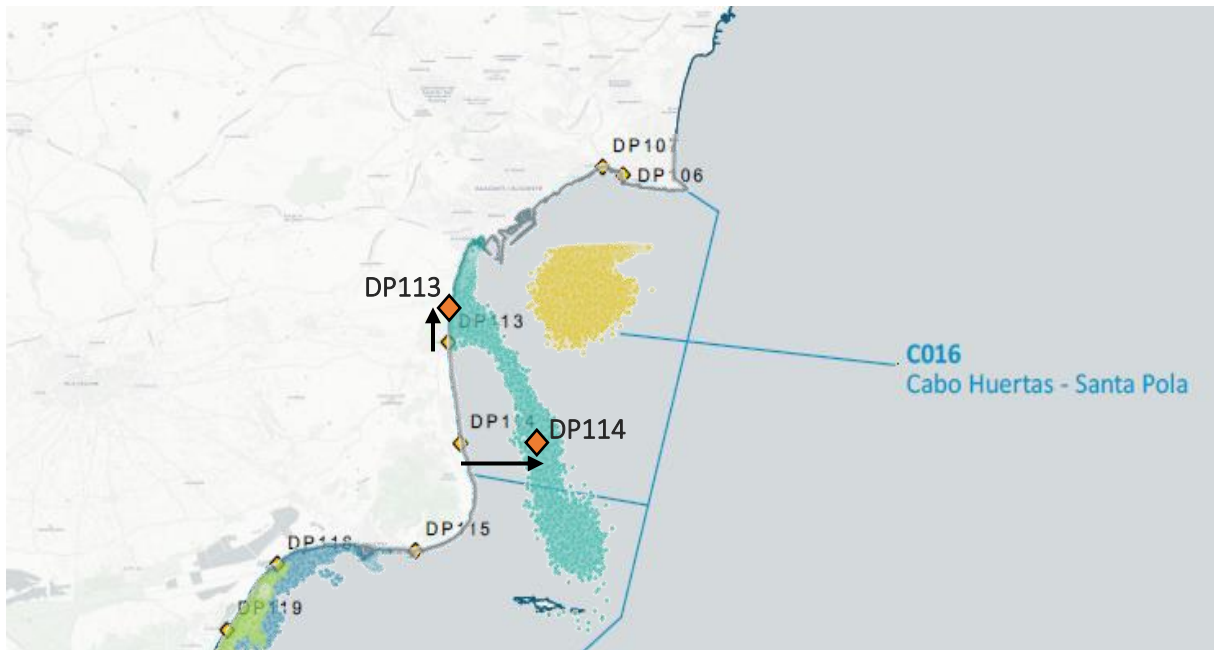


Figura 14. Propuesta de la nueva ubicación de las estaciones de muestreo DP113 y DP114.
[Elaboración propia]

- **MEDIDA DE GESTIÓN 2.** Se propone realizar un estudio de los vertidos del Barranco de las Ovejas, del emisario submarino EDAR Rincón de León y del emisario submarino de la EDAR Monte Orgegia.

Los resultados obtenidos por este estudio muestran como las fuentes potenciales de contaminación que afectan a la zona de estudio se ubican en los Puntos de Vertido 4 y 5. Estos puntos de vertido agrupan las siguientes fuentes:

- Vertido no autorizado del emisario submarino de la EDAR Rincón de León.
- Fuente natural del Barranco de las Ovejas.
- Vertido autorizado del emisario submarino de la EDAR Monte de Orgegia.

Se propone, por tanto, un estudio detallado de las características de vertido para las tres fuentes mencionadas con el fin de identificar posibles concentraciones de contaminantes que influyan en la problemática estudiada.

En el análisis de los vertidos se propone incluir una medición específica de las concentraciones de nutrientes: concentraciones de Nitritos, Nitratos, Amonio y Fosfatos. Estos químicos son los definidos por la normativa vigente para la definición del estado ecológica de las masas de agua costeras, además de ser los nutrientes principales sintetizados por las comunidades fitoplanctónicas.

También se propone un estudio de régimen de vertido para los emisarios de las dos depurados y un estudio del caudal en la desembocadura del Barranco de las Ovejas con el fin de obtener mayor información de estos vertidos y avanzar en el estudio y modelado de dinámica litoral de la zona en caso de ser necesario.

- **MEDIDA DE GESTIÓN 3.** Se propone un nuevo calendario de campañas.

Las campañas de muestreo realizadas por IIAMA-UPV durante el periodo 2005-2018 se han realizado de manera no regular en el tiempo: en los primeros años se han desarrollado campañas de muestreo de forma mensual cada año, mientras que en los últimos años se han realizado de 2 a 4 campañas de manera bianual.

Además, en muchas ocasiones las muestras recogidas han resultado ser no válidas por la presencia elevada de restos vegetales que causan una distorsión en los resultados de muestreo obtenidos. Es por ello que, del último periodo de análisis (2012-2018) la cantidad de muestras analizadas no permite obtener

conclusiones razonadas únicamente mediante el análisis de datos, por lo que es necesario recurrir a modelos de simulación computacional, cuya elaboración suele ser de elevada complejidad.

Por tanto, se propone un nuevo calendario de campañas de muestreo con el fin de obtener una serie temporal lo suficientemente extensa como para obtener conclusiones fundamentadas mediante el análisis de datos.

- **Calendario de campañas propuesto:** campañas de muestreo mensual, en condiciones climáticas medias y en un horario de recogida común a todas las campañas.

También se propone realizar un número de campañas de muestreo en días previos y posteriores a temporales significativos, con el fin de identificar la posible influencia de fenómenos extremos en la concentración contaminantes en la zona estudiada.

Cabe destacar que la propuesta de medidas de gestión realizada podría ser complementada con un mayor número de simulaciones en el modelo de dispersión de contaminantes realizado para este estudio. En líneas generales, se propone realizar simulaciones de un periodo de simulación mayor (en torno a 30 días) y en condiciones de clima marítimo diferentes a las simuladas. De esta manera se obtendría una mejor comprensión de la trayectoria de las partículas emitidas por las fuentes potenciales de contaminación.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIÓN

Las conclusiones que se extraen del trabajo realizado se exponen a continuación:

- En primer lugar, se identifica una falta de información en relación a los datos de calidad de las fuentes y vertidos que se dan en la zona de estudio. Por ello, una vez caracterizada la zona e identificados los posibles vertidos, no ha sido posible descartar a priori ninguna de las hipótesis establecidas en base a datos objetivos. Esto ha llevado a la necesidad de elaborar un modelo de dispersión de contaminantes de gran extensión.
- No se aprecia un comportamiento estacional del indicador clorofila en base al registro de los datos de calidad de agua obtenidos de las campañas de muestreo realizadas por IIAMA-UPV en el periodo 2005-2018. Con esto se concluye que la disponibilidad de luz solar no es un factor limitante para la producción de fitoplancton, lo que lleva a posicionar como factor limitante para el desarrollo de estos organismos la disponibilidad de nutrientes en la zona de estudio.
- En base a los resultados del cálculo analítico del transporte de partículas, se aprecia como las partículas contaminantes proceden, en gran parte, del Noreste de la zona de estudio. Puesto que esta dirección no es una de las predominantes del oleaje, se establece una primera aproximación de la relación entre unas condiciones climáticas determinadas y la existencia de altas concentraciones de fitoplancton en las estaciones de la masa de agua C017.
- La elaboración del modelo de dispersión de contaminantes se ha realizado mediante la herramienta MOHID Water. Las simulaciones realizadas por el modelo han estado condicionadas por las limitaciones de computación de los equipos físicos empleados. Mediante los resultados de estas simulaciones, se concluye que las fuentes potenciales de aporte de contaminantes se ubican en la zona norte del área de análisis, aunque se identifica que las partículas emitidas desde el punto de vertido 5 necesitarán un periodo mayor que las partículas emitidas desde el punto de vertido 4 para alcanzar las estaciones de muestreo situadas en la masa de agua C017.
- Por tanto, a modo de conclusión general se obtiene que el estudio realizado en relación al análisis de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 ha identificado como fuentes potenciales de contaminación las fuentes y vertidos localizados en la zona norte del ámbito de estudio (Punto de Vertido 4 y 5). Con lo que se ha conseguido acotar el área de estudio para futuras investigaciones.
- A modo de complementar el estudio realizado, se han propuesto una serie de medidas de gestión, las cuales se han basado en mejorar el sistema de muestreo mediante la reubicación de dos de las estaciones y la propuesta de un calendario de muestreo más extenso. Además, se ha propuesto el estudio de los vertidos potenciales identificados con el objetivo de obtener una mayor caracterización de los mismos. Todas estas medidas están enfocadas a la obtención de información de mayor calidad con el objetivo de establecer las bases para futuras investigaciones.

Con todo lo anterior, se plantean las futuras líneas de desarrollo que se han identificado a lo largo del desarrollo de este estudio:

- Análisis de estado ecológico de la masa de agua que rodea la isla de Tabarca. En base a las simulaciones del modelo de dispersión de contaminantes se identifica una posible concentración de contaminantes en esta zona. Por tanto, se propone el estudio del estado ecológico del área acotada cercana a la Isla de Tabarca, la cual incluye las protecciones de Reserva Marina y zona LIC.
- Análisis de datos de series temporales más extensas con el objetivo de proponer un régimen de vertido en función de las condiciones marítimas las zonas identificadas como fuentes potenciales de aporte de contaminantes.
- Análisis del efecto del cambio climático en la casuística estudiada, incluyendo los efectos de las variaciones de los niveles del mar y el incremento de la frecuencia y energía de temporales.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Altura significativa de ola. Parámetro representativo del oleaje que representa la altura de las olas que un observador experimentado apreciaría a simple vista en el punto de medida, que equivale aproximadamente la altura media del tercio de olas más altas.

Periodo Pico. Parámetro representativo del oleaje que representa el periodo del grupo de ondas de mayor energía.

Dirección predominante de oleaje. Parámetro representativo del oleaje que representa la dirección de las olas de mayor energía.

Fitoplancton. El fitoplancton constituye la base de las cadenas tróficas marinas. La luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes y el consumo herbívoro son principales factores que regulan la producción y biomasa del fitoplancton.

Clorofila. La clorofila-a es el pigmento principal para la fotosíntesis en las plantas. La concentración de clorofila-a se utiliza para estimar en forma indirecta la biomasa de las comunidades fitoplanctónicas. En este estudio el término *Clorofila* hace referencia a *Clorofila-a*.

Nutrientes/Contaminantes. Se refiere a la disponibilidad en el medio marino de los componentes químicos que son aprovechados por la comunidad fitoplanctónica para su desarrollo: Amonio, Nitrato, Nitrito y Fosfato. En este estudio el término *Contaminantes* se utiliza como sinónimo del término *Nutrientes*.

Fuente de aporte de nutrientes/contaminantes. Lugar de procedencia de las partículas de nutrientes en el medio.

Dinámica litoral. Conjunto de procesos costeros causados por los agentes climáticos marinos al actuar sobre el medio.

Corrientes marinas. Masas de agua con desplazamientos propios dentro del medio marino.

Transporte de partículas. Movimiento de las partículas en el medio a causa de la propia dinámica marina.

Modelo de dispersión de contaminantes. Modelos numéricos para el cálculo de transporte de contaminantes analizan el comportamiento del desplazamiento los vertidos en el medio receptor y cuantifica la evolución de la concentración de contaminantes en el medio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Action Modulers.** Keyword List - MOHID. [En línea] http://wiki.mohid.com/index.php?title=Keyword_list.
- . MOHID Studio - Quick-Start Guide for MOHID Water Implementation - v.2.0. [En línea] http://wiki.actionmodulers.com/wiki/index.php?title=MOHID_Studio_-_Quick-Start_Guide_for_MOHID_Water_Implementation_-_v.2.0.
- AHSA. 2020.** *La Comisión Europea inicia una investigación sobre la situación de contaminación crónica por vertidos urbanos residuales e industriales en el espacio marino protegido de la red natura 2000 "LIC y ZEPA de Tabarca"*. Alicante : Asha.org, 2020.
- Barreto, Ignacio, Ezzatti, Pablo y Fossati, Mónica. 2009.** *Estudio inicial del modelo MOHID*. Montevideo (Uruguay) : PEDECIBA - Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, 2009. Reporte Técnico RT 09-10.
- Booij, N., Holthuijsen, L.H. y Ris, R.C. 1996.** *The "SWAN" Wave Model for Shallow Water*. Orlando : Florida (USA), 1996.
- Comerma, E. 2004.** *Modelado numérico de la deriva y envejecimiento de los hidrocarburos vertidos al mar: aplicación operacional en la lucha contra las mareas negras. PhD thesis, UPC.* 2004.
- Confederación Hidrográfica del Júcar. 2015.** *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar* . 2015.
- Confederación Hidrográfica del Segura.** Caudales ecológicos . [En línea] [Citado el: 20 de 02 de 2020.] <https://www.chsegura.es/chs/cuenca/resumendedatosbasicos/caudalesecologicos/>.
- Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica. 2016.** *El Consell ajuda a investigar a tres universitats sobre la aplicació de la Directiva Marco del Agua a las masas de aguas costeras y de transición de la Comunitat*. Valencia : Generalitat Valenciana, 2016.
- Delft University of Technology.** SWAN Implementation Manual. [En línea] http://swanmodel.sourceforge.net/online_doc/swanimp/swanimp.html.
- Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.** Plan de Ecocartografías del litoral español. [En línea] [Citado el:] <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/ecocartografia-alicante.aspx>.
- iAgua. 2014.** Comienza la recuperación ambiental del río Segura en la ciudad de Murcia. [En línea] 31 de 03 de 2014. [Citado el: 25 de 03 de 2020.] <https://www.iagua.es/noticias/restauracion/14/03/31/comienza-la-recuperacion-ambiental-del-rio-segura-en-la-ciudad-de-murcia-47650>.
- Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua. 2009.** *Identificación y caracterización de la interrelación que se presenta entre aguas subterráneas, cursos fluviales, descargas por manantiales, zonas húmedas y otros ecosistemas naturales de especial interés hídrico*. Madrid : Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua, 2009.
- Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV). 2018.** *Informe del contrato menor CNME 18/0303/30 - Campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunidad Valenciana*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- López Jiménez, Petra Amparo. 2016.** El proceso de dispersión de contaminantes en medios receptores - UPV. [En línea] 28 de 01 de 2016. [Citado el: 2020 de 05 de 15.] <https://www.youtube.com/watch?v=d0h2EHyPHBw>.
- Martí Insa, Carmen M^a. 2010.** *Tesis Doctoral: Caracterización ecológica y establecimiento de los criterios para determinar el potencial ecológico en las salinas de las Comunidad Valenciana*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2010.

Mertínez Guijarro, Remedios. 2009. *Tesis doctoral: Determinación de comunidades fitoplanctónicas mediante espectroscopía visible y su relación con los recuentos por microscopía de epifluorescencia.* Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2009.

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 2015. *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.* Madrid : Boletín Oficial del Estado, 2015.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Puertos del Estado. [En línea] www.puertos.es.

MOHID Forum. [En línea] <http://forum.mohid.com/>.

Oliva Cañizares, Antonio. 2019. *Riesgo de Inundación y gestión del agua pluvial en el Barranco de las Ovejas.* Alicante : Universidad de Alicante, 2019.

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión europea. 2000. *DIRECTIVA 2000/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2000 por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.* Bruselas : Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2000.

Síndic de Greuges . 2019. *Contaminación ambiental. Conducción de vertidos de tierra a mar procedente de la depuradora Rincón de León.* . Valencia : Registre general de la Comunitat Valenciana, 2019. 01950.

ANEJO Nº 1.

CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| 1. OBJETO | 3 |
| 2. ÁMBITO DE ESTUDIO | 3 |
| 3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL..... | 4 |
| 3.1. BATIMETRÍA..... | 4 |
| 3.2. MORFOLOGÍA MARINA | 5 |
| 3.3. USOS DEL SUELO..... | 6 |
| 3.4. ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA..... | 7 |
| 3.4.1. <i>Informe de la campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana. (Informe 2018 IIAMA – UPV)</i> | 7 |
| 3.5. COMUNIDADES MARINAS..... | 12 |
| 3.6. PATRIMONIO NATURAL | 14 |
| 4. ANÁLISIS DE FUENTES NATURALES Y VERTIDOS | 16 |
| 4.1. FUENTES NATURALES (ZONAS DE TRANSICIÓN) | 16 |
| 4.1.1. <i>Desembocadura y Frente Litoral del Segura</i> | 16 |
| 4.1.2. <i>Desembocadura del Río Vinalopó</i> | 18 |
| 4.1.3. <i>Salinas de Santa Pola</i> | 19 |
| 4.1.4. <i>Barranco de las Ovejas</i> | 21 |
| 4.2. VERTIDOS AUTORIZADOS..... | 22 |
| 4.3. VERTIDOS NO AUTORIZADOS..... | 26 |
| 4.3.1. <i>Emisario submarino EDAR Rincón de León</i> | 26 |
| 4.3.2. <i>Vertidos difusos en Santa Pola</i> | 27 |
| 5. CONCLUSIÓN | 28 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización de la zona de estudio..... | 3 |
| Figura 2. Batimetría de la zona de estudio..... | 4 |
| Figura 3. Definición de la morfología de la zona de estudio..... | 5 |
| Figura 4. Usos del suelo de la franja costera de la zona de estudio..... | 6 |
| Figura 5. Distribución de puntos de muestreo de la masa C017..... | 9 |
| Figura 6. Puntos de muestreo adicionales de la masa C017. Gola y Vinalopó..... | 9 |
| Figura 7. Resultados de la masa C017 en 2018..... | 9 |
| Figura 8. Promedio de los indicadores físico-químicos Amonio (izquierda superior), Nitrito (derecha superior), Nitrato (izquierda inferior) y Fosfato (derecha inferior) en la masa C017, 2005-2018..... | 10 |
| Figura 9. Percentil 90 de clorofila en la masa C017, 2005-2018..... | 10 |
| Figura 10. Fitoplancton en la masa C017, 2018..... | 11 |
| Figura 11. Fitoplancton en la Gola (izquierda) Y Vinalopó (derecha), 2018..... | 11 |
| Figura 12. Comunidades marinas existentes en la zona de estudio..... | 13 |
| Figura 13. Patrimonio natural existente en la zona de estudio..... | 15 |
| Figura 14. Demarcación Hidrográfica del Segura y Río Segura..... | 17 |
| Figura 15. Caudales medios diarios del Río Segura en su desembocadura entre los años 2005-2018 (estación de aforo EA-029 Rojas). | 17 |
| Figura 16. Localización del cauce del Río Vinalopó..... | 18 |
| Figura 17. Localización de las Salinas de Santa Pola en la zona de estudio..... | 19 |
| Figura 18. Esquema y corte hidrogeológico de la relación humedal Salinas de Santa Pola..... | 20 |
| Figura 19. Localización de la desembocadura del barranco de las Ovejas en la zona de estudio..... | 21 |
| Figura 20. Cuencas y subcuencas del Barranco de las Ovejas..... | 21 |
| Figura 21. Patrimonio natural existente en la zona de estudio..... | 22 |
| Figura 22. Localización de la EDAR Rincón de León en la zona de estudio..... | 26 |
| Figura 23. Localización del emisario submarino de la EDAR Rincón de León..... | 26 |
| Figura 24. Localización de la EDAR de Santa Pola en la zona de estudio..... | 27 |
| Figura 25. Ubicación de los 5 puntos de vertido que agrupan las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio..... | 28 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Indicadores para masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015..... | 7 |
| Tabla 2. Límites para indicadores de masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015..... | 8 |
| Tabla 3. Resultados del indicador Fitoplancton en el intervalo para las masas de agua C016, C0161, C017..... | 8 |
| Tabla 4. Resultados de los indicadores físicoquímicos para las masas de agua C016, C0161, C017..... | 8 |
| Tabla 5. Estaciones muestreadas en las masas de agua costeras C016, y C017 para determinación de parámetros biológicos y físicoquímicos..... | 9 |
| Tabla 6. Tabla resumen de las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio y agrupación en 5 localizaciones..... | 28 |



1. OBJETO

El presente anejo tiene por objeto la caracterización física y ambiental de la zona de estudio referente al Trabajo Fin de Máster que lleva por título “*Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión*”. Mediante esta caracterización se obtendrá una primera aproximación a la problemática estudiada que servirá como base para el desarrollo de los anejos posteriores.

Los trabajos realizados en el presente anejo han sido los siguientes:

- Localización del ámbito de estudio.
- Caracterización ambiental de la zona de estudio:
 - Batimetría de detalle de la plataforma marina.
 - Definición de los usos del suelo de la franja costera.
 - Estudio de la morfología marina.
 - Estado ecológico de las masas de agua
 - Comunidades marinas que cohabitan en la zona de estudio.
 - Patrimonio natural existente en el ámbito de estudio.
- Análisis y caracterización de las fuentes y vertidos que afectan a la zona de estudio:
 - Fuentes naturales procedentes de las masas de agua de transición de la zona de estudio.
 - Vertidos autorizados desde tierra al mar.
 - Vertidos no autorizados.

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

La zona de estudio se encuentra entre la zona norte del cabo de Santa Pola y el norte del litoral del municipio de Guardamar del Segura, sin estar este incluido. Se trata de una zona de 148 Km² de superficie de masa de agua costera distribuidos a lo largo de cerca de 20 km de litoral continental.

Cabe destacar que la masa de agua costera C017 incluye las aguas costeras de la isla de Tabarca y los islotes de la Nau, la Galera y la Cantera.

Para una mayor caracterización de la zona de estudio, también se han definido y analizado las masas de agua contiguas C016 (Cabo Huertas – Santa Pola) y C018 (Guardamar del Segura – Cabo Cervera). De esta manera, se logra una mejor comprensión de la problemática existente.

La localización del ámbito de estudio se muestra en el *Plano nº1: Localización de la zona de estudio*.

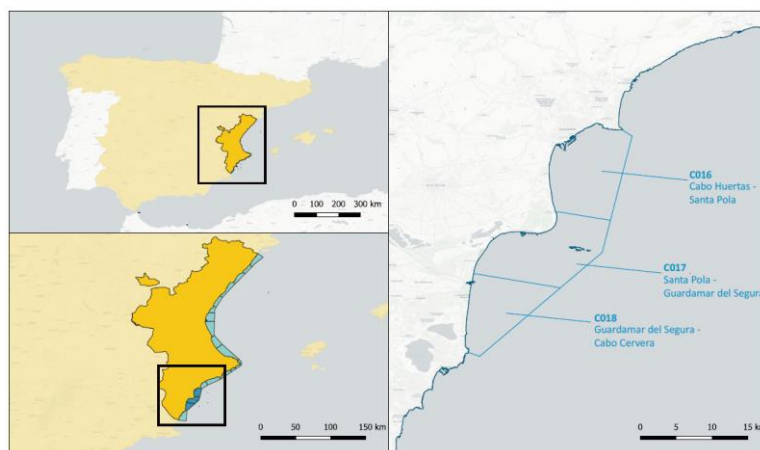


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

[Fuente: Plano nº1: Localización de la zona de estudio]

3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

La caracterización ambiental de la zona se ha basado principalmente de los estudios realizados dentro del *Plan de Ecocartografías del litoral español* que ha llevado a cabo la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar perteneciente al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. El citado Plan de Ecocartografías comprende una serie de estudios de ingeniería marítima y ecología del medio marino cuyos resultados han sido estructurados en un Sistema de Información Geográfica (GIS).

En el caso de la Ecocartografía del litoral de las provincias de Alicante y Valencia, se ha realizado un amplio estudio que abarca las dos provincias y una franja del litoral que comprende 300 metros de anchura en costa y, en el mar, hasta la isóbata 40 metros. Se han analizado en total 468 kilómetros de costa repartidos en 44 municipios costeros.

En cuanto a la definición del estado ecológico de las masas de agua costera estudiadas, la información se ha obtenido del *Informe de la campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana (2018, IIAMA – UPV)*.

En base a lo anterior, la caracterización ambiental de la zona de estudio incluirá los siguientes apartados:

- Batimetría de detalle realizada con sonda Multihaz de la plataforma costera sumergida.
- Clasificación de la morfología marina y su composición geológica
- Mapas con la clasificación de los usos del suelo cercano a la costa.
- Definición del estado ecológico de las masas de agua con respecto a su calidad ambiental.
- Información y cartografiado de las comunidades bentónicas y la biocenosis mediante mapas temáticos para su clasificación.
- Información detallada de la franja costera, en relación con el patrimonio ambiental más significativo.

3.1. BATIMETRÍA

Como se ha expresado anteriormente, la batimetría empleada en este estudio es la publicada en el *Plan de Ecocartografías del litoral español* del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Se trata de una batimetría de detalle realizada con sonda Multihaz de la plataforma costera sumergida, a escalas 1:1.000 y 1:5.000. Se definen las isóbatas cada metro hasta los 40 metros de profundidad.

La batimetría de la masa de agua C017 y de las dos masas de agua anexas a ella, C016 y C018, se muestra en el *Plano nº2: Batimetría*.

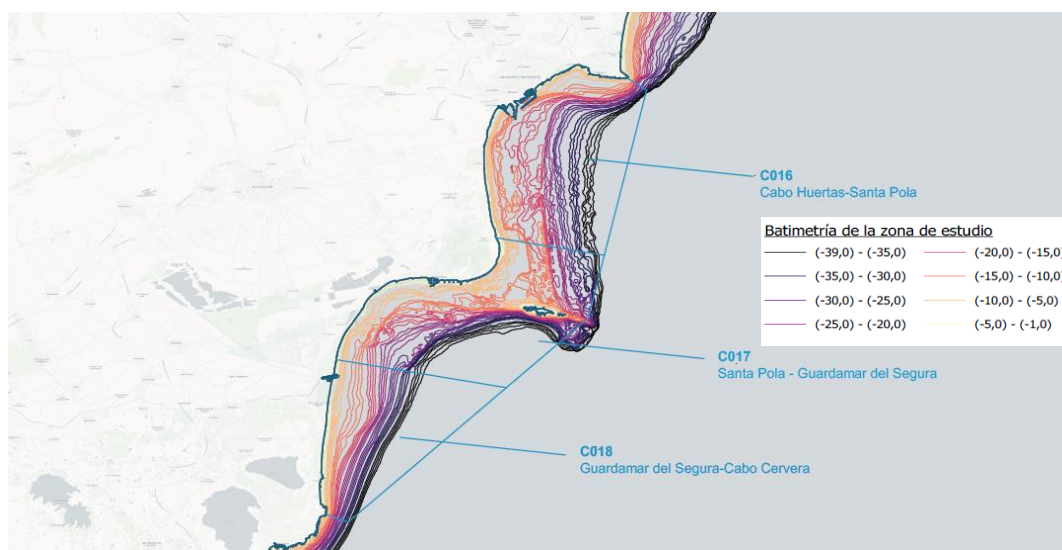


Figura 2. Batimetría de la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº2: Batimetría]

3.2. MORFOLOGÍA MARINA

La descripción morfológica de la zona de estudio también se ha basado en los datos ofrecidos por el Plan de Ecocartografías del litoral español, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Como se puede consultar en el *Plano nº3: Morfología Marina*, la clasificación de los fondos marinos de la zona incluye los siguientes elementos:

- Afloramientos rocosos masivos
- Bolos y/o bloques y/o encostramientos
- Sedimentos no consolidados medio-finos
- Sedimentos no consolidados medio-gruesos
- Sedimentos no consolidados muy finos
- Vegetación de alta densidad

Como se observa en el *Plano nº3*, los fondos marinos de la masa de agua C017 están clasificados de manera mayoritaria como “Sedimentos no consolidados muy finos” o “Vegetación de alta densidad”. Cabe destacar la existencia de “Afloramientos rocosos masivos” alrededor del Cabo de Santa-Pola. También se definen zonas de “Bolos y/o bloques y/o encostramientos”, “Sedimentos no consolidados medio-finos” y “Sedimentos no consolidados medio-gruesos”, pero en menor proporción.

El fondo marino de la masa de agua C018 presenta una menor variabilidad en su clasificación, estando catalogado en su mayoría como “Sedimentos no consolidados muy finos”.

La masa de agua C016 muestra una variabilidad similar a la masa C017 en cuanto a clasificación de sus fondos marinos, encontrándose como elementos predominantes “Sedimentos no consolidados muy finos”, “Sedimentos no consolidados medios-finos” y “Vegetación de alta densidad”.

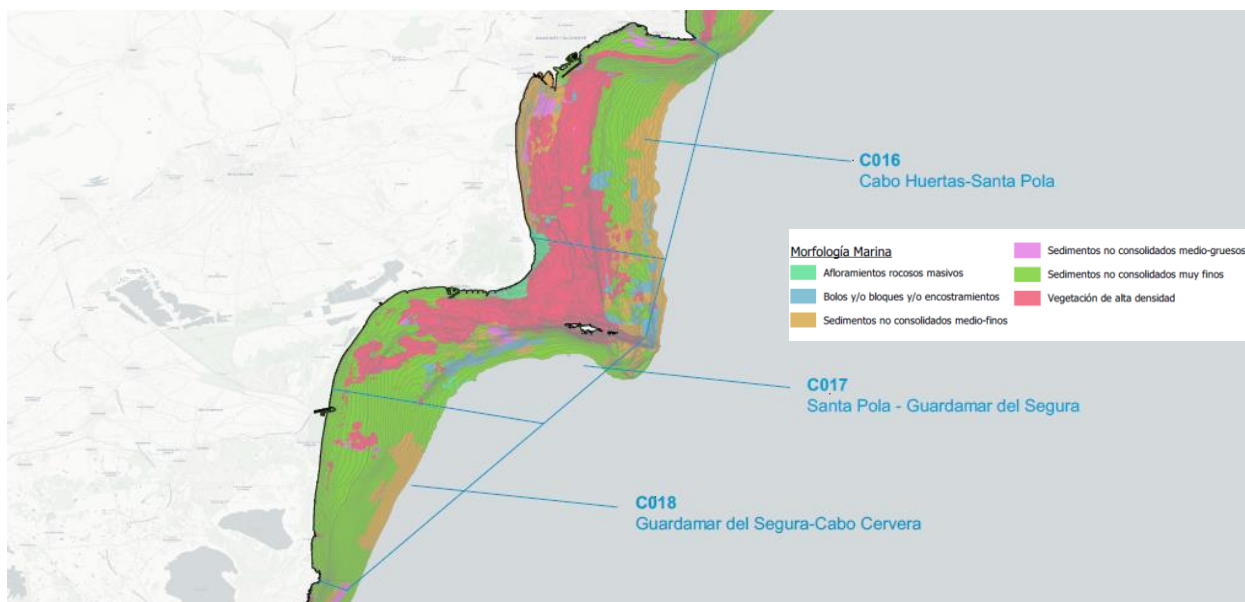


Figura 3. Definición de la morfología de la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº3: Morfología Marina]

3.3. USOS DEL SUELO

Como en los casos anteriores, la descripción de los usos del suelo de la franja costera de la zona de estudio también se ha basado en los datos ofrecidos por el Plan de Ecocartografías del litoral español, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

El *Plano nº4: Usos del suelo* muestra con detalle las principales clasificaciones de los terrenos de la franja litoral de la zona de estudio, que son las siguientes:

- Bosques y áreas arboladas
- Infraestructuras viarias
- Matorral y/o herbáceas
- Playas y dunas
- Puertos comerciales
- Puertos deportivos
- Superficies urbanizadas
- Uso agrario
- Zonas húmedas

La franja costera de la masa de agua C017 se divide principalmente entre las clasificaciones de “Superficie urbanizada”, mayoritariamente en los terrenos próximos al municipio de Santa-Pola, y “Playas y dunas”, en su parte sur y zona menos poblada. Destaca la clasificación de “Zonas Húmedas” en los terrenos próximos al Parque Natural de las Salinas de Santa Pola. En el Cabo de Santa Pola se encuentran como clasificaciones principales las de “Bosques y áreas arboladas” y “Matorral y/o herbáceas”.

Por su parte, la isla de Tabarca presenta en su mayoría la clasificación de suelo “Matorral y/o herbáceas”. Únicamente la parte oeste de la isla se encuentra clasificada como “Superficie urbanizada”.

En cuanto a la franja costera de la masa de agua C016, su uso predominante es “Superficie urbanizada” alternando con algunas zonas de “Playas y dunas” y “Matorral y/o herbáceas”. Destaca en esta zona la clasificación de “Puerto comercial” correspondiente al Puerto de Alicante y la clasificación de “Zonas Húmedas” correspondiente al Humedal de Urbanova.

Los usos de los terrenos próximos a la costa de la masa de agua costera C018 se clasifican principalmente como “Playas y dunas”, encontrando también algunas zonas de “Superficie urbanizada”.

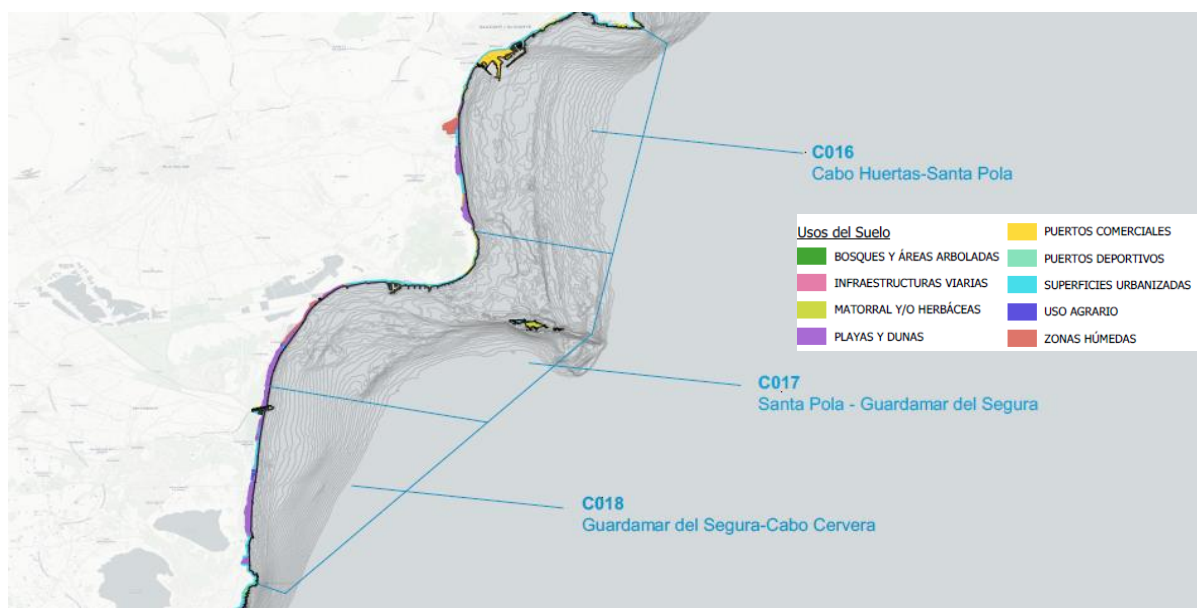


Figura 4. Usos del suelo de la franja costera de la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº4: Usos del suelo]

3.4. ESTADO ECOLÓGICO DE LAS MASAS DE AGUA

El estado ecológico de las masas de agua objeto de este estudio ha sido definido por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente en base al último informe emitido con respecto al control de parámetros físico-químicos y biológicos. Como se presenta posteriormente, se ha identificado en el último periodo de análisis un exceso del indicador *Fitoplancton* para la masa de agua C017, siendo esto lo que motiva la realización de este trabajo.

Se dispone también de los datos de las campañas de muestreo realizadas por el IIAMA durante todo el periodo de estudio (2005-2018) de las tres masas de agua en las que se centra este estudio (C016, C017 y C018).

Seguidamente se hace un resumen del Informe 2018 IIAMA-UPV para la caracterización del estado de las masas de agua costera, centrándose en los resultados obtenidos en la masa de agua costera C017.

El *Anejo nº3. Dinámica Litoral* muestra un análisis de los datos de todas las campañas realizadas por IIAMA-UPV durante el periodo de estudio (2015-2018), el cual complementará esta caracterización.

3.4.1. Informe de la campaña de control de parámetros físico-químicos y clorofila en tres masas de agua costeras de la Comunitat Valenciana. (Informe 2018 IIAMA – UPV)

La Dirección General del Agua de la Generalitat Valenciana, con el objeto de aplicar la Directiva Marco del Agua, ha estudiado y controlado desde 2005 el estado de calidad de las 19 masas de agua de la Comunidad Valenciana.

El Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) perteneciente a la Universitat Politècnica de València es quien investiga desde 2005 sobre la identificación y determinación de la población fitoplanctónica en la zona objeto de este estudio. Este organismo también se encarga de la determinación del estado físico-químico de las aguas y en el establecimiento de metodologías para la determinación del estado, según los requerimientos de la Directiva Marco del Agua. (Conselleria d'Agricultura, Desenvolupament Rural, Emergència Climàtica i Transició Ecològica, 2016)

En particular, el Informe 2018 IIAMA-UPV sobre la calidad de las masas de agua costeras C016 (Cabo de Huertas – Santa Pola), C0161 (Puerto de Alicante) y C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura) identifica que, en base a los últimos datos estudiados, la masa de agua C017 incumple el estado ecológico establecido por la Directiva Marco del Agua, con un estado “Moderado” en el indicador *Fitoplancton*. (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018)

Cabe destacar que la masa de agua C0161 corresponde a las aguas cercanas al puerto de Alicante, clasificada como “Aguas costeras mediterráneas de renovación baja” a causa de la influencia del puerto. Esta zona se separa de la masa de agua principal C016 por no aplicarse los mismos parámetros de calidad para el análisis del estado ecológico. Por tratarse de un área reducida en comparación con la zona de estudio, la zona C0161 se tratará como parte de la masa de agua C016, no haciéndose distinción entre ellas.

En cuanto a los indicadores físico-químicos y biológicos que son aplicables para la determinación del estado de las masas de aguas C016 y C017 son los siguientes:

| Elemento | Indicador | Acrónimo |
|--------------------------------------|---|----------|
| Fitoplancton | P90 de concentración de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$) | Chl-a |
| Condiciones generales: Nutrientes | Amonio ($\mu\text{mol NH}_4/\text{L}$) | Amonio |
| | Nitritos ($\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$) | Nitritos |
| | Nitratos ($\mu\text{mol NO}_3/\text{L}$) | Nitratos |
| | Fosfatos ($\mu\text{mol PO}_4/\text{L}$) | Fosfatos |
| | Índice Fosfatos-Amonios-Nitritos | FAN |

*Tabla 1. Indicadores para masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA-UPV]*

Los criterios marcados para cada indicador son los indicados en la siguiente tabla:

| | Referencia | Muy bueno/ Bueno | Bueno/ Moderado | Moderado/ Pobre | Pobre/ Malo |
|--|------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| P90 Clorofila a ($\mu\text{g/L}$) | 1.8 | 2.26 | 3.60 | 5.00 | 6.42 |
| Promedio Amonio ($\mu\text{mol NH}_4/\text{L}$) | | | 4.60 | | |
| Promedio Nitrito ($\mu\text{mol NO}_2/\text{L}$) | | | 0.92 | | |
| Promedio Nitrato ($\mu\text{mol NO}_3/\text{L}$) | | | 7.3 | | |
| Promedio Fosfato ($\mu\text{mol PO}_4/\text{L}$) | | | 0.76 | | |
| FAN | | -0.2 | 0.2 | 0.6 | 1 |

Tabla 2. Límites para indicadores de masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Según el Informe 2018 IIAMA-UPV, el indicador biológico *Fitoplancton* de la masa C017 ha superado el límite “Bueno/Moderado” en la mayoría de las anualidades históricas de las que se cuenta con datos. A pesar de haber mejorado ligeramente en los últimos años, sigue incumpliendo para las últimas 5 anualidades, por lo que su estado según los criterios establecidos es “Estado Moderado” de la calidad de la masa de agua costera C017 en relación a este indicador.

No obstante, el indicador de *Fitoplancton* para las masas de agua costera próximas a la masa de agua C017 obtiene resultados ligeramente mejores que mantienen la calificación de estas masas de agua en estado de calidad “Bueno”.

| Masa | Fitoplancton |
|-------|--------------|
| C016 | Bueno |
| C017 | Moderado |
| C0161 | Bueno |

Tabla 3. Resultados del indicador *Fitoplancton* en el intervalo para las masas de agua C016, C0161, C017.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Este informe también establece que respecto a la salinidad, pH y turbidez, las masas de agua estudiadas mantienen los valores habituales para su tipología, sin aspectos importantes que destacar. En cuanto a los datos correspondientes a los indicadores físico-químicos correspondientes a nutrientes las dos masas de agua costera C016 y C017 cumplen el estado en base a los criterios marcados la Directiva Marco del Agua, tal y como se muestra la siguiente tabla:

| Masa | Promedios | | | | Estado masas de agua según nutrientes |
|------|-----------|---------|---------|-------|---------------------------------------|
| | Amonio | Nitrito | Nitrato | PSR | |
| C016 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |
| C017 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |
| C161 | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno | Bueno |

Tabla 4. Resultados de los indicadores físicoquímicos para las masas de agua C016, C0161, C017.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

La conclusión principal del Informe 2018 IIAMA-UPV establece que “en función de todos los resultados anteriores de las masas C016, C017 y C0161, se puede decir que la única problemática encontrada en estas masas de agua costeras es la clorofila en la masa C017, cuyo estado es Moderado.” (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018)

3.1.1.1. Resumen de resultados en Masa C017 [Informe 2018 IIAMA-UPV]

Seguidamente, se citan los principales resultados del Informe 2018 IIAMA-UPV referentes a la masa de agua C017:

Las campañas de muestreo del año 2018 se han realizado en los meses de octubre y noviembre en los siguientes puntos de muestreo:

| Masa | Estación | ETRS89_X H30 | ETRS89_Y H30 | Nombre |
|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------------------|
| ES080MSPFC017 | DP115 | 716011.1 | 4229973.4 | Playa del Varador, Santa Pola |
| ES080MSPFC017 | DP118 | 710117.22 | 4229153.47 | Playa Braç del Port, Santa Pola |
| ES080MSPFC017 | DP119 | 708054.36 | 4225751.14 | Playa del Pinet, Elche |

Tabla 5. Estaciones muestreadas en las masas de agua costeras C016, y C017 para determinación de parámetros biológicos y fisicoquímicos.

[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Además de las estaciones de muestreo anteriores, de las cuales se tiene datos históricos desde 2005, en la campaña de octubre se recogió una muestra adicional en el interior de la Gola, y en noviembre además en la salida del río Vinalopó.

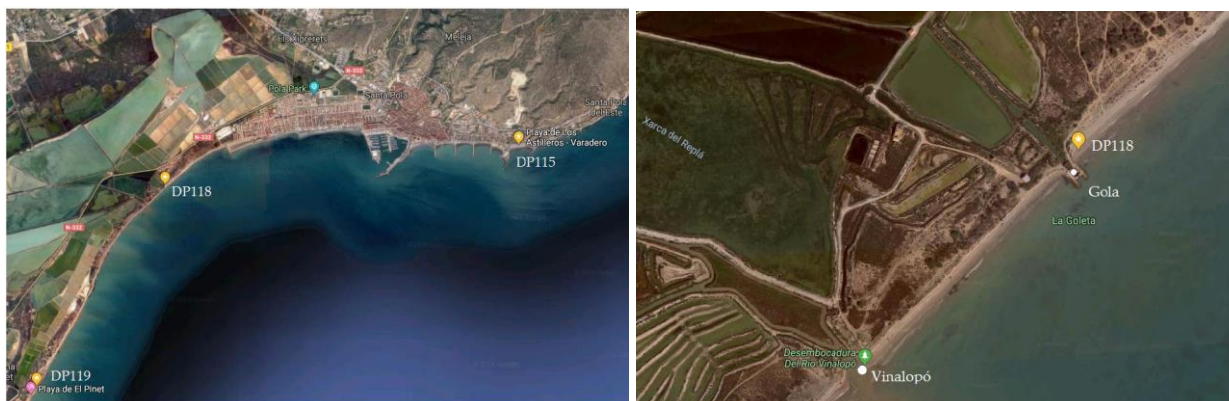


Figura 5. Distribución de puntos de muestreo de la masa C017.

[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Figura 6. Puntos de muestreo adicionales de la masa C017. Gola y Vinalopó.

[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Los resultados obtenidos para cada estación de muestreo en ambas campañas son los siguientes:

| Fecha | Estación | Temperatura (°C) | Turbidez (NTU) | pH | Salinidad (g/kg) | Amonio (µmol/L) | Nitrato (µmol/L) | Nitrato (µmol/L) | PSR (µmol/L) | Clorofila (µg/L) |
|-----------|----------|---------------------|-------------------|------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-----------------|---------------------|
| Octubre | DP115 | 22.50 | 10.60 | 8.22 | 36.77 | 0.60 | <0.01 | 0.78 | 0.20 | 0.82 |
| Octubre | DP118 | 20.50 | 4.94 | 8.26 | 37.00 | 0.23 | 0.04 | 0.20 | 0.08 | 0.99 |
| Octubre | DP119 | 22.00 | 4.12 | 8.19 | 36.85 | 0.48 | 0.02 | 0.54 | 0.06 | 0.86 |
| Octubre | Gola | 18.30 | 5.38 | 8.21 | 50.68 | 21.17 | 1.84 | 27.01 | 0.12 | 4.17 |
| Noviembre | DP115 | 18.20 | 8.41 | 8.35 | 37.39 | 0.49 | 0.09 | 0.42 | 0.03 | 6.98 |
| Noviembre | DP118 | 17.20 | 7.85 | 8.43 | 37.61 | <0.1 | 0.01 | <0.1 | 0.02 | 2.87 |
| Noviembre | DP119 | 18.20 | 5.92 | 8.39 | 37.54 | <0.1 | 0.02 | <0.1 | 0.14 | 2.48 |
| Noviembre | Gola | 14.80 | 6.50 | 8.69 | 53.82 | 0.17 | 0.23 | 0.10 | 0.10 | 13.67 |
| Noviembre | Vinalopó | 16.00 | 29.00 | 8.06 | 13.84 | 4.60 | 6.30 | 175.25 | 0.67 | 58.84 |

Figura 7. Resultados de la masa C017 en 2018.

El Informe destaca que la muestra de noviembre de la estación DP115 tenía restos vegetales, por lo que este dato queda eliminado para el cálculo de los resultados posteriores.

En las siguientes gráficas muestran los promedios de los diferentes nutrientes a lo largo de todos los años de los que se disponen datos (2005-2018). Se observa que todas las mediciones quedan por debajo del límite “Bueno/Moderado” de definición del estado ecológico de la masa de agua:

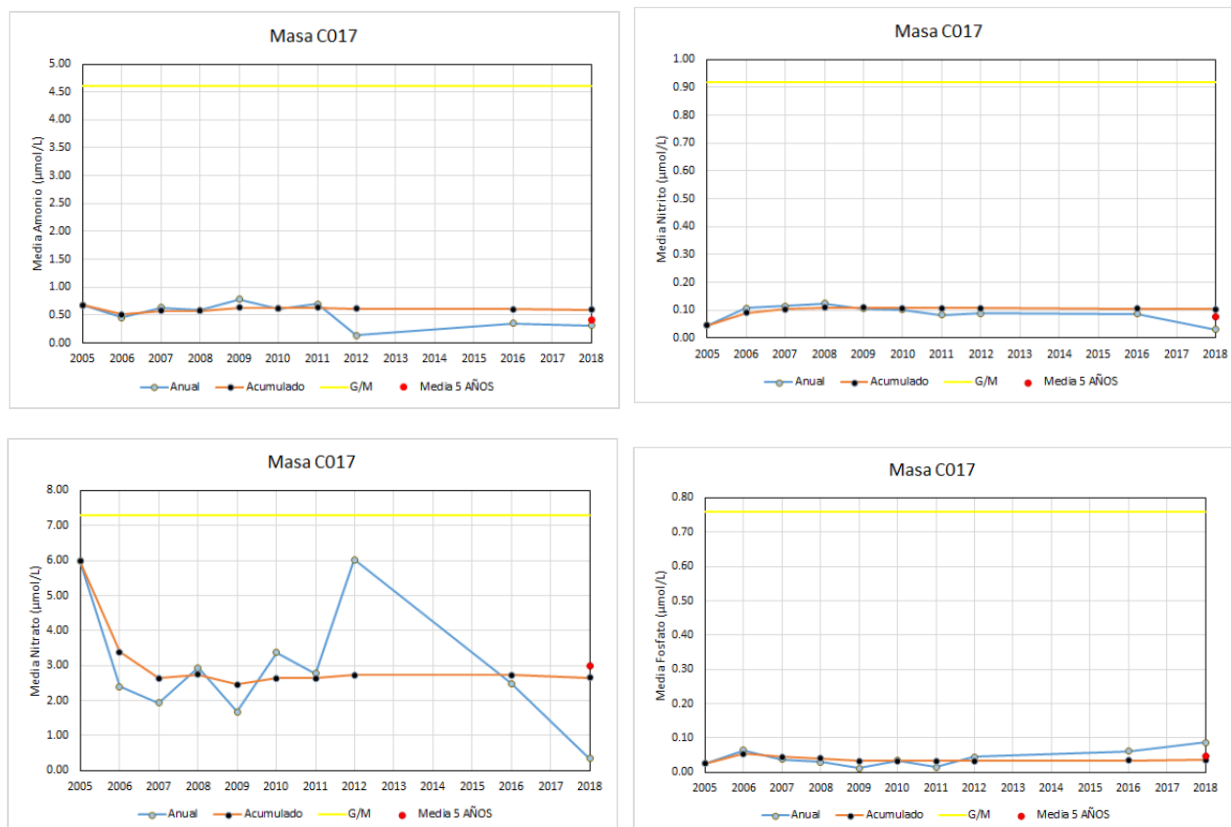


Figura 8. Promedio de los indicadores físico-químicos Amonio (izquierda superior), Nitrito (derecha superior), Nitrato (izquierda inferior) y Fosfato (derecha inferior) en la masa C017, 2005-2018. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

El siguiente gráfico muestra el percentil 90 de clorofila anual, el acumulado en todas las anualidades y el de los últimos 5 años. Se observa que la masa está en el límite del estado Bueno/Moderado teniendo en cuenta el P90 de las últimas 5 anualidades de datos ($p90=3.67$):

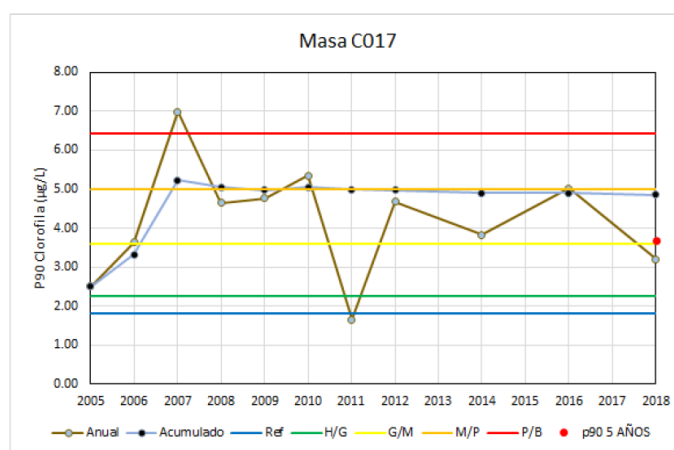


Figura 9. Percentil 90 de clorofila en la masa C017, 2005-2018. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Como se ha expresado anteriormente, para el mejor estudio de esta masa se han recogido muestras de agua en dos puntos adicionales, en la Gola en octubre y noviembre y en la desembocadura del Vinalopó en noviembre.

En base a los resultados obtenidos, se observa que la muestra "Gola" posee menor temperatura que el resto de las estaciones de la misma campaña, y una salinidad entre 50 y 53 g/kg, lo cual puede dar indicación del origen de dicha agua (el canal Gola conecta las Salinas de Santa Pola con el mar). Es de resaltar el altísimo valor de amonio, nitrito y nitrato que posee en la campaña de octubre y los elevados valores de clorofila en ambas campañas.

La muestra recogida en la desembocadura del rio Vinalopó muestra también diferencias claras con las estaciones de playas. Posee una salinidad en torno a 13 g/Kg, indicativo de una alta influencia fluvial, un pH de 8.06 y muy elevadas concentraciones de nutrientes y de clorofila.

Estas dos muestras adicionales (Gola y Vinalopó) pueden indicarnos la razón del incumplimiento de la masa respecto al fitoplancton. Si estas aguas alcanzan las zonas de playas, estarían aportando gran cantidad de nutrientes que rápidamente serían aprovechados por la comunidad fitoplanctónica. Este rápido consumo de nutrientes provoca que se detecten altos valores de clorofila, pero no de nutrientes.

La comunidad fitoplanctónica para la masa C017 está formada principalmente por Diatomeas y Cryptophyceae, grupos típicos para esta época del año y para zonas con niveles altos de nutrientes:

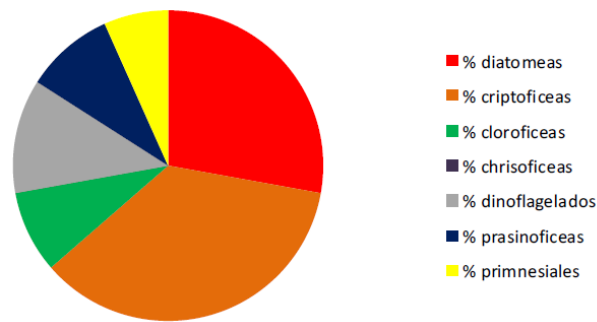


Figura 10. Fitoplancton en la masa C017, 2018.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

La composición de la comunidad fitoplanctónica de la Gola es característica de aguas estancadas. El grupo mayoritario son los dinoflagelados seguido de diatomeas y Prasinophyceae pico y nanoplantónicas. En cuanto a la composición de la comunidad fitoplanctónica de Vinalopó está formada en un 60% de dinoflagelados, seguido de diatomeas 26%.

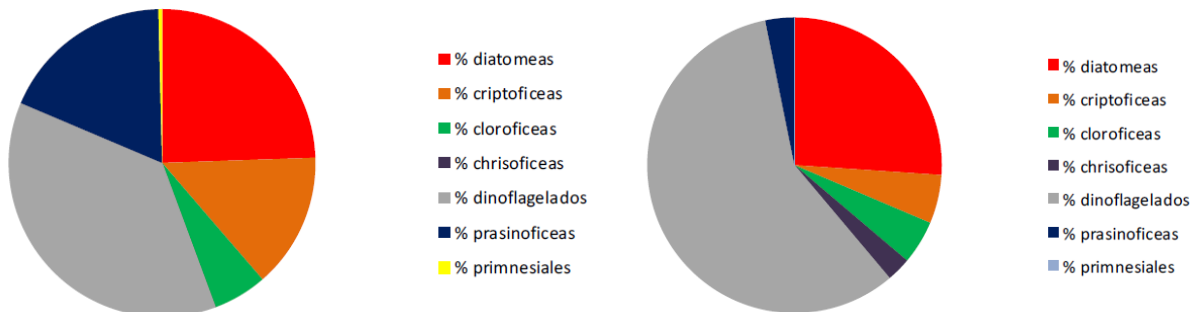


Figura 11. Fitoplancton en la Gola (izquierda) Y Vinalopó (derecha), 2018.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

3.5. COMUNIDADES MARINAS

La definición de las principales comunidades marinas que cohabitan en la zona de estudio ha sido definida en base a los datos ofrecidos por el Plan de Ecocartografías del litoral español, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

Según la definición del Ministerio para la Transición Ecológica (2013), se entiende por *comunidad marina* el conjunto de organismos bentónicos que cohabitan en los fondos marinos. Se puede caracterizar a una comunidad marina por la diversidad de poblaciones de diferentes especies las cuales están interrelacionadas entre sí, las cuales habitan en un área determinada, compartiendo unas condiciones ambientales específicas.

El Plano nº5: Comunidades Marinas muestra la localización de las principales comunidades que habitan la zona de estudio:

- **Comunidad de Algas Fotófilas:**
Se trata de una población de algas que se caracteriza por instalarse sobre material rocoso o sedimentos muy consolidados. Necesita buena iluminación y protección de las corrientes marinas. Por la necesidad de iluminación suelen ser comunidades que habitan en poca profundidad, pero en aguas limpias y transparentes se encuentran hasta profundidades de 30 m. La comunidad de algas fotófilas tiene una gran importancia ecológica por su gran riqueza en especies de fauna asociada.
- **Comunidad de Arenas Finas:**
Hábitat que se caracteriza por su composición sedimentaria, de elementos finos ricos en materia orgánica. La granulometría del sedimento es determinada por la hidrodinámica de la zona y por otros factores. Destaca la diversidad de especies que forman estas comunidades de fondos marinos sedimentarios, siendo predominantes los poliquetos y bivalvos. Estas comunidades se ubican en fondos poco profundos, desde los 0.5 metros de profundidad hasta llegar a los 70m.
- **Comunidad de Fondos Detríticos Enfangados:**
Se trata de comunidades que se asientan sobre fondos sedimentarios, donde se acumulan materiales detríticos en diversas cantidades. Su composición es principalmente calcárea de origen orgánico. Este tipo de comunidades habita en fondos marinos de hasta 150 m de profundidad.
Se trata de comunidades que son de gran importancia por tratarse del lugar de refugio para la cría para muchas especies de interés económico (peces, cefalópodos y bivalvos).
- **Problamiento de Cubetas y Canales Intermata:**
Comunidad marina que habita en cavidades rocosas. Por su parte, los Canales Intermata son formaciones debidas a procesos erosivos que han sido ocupadas generalmente por arenas relativamente gruesas con una importante cantidad de detritos orgánicos.
- **Pradera de Fanerógamas:**
Estas praderas están formadas por fanerógamas como *Ruppia cirrhosa*, *Zostera noltii*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina* y algas verdes rizomatosas como *Caulerpa prolifera* o *Caulerpa racemosa cylindracea*. Pueden encontrarse tanto en lagunas costeras o estuarios, como en zonas abiertas. Se asientan sobre fondos arenosos, arena fangosos e incluso fangos cuando se trata de las algas del género *Caulerpa*. La comunidad acuática de estas praderas está formada por especies eurihalinas, que toleran elevada salinidad y altas temperaturas, características de este tipo de hábitats.

- **Pradera de Posidonia Oceánica:**

Las praderas de Posidonia Oceánica es una especie endémica del litoral mediterráneo y constituyen el ecosistema marino más importante, complejo y extendido del Mar Mediterráneo. Las densas praderas que forma la Posidonia Oceánica se establecen en zonas poco profundas, desde la superficie hasta una profundidad de 40 metros, en función de la transparencia del agua. Pueden soportar oscilaciones relativamente elevadas de temperatura y del movimiento del agua, pero son sensibles a los cambios de salinidad.

Las praderas de Posidonia Oceánica están consideradas hábitats naturales de interés comunitario cuya conservación requiere la designación de Zonas Especiales de Conservación (ZEC). Este ecosistema endémico mediterráneo es considerado prioritario por la Directiva Europea Hábitats, al considerarse un hábitat amenazado de desaparición y cuya conservación supone una especial responsabilidad.

- **Zonas alteradas:**

Alteraciones debidas a la acción humana. Se trata de zonas con altos niveles de contaminación. Generalmente se denominan de esta manera las zonas cercanas a los puertos. La biodiversidad en las zonas alteradas es muy baja, habiendo sido totalmente alterado el ecosistema natural existente anterior.

Como se muestra en el *Plano nº5*, hay una gran extensión de praderas de Posidonia Oceánica que predominan los fondos marinos de las masas de agua costera C016 y C017. Como se ha expresado anteriormente, las Praderas de Posidonia Oceánica son hábitats naturales de interés comunitario designadas como Zonas Especiales de Conservación (ZEC).

Para las tres masas de agua analizadas, las zonas de menor profundidad (0 - 5m) están caracterizados por existir comunidades de Arenas Finas. En las zonas de mayor profundidad analizadas (30 - 40m) predomina la existencia de comunidades de Fondos Dietríticos Enfangados. La zona media de las masas de agua C016 y C017 (5 -30m) está caracterizada por la existencia de Praderas de Posidonia Oceánica. En cambio, la franja central de la zona C018 tiene como comunidad marina predominante las Praderas de Fanerógamas.

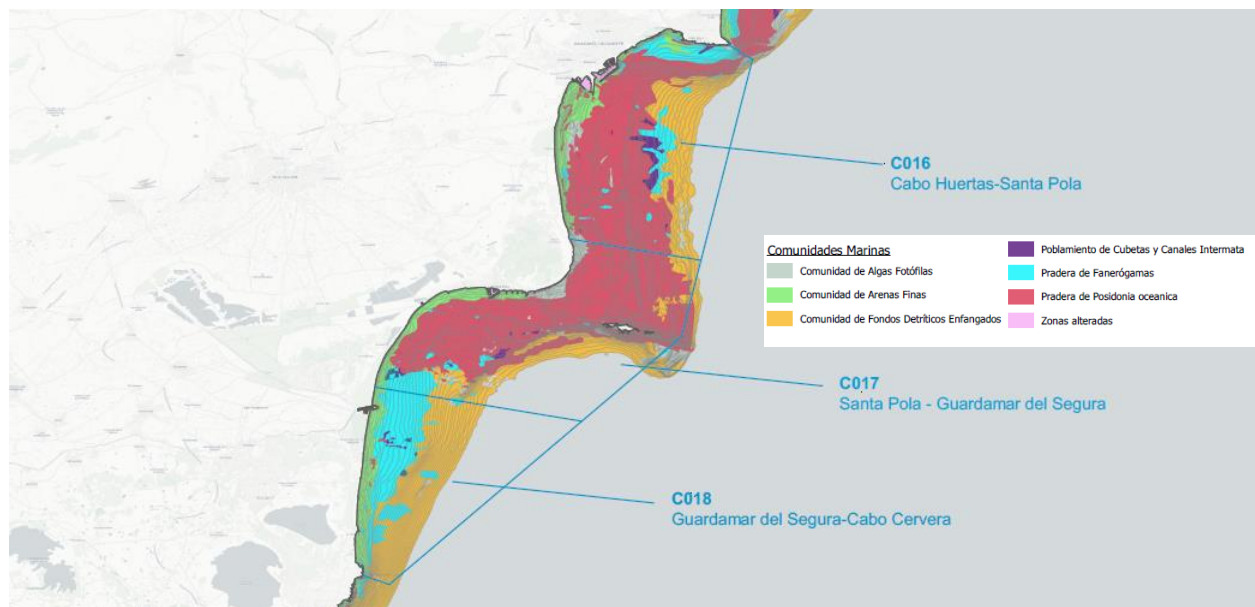


Figura 12. Comunidades marinas existentes en la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº5: Comunidades Marinas]

3.6. PATRIMONIO NATURAL

La localización de los principales espacios naturales protegidos próximos a la zona de estudio ha sido definida en base a los datos ofrecidos por el Plan de Ecocartografías del litoral español, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

El *Plano nº6: Patrimonio Natural* muestra con mayor detalle la localización de los espacios naturales existentes en el ámbito de estudio. Los espacios naturales vienen protegidos por algunas de las siguientes protecciones legales:

Lugar de Importancia Comunitaria (LIC): espacio natural en el que concurren algunos de los hábitats naturales, fauna y flora silvestre de interés en Europa, según la Directiva Comunitaria 92/43/CEE.

Parque Natural (PN): espacio natural con características biológicas o paisajísticas especiales en el que se pretende garantizar su protección.

Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA): categoría de área protegida declarada por directiva europea como “Zona natural de singular relevancia para la conservación de la avifauna amenazada de extinción”.

RAMSAR: Lista de Humedales de Importancia Internacional (Convenio Internacional RAMSAR).

Zona Húmeda o Humedal (ZH): espacio natural inundado de agua que se caracterizan por la riqueza de ambientes acuáticos existentes como por la diversidad de especies que albergan.

Reserva Marina: Área marina donde se limita la explotación pesquera por su importancia ecológica.

Los espacios naturales que se identifican próximos a la zona de estudio son los siguientes:

- **Cabo de la Horta (LIC)**
Se trata de un espacio marino con una superficie de 42.5 Km² situado en los alrededores del Cabo de Huertas, que presenta un elevado interés de conservación ya que alberga una importante pradera de Posidonia Oceánica.
- **Cabo Roig (LIC)**
Se trata de un espacio marino con una superficie de 46.8 Km² situado en la franja próxima a la costa cercana que va desde Guardamar del Segura hasta el sur de la Comunidad Valenciana. Este espacio natural es de relevante importancia por albergar extensas praderas de Fanerógamas y Posidonia Oceánica.
- **Isla de Tabarca (LIC)**
Espacio marino protegido con una superficie de 133 Km² situado en los alrededores del Cabo de Santa Pola y la Isla de Tabarca, que presenta un elevado interés de conservación ya que alberga una importante pradera de Posidonia Oceánica.
- **Dunas de Guardamar (LIC – Zona Húmeda)**
Se trata de uno de los cordones dunares de la costa mediterránea valenciana mejor conservado, con unos 14 kilómetros de cordón dunar. Alberga numerosos hábitats asociados a las formaciones de dunas. Este espacio natural está en el entorno del Parque Natural Salinas de Santa Pola.
- **Desembocadura y Frente Litoral del Segura (Zona Húmeda)**
Espacio natural creado en torno a la desembocadura del río Segura, en el municipio de Guardamar del Segura. Tiene un alto interés ambiental por su variedad de comunidades bióticas. También

destaca su importante valor paisajístico e histórico-patrimonial. Incluye el sistema dunar del LIC Dunas de Guardamar.

- **Lagunas de la Mata y Torrevieja (PN – RAMSAR - ZEPA - LIC – Zona Húmeda)**

Humedal incluido en la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional. Este espacio natural se ubica en los municipios de Guardamar del Segura, Torrevieja, Los Montesinos y Rojales, con una extensión de 37 Km². El parque natural lo forman dos lagunas separadas entre sí y unidas por un canal. Estas lagunas fueron conectadas de forma artificial con el mar, conformando así una unidad de explotación salina.

Este parque natural junto con los parques de las Salinas de Santa Pola y de El Fondo (Elche), forman un conjunto de humedales de relevante importancia ambiental en la zona ya que son utilizados por una gran diversidad de especies para sus migraciones, como espacio de anidación de especies o de hibernación.

- **Salinas de Santa Pola (PN – RAMSAR - ZEPA - LIC – Zona Húmeda)**

Humedal incluido en la Lista Ramsar de Humedales de Importancia Internacional. Tiene una extensión de 25 Km². Se trata de un espacio natural protegido donde coexisten usos tradicionales de explotaciones salinas con la conservación del medio.

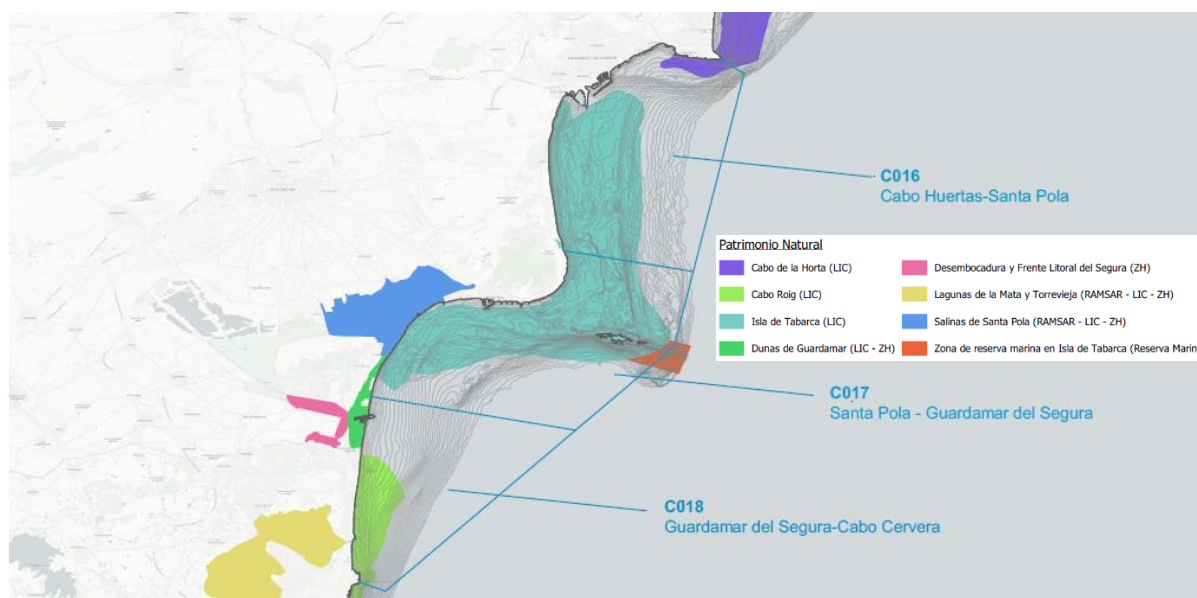
La diversidad de ambientes que se encuentran en este espacio protegido da lugar a gran variedad de formaciones vegetales que se distribuyen en función de la salinidad y la profundidad de la lámina de agua.

Como se ha comentado anteriormente, este parque natural junto con los parques de las Lagunas de la Mata y Torrevieja y de El Fondo, forman un conjunto de humedales de relevante importancia ambiental en la zona ya que son utilizados por una gran diversidad de especies para sus migraciones, como espacio de anidación de especies o de hibernación.

- **Zona de reserva marina en Isla de Tabarca (Reserva Marina)**

La reserva tiene forma rectangular y una superficie total de 5 Km², sus fondos oscilan entre los 0 y 40 m de profundidad y albergan praderas de Posidonia Oceánica en óptimo estado de conservación lo que favorece la regeneración de los recursos pesqueros de la zona.

Esta reserva se dirige a la regeneración de los recursos objetivo de la actividad pesquera considerada más tradicional de la zona y cuyos artes de pesca, permiten capturas más selectivas.



*Figura 13. Patrimonio natural existente en la zona de estudio
[Fuente: Plano nº6: Patrimonio natural]*

4. ANÁLISIS DE FUENTES NATURALES Y VERTIDOS

Con el objetivo de caracterizar las principales presiones ambientales que tienen lugar en la masa de agua costera objeto de este estudio, se han identificado los vertidos más relevantes de la zona.

Los vertidos que se consideran de relevancia para el estudio de las posibles fuentes de contaminación de la masa de agua costera C017 ha sido agrupados en función de su naturaleza:

- **Fuentes naturales**, correspondientes a las principales masas de agua de transición de la zona. En este caso se han identificado las masas de agua correspondientes a la desembocadura y frente litoral del río Segura, la desembocadura del Río Vinalopó, Barranco de las Ovejas en Alicante y la masa de agua que corresponde al Parque Natural de las Salinas de Santa Pola.
- **Vertidos autorizados**, correspondientes a vertidos artificiales que han sido autorizados por la autoridad reguladora responsable, tratándose principalmente de vertidos de aguas residuales tratadas u otro tipo de aguas que han recibido algún tratamiento de depuración.
- **Vertidos no autorizados**, los cuales no están siendo controlados por el organismo responsable. En su mayoría no están registrados siendo, por tanto, de difícil identificación y caracterización.

4.1. FUENTES NATURALES (ZONAS DE TRANSICIÓN)

Se estudia, por una parte, la Desembocadura y Frente litoral del Río Segura, por su elevado volumen de aporte anual y su proximidad a la masa de agua estudiada. También se analiza el aporte de la masa de agua correspondiente al Parque Natural de las Salinas de Santa Pola, el vertido producido en la Desembocadura del Río Vinalopó y la desembocadura del Barranco de las Ovejas en Alicante.

Estas fuentes naturales tienen su origen en masas de agua superficial que desembocan en zonas de agua costera. Las zonas de desembocadura son, por tanto, aguas de transición, parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de los flujos de agua dulce. Se trata de zonas de composición físico-química y biológica variable en el ciclo anual con dependencia de la hidrología de la zona y otros factores.

Además, es necesario tener en consideración las diferentes actividades antrópicas que generan presiones a estas masas de agua de transición, ya que pueden variar tanto el volumen de aportación a la masa de agua costera objeto de estudio, como la composición natural de los vertidos.

4.1.1. Desembocadura y Frente Litoral del Segura

El Río Segura es el río principal de Demarcación Hidrográfica del Segura, la cual se ubica en la parte sureste del territorio español con una superficie aproximada de 19.000 km².

La cabecera del Río Segura se ubica en la Sierra Segura, en el municipio de Santiago Pontones. A lo largo de sus 320 km de longitud, el Río Segura recorre numerosos municipios, entre ellos las ciudades de Jaén, Albacete, Murcia y Alicante. Su desembocadura se ubica en el municipio de Guardamar del Segura (Alicante), donde se crea una masa de agua de transición hasta su llegada al mar, concretamente en la masa de agua costera C018.

El régimen hidrológico del Río Segura se define por su alta variabilidad, alternando periodos de grandes sequías (primavera y verano) con periodos de fuertes inundaciones (otoño e invierno). Esto implica que, aunque la media del caudal en desembocadura del Río Segura sea de 1 m³/s, hayan fuertes variaciones de caudal a lo largo de su régimen anual, y por tanto, del aporte de agua al mar en el punto de desembocadura.



Figura 14. Demarcación Hidrográfica del Segura y Río Segura.
[Fuente: <https://riosdelplaneta.com/rio-segura/>]

Como se puede observar en el Figura 15. Caudales medios diarios del Río Segura en su desembocadura entre los años 2005-2018 (estación de aforo EA-029 Rojasles) , el régimen de caudales medios se incrementa de forma apreciable a partir del año 2009. Cabe destacar que es en 2009 cuando se empieza a aplicar el régimen de caudales ambientales establecidos por el Plan Hidrológico de la Demarcación del Segura. (Confederación Hidrográfica del Segura)

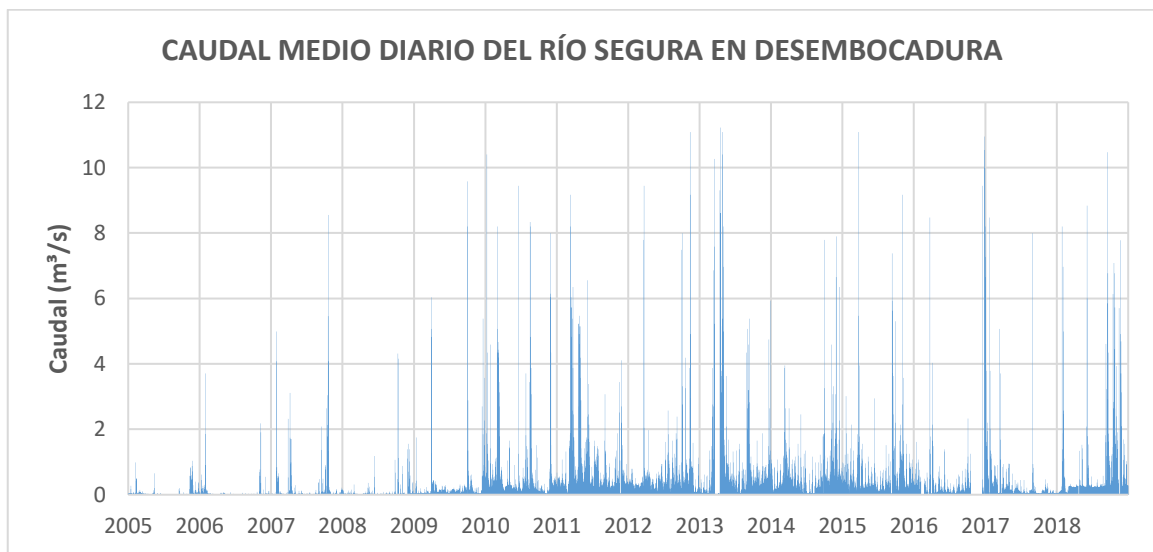


Figura 15. Caudales medios diarios del Río Segura en su desembocadura entre los años 2005-2018 (estación de aforo EA-029 Rojasles).
[Fuente: Confederación Hidrográfica del Segura; Elaboración propia]

Durante los años 1990-2010, el Río Segura ha destacado por su alta contaminación a causa de vertidos incontrolados en su cauce sin tratamiento previo. Esto conllevó elevados niveles de contaminación de las aguas del río, y por tanto, de las aguas vertidas al mar. Cabe destacar que durante la última década (2010-2020), se han realizado numerosas intervenciones para restaurar la calidad ambiental del río. No obstante, las presiones que recibe el Río Segura en la actualidad, en forma de números vertidos y fuertes regulaciones de su régimen hidrológico, junto a los largos periodos de sequías, siguen haciendo que esta masa de agua tenga una alta disposición a presentar niveles altos de contaminación en sus aguas. (iAgua, 2014)

4.1.2. Desembocadura del Río Vinalopó

El Río Vinalopó cuenta con 81 km de cauce ubicados íntegramente en la provincia de Alicante. Pertenece a la Demarcación Hidrográfica del Júcar, ubicándose su nacimiento en el Parque Natural de la Sierra de Mariola. El Río Vinalopó ha sido fuertemente alterado por la acción humana y carece actualmente de su desembocadura natural al mar. Es por esto que, tras el encauzamiento que atraviesa la ciudad de Elche, este río desagua artificialmente en el Azarbe de Cebadas, acequia de propiedad privada que recoge los excedentes de regadío para conducirlos al mar cruzando las Salinas de Santa Pola.

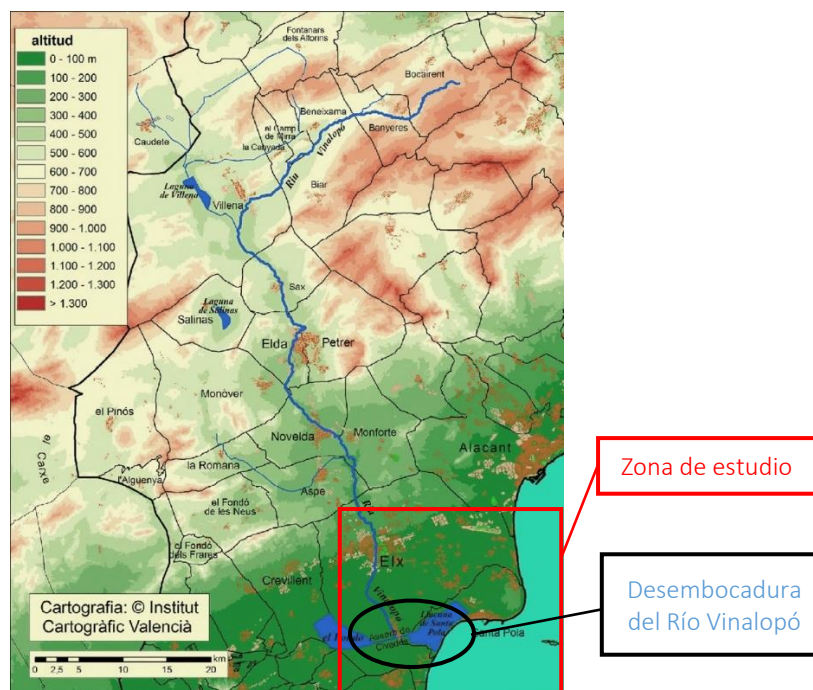


Figura 16. Localización del cauce del Río Vinalopó.

[Fuente: <https://www.researchgate.net/publication/321885615>]

En periodos de fuertes lluvias que incrementan el caudal del Río Vinalopó, el Azarbe de Cebadas no tiene suficiente capacidad de desagüe y es por ello que se producen inundaciones de periodicidad baja en la zona sur del término municipal de Elche. Cabe destacar que esta zona es considerada "de alto riesgo" por el Plan de Acción Territorial contra el Riesgo de Inundación (Patricova) de la Comunidad Valenciana. Además, la Confederación Hidrográfica del Júcar tiene incluido en su planeamiento la regeneración del cauce natural y desembocadura del Río Vinalopó (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2015), cuyos terrenos han sido fuertemente alterados por la acción humana y empleados en actividades de cultivo.

Según el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar 2015-2021, el Río Vinalopó presenta una calidad del recurso "no adecuada". Esto se debe a los numerosos vertidos procedentes de las depuradoras que vierten a lo largo de su cauce, además de la incidencia de vertidos urbanos e industriales y de los retornos de riego de la zona próxima a la desembocadura. El Plan Hidrológico 2015-2021 establece lo siguiente: "La escasa capacidad de dilución, asociada a un problema de cantidad de recursos, supone una dificultad adicional para alcanzar el buen estado del Río Vinalopó. Por lo que el cumplimiento de los objetivos de calidad pasa tanto por atender la calidad como la cantidad del recurso. Las distintas administraciones públicas han previsto inversiones en la cuenca del Río Vinalopó con el objetivo de mejorar la calidad de los vertidos lo que permitirá una mejora sustantiva en la calidad de las aguas circulantes por el río." (Confederación Hidrográfica del Júcar, 2015)

La elevada contaminación del Río Vinalopó se relaciona con los resultados obtenidos en el Informe 2018 IIAMA-UPV, donde se establece que "la muestra recogida en la desembocadura del río Vinalopó muestra también diferencias claras con las estaciones de playas, posee una salinidad en torno a 13 g/Kg, indicativo de una alta influencia fluvial, un pH de 8.06 y muy elevadas concentraciones de nutrientes y de clorofila." (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018)

4.1.3. Salinas de Santa Pola

Parque Natural de las Salinas de Santa Pola presenta una extensión de 2.500 hectáreas situado entre los términos municipales de Santa Pola y Elche, correspondiente a la franja litoral de la masa de agua costera C017.

Como se ha destacado anteriormente, las Salinas de Santa Pola están incorporadas al listado de Zonas Húmedas de Importancia Internacional del Convenio de Ramsar. Además de estar incluido en el listado RAMSAR, las Salinas de Santa Pola cuentan con las figuras de protección legal de Parque Natural, LIC y ZEPA.

El humedal Salinas de Santa Pola era una extensa laguna litoral que en el siglo XIX fue transformada de en salinas para su aprovechamiento económico. Actualmente funciona como un sistema de explotación salinera convencional, donde el agua marina circula por un circuito de balsas con el objetivo de obtener una alta concentración de sales mediante la evaporación progresiva del agua.



Figura 17. Localización de las Salinas de Santa Pola en la zona de estudio.
[Fuente: Imagen Google Earth 2020]

El vertido de las Salinas de Santa Pola en la masa de agua costera C017 se ha considerado “Fuente Natural” ya que, aunque el actual humedal ha sido altamente modificado por el hombre para la producción salina, las condiciones ambientales de la masa de agua son estables, además de contar con numerosas figuras de protección legal. No se incluye en el grupo de “Vertidos Autorizados” ya que esta agrupación trata principalmente de vertidos artificiales que han sido autorizados por la autoridad reguladora, tratándose principalmente de vertidos de aguas residuales tratadas u otro tipo de aguas que han recibido algún tratamiento.

El funcionamiento del sistema de lagunas de las Salinas de Santa Pola se basa en la entrada de agua de procedencia muy variada: pluvial, escorrentía superficial, aportes subterráneos a partir del acuífero cuaternario, y de forma artificial por la entrada de agua de mar, siendo ésta la aportación mayoritaria. El tipo de drenaje que tiene lugar en el sistema indica las vías y los procesos que caracterizan la evacuación de agua desde las lagunas creadas. La descarga del humedal se realiza por regulación directa e indirecta, así como por evapotranspiración, siendo éste el principal tipo de drenaje. (Instituto Geológico y Minero de España - Dirección General del Agua, 2009)

Una de las conclusiones del estudio realizado por Carmen M^a Martí Insa en su Tesis Doctoral titulada *Caracterización ecológica y establecimiento de los criterios para determinar el potencial ecológico en las salinas de la Comunidad Valenciana* (2010) es la citada seguidamente “El humedal de las Salinas de Santa Pola es un humedal litoral que fue transformado para su explotación salinera, por lo que los flujos de agua

están regulados en función de los objetivos de producción de sal. Presenta, por tanto, un elevado nivel de gestión antrópica de los flujos de agua en función de los intereses de las respectivas explotaciones salineras. Las condiciones se alejan de las “naturales” y no cabe esperar conseguir un buen estado ecológico.”

Según esta misma autora, los resultados de las muestras recogidas en las Salinas de Santa Pola durante su estudio en 2008-2009, muestran una composición variable de nutrientes la cual ha sido relacionada con la salinidad de las mediciones: a mayor salinidad mayor concentración de nutrientes, dentro de los parámetros de este tipo de medio. En general, el estudio muestra que las Salinas de Santa Pola tiene un contenido medio-bajo en nutrientes: el contenido en nitritos es bajo por lo general mientras que el contenido en amonio, nitratos y fosfatos ofrece valores medio e incluso elevados en algunos casos. (Martí Insa, 2010)

En cuanto a la carga biológica de la masa de agua de las Salinas de Santa Pola, Martí Insa (2010) establece que “por su elevada salinidad, las condiciones ambientales del sistema no son aptas para la proliferación de fauna. Únicamente unos pocos organismos se han adaptado a este ambiente.”

Teniendo como referencia a lo indicado en el apartado 3.5. *Estado Ecológico de las Masas de Agua*, “la muestra recogida en “Gola” posee menor temperatura que el resto de las estaciones de la misma campaña, y una salinidad entre 50 y 53 g/kg, lo cual puede dar indicación del origen de dicha agua (conexión entre las Salinas de Santa Pola y el mar). Es de resaltar el altísimo valor de amonio, nitrito y nitrato que posee en la campaña de octubre y los elevados valores de clorofila en ambas campañas.” (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018). El alto contenido en nutrientes de la muestra coincide con lo establecido por la autora Martí Insa (2010). El alto nivel de carga biológica (clorofila) puede deberse al estancamiento de las aguas en la zona de recogida de la muestra (Gola) con influencia del agua del mar, por lo que la salinidad es menor que en el interior de las salinas y se dan condiciones aptas para la aparición de organismos.

En base a lo anterior se establece que el vertido de agua desde del humedal de las Salinas de Santa Pola hacia la masa de agua costera C017 está muy influenciado por la explotación antrópica, con una composición con alto contenido en nutrientes y bajo en microorganismos. La mayoría del agua de la explotación salinera se elimina por evapotranspiración, aunque en función de las necesidades de producción de sal. Únicamente de manera puntual tiene lugar un drenaje de agua de forma directa al mar.

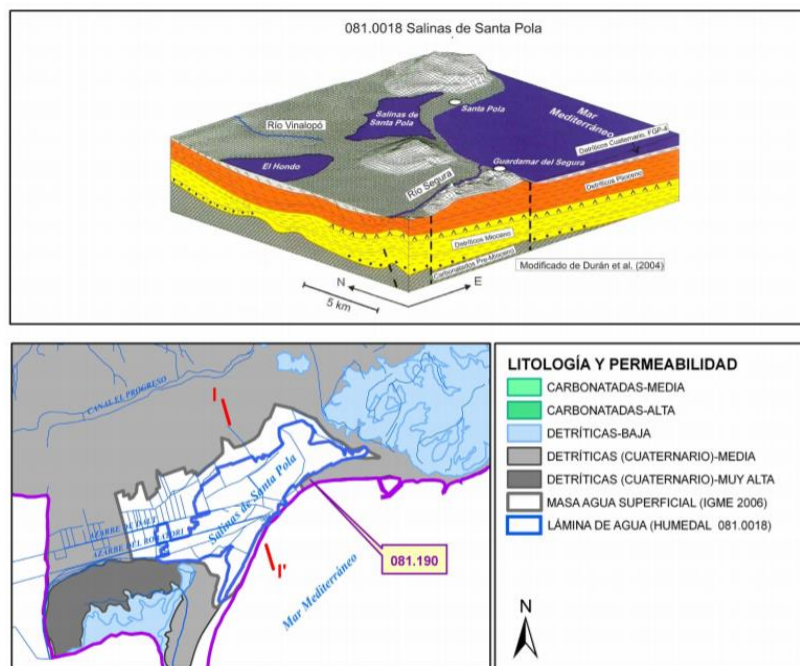


Figura 18. Esquema y corte hidrogeológico de la relación humedal Salinas de Santa Pola. [Fuente: http://info.igme.es/SidPDF/148000/6/148006_0000004.pdf]

4.1.4. Barranco de las Ovejas

El barranco de las Ovejas se localiza al sur de la ciudad de Alicante ubicándose su desembocadura anexa al puerto de Alicante, en la playa de San Gabriel. El Barranco de las Ovejas nace de la Sierra del Maigmó (Alicante) y es alimentado por una serie de barrancos tributarios que forman una cuenca de 226 km². La zona geográfica donde se ubica el barranco se caracteriza por fuertes inundaciones, siendo el Barranco de las Ovejas objeto de grandes crecidas por inundación capaces de generar caudales importantes y desbordamientos que causan números daños (Oliva Cañizares, 2019).

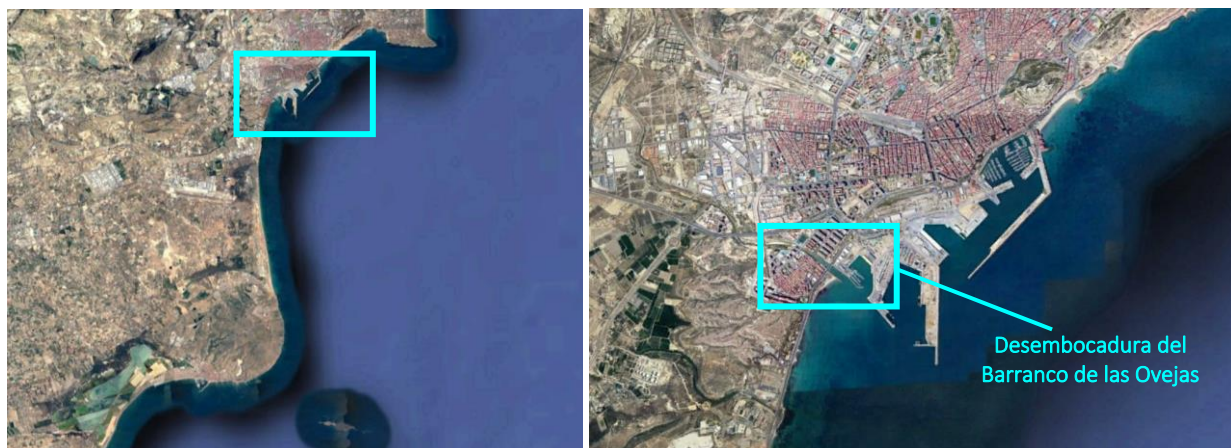


Figura 19. Localización de la desembocadura del barranco de las Ovejas en la zona de estudio.
[Fuente: Imagen Google Earth 2020]

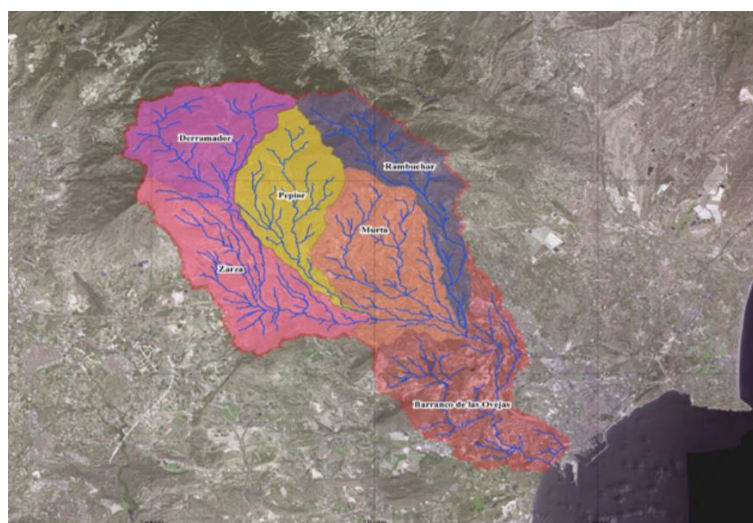


Figura 20. Cuencas y subcuencas del Barranco de las Ovejas.
[Fuente: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/106913/1/Olcina_Oliva_2020_CuadGeo.pdf]

El Barranco de las Ovejas se encuentra desde hace algunas décadas con altos niveles de contaminación por la existencia de numerosos vertidos directos no controlados a su cauce. No obstante, el principal foco de contaminación se ubica en el vertido procedente de la depuradora Rincón de León cuando ésta sobrepasa su máxima capacidad. En periodos de fuertes lluvias o en periodos de aumento de población debido a la época estival, la depuradora no tiene suficiente capacidad para tratar el volumen de agua recibido y vierte directamente en el último tramo del cauce del Barranco de las Ovejas, a escasos metros del mar (AHSA, 2020).

4.2. VERTIDOS AUTORIZADOS

En la actualidad, la información sobre los vertidos autorizados por las autoridades competentes, ya sean vertidos realizados en dominio público, los realizados en dominio privado como vertidos de tierra al mar, se encuentran recogidos en el Censo Nacional de Vertidos. El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, a través de la Dirección General del Agua, es el responsable de actualizar este censo.

En base al Censo Nacional de Vertidos y a la información proporcionada por el geoportal del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, se identifican los principales vertidos desde tierra al mar que tienen lugar en las masas de agua costera C016, C017 y C018 y que pueden ser de relevancia para la elaboración de este trabajo (ver *Plano nº7: Censo de Vertidos Autorizados desde tierra al mar*). Seguidamente se realiza una caracterización más detallada de estos vertidos, con la información proporcionada por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico en el Censo Nacional de Vertidos (Figura 21 y tablas de caracterización de vertido).

Cabe destacar que todos los vertidos identificados están controlados por las autoridades reguladoras y que, por tanto, tiene establecido el tratamiento de depuración necesario para evitar la contaminación del medio receptor.

No obstante, no se dispone de datos de calidad de estos vertidos. Es por ello que se decide destacar los vertidos con mayor volumen anual autorizado por ser los que mayor afección tendrán en la zona de estudio en caso de no recibir el tratamiento de depuración adecuado.

- AYUNTAMIENTO DE GUARDAMAR DEL SEGURA (tanques de preengorde de piscifactorías):
Características Tipo Vertido: Piscifactorías
Volumen anual autorizado (m3): 3.160.000
- MANCOMUNITAT DE L'ALACANTÍ (emisario submarino EDAR Monte Orgegia):
Características Tipo Vertido: ≥ 50.000 h.e.*
Volumen anual autorizado (m3): 4.206.863

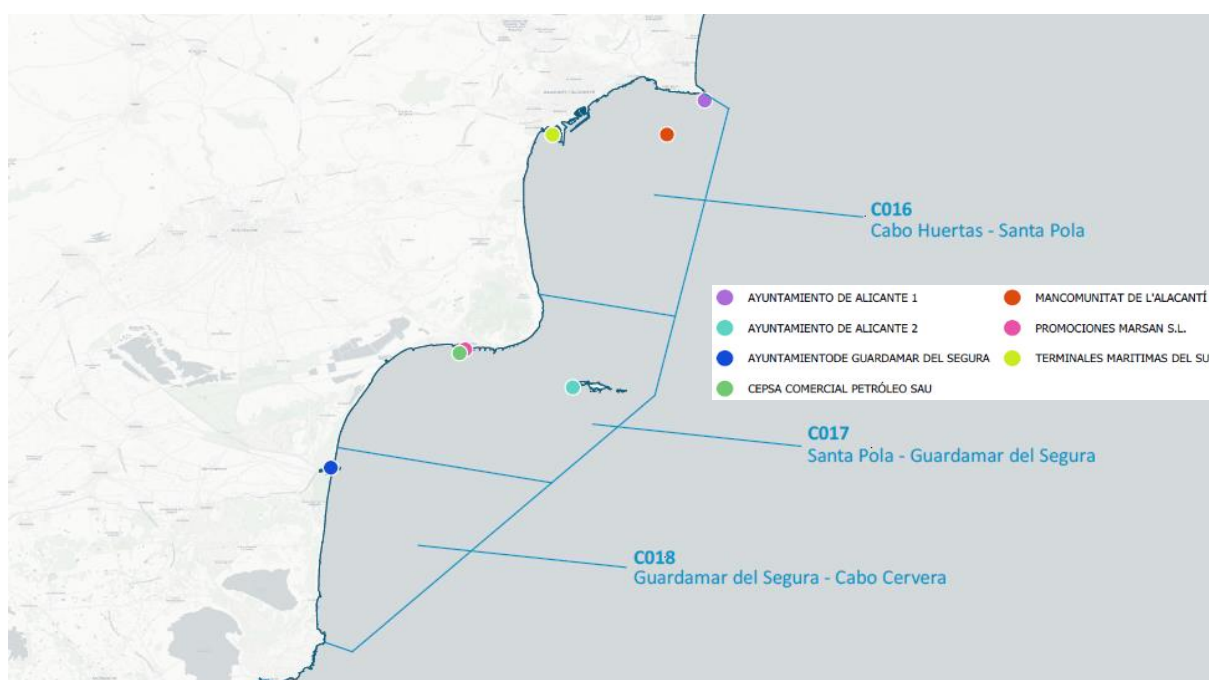


Figura 21. Patrimonio natural existente en la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº7: Censo de Vertidos Autorizados desde tierra al mar]

1- Ayuntamiento de Alicante 1

| | |
|---|--------------------------|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | AYUNTAMIENTO DE ALICANTE |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10734 |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Alicante/Alacant |
| Coordenada X (ETRS89) | 726.906 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.247.606 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | Sin h.e.* asociados |
| Volumen anual autorizado (m3) | -- |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | No Aplicable |

2- Ayuntamiento de Alicante 2

| | |
|---|--------------------------|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | AYUNTAMIENTO DE ALICANTE |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10737 |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Alicante/Alacant |
| Coordenada X (ETRS89) | 720.059 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.226.957 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | 250 - 1.999 h.e.* |
| Volumen anual autorizado (m3) | 16.087 |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | Tratamiento Secundario |

3- Ayuntamiento de Guardamar del Segura

| | |
|--|--------------------------------------|
| Demarcación | D.H. del Segura |
| Razón Social | AYUNTAMIENTO DE GUARDAMAR DEL SEGURA |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10403A |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Guardamar del Segura |
| Coordenada X (ETRS89) | 706.586 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.220.878 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | Piscifactorías |
| Volumen anual autorizado (m ³) | 3.160.000 |



| | |
|---|-------------------------|
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |

4- Cepsa Comercial Petróleo SAU

| | |
|---|------------------------------|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | CEPSA COMERCIAL PETRÓLEO SAU |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10607N |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Belbimbre |
| Coordenada X (ETRS89) | 713.624 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.229.224 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | Sin h.e.* asociados |
| Volumen anual autorizado (m ³) | -- |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | Pretratamiento |

5- Mancomunitat de L'Alacantí

| | |
|---|---|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | MANCOMUNITAT DE L'ALACANTÍ |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10725 |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Alicante/Alacant |
| Coordenada X (ETRS89) | 724.841 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.245.202 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | >= 50.000 h.e.* |
| Volumen anual autorizado (m ³) | 4.206.863 |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Código Aglomeración (sólo vertidos urbanos) | ES10030140002011 |
| Nombre aglomeración (sólo vertidos urbanos) | ALACANT. EL CAMPELLO, MUTXAMEL, SANT JOAN D'ALACANT |
| Código Oficial EDAR (sólo vertidos urbanos) | ES10030140002011E |
| Denominación EDAR (sólo vertidos urbanos) | MONTE ORGEGIA |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | -- |

6- Promociones Marsans

| | |
|---|-------------------------|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | PROMOCIONES MARSAN S.L. |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10607A |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Santa Pola |
| Coordenada X (ETRS89) | 713.928 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.229.500 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | Piscifactorías |
| Volumen anual autorizado (m3) | 500 |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | Tratamiento Primario |

7- Terminales Marítimas del Sureste SA

| | |
|---|---------------------------------------|
| Demarcación | D.H. del Júcar |
| Razón Social | TERMINALES MARITIMAS DEL SURESTE, S.A |
| Código Punto de Vertido (PV) | PV-10711 |
| Provincia PV | Alicante/Alacant |
| Municipio PV | Alicante/Alacant |
| Coordenada X (ETRS89) | 718.472 |
| Coordenada Y (ETRS89) | 4.245.084 |
| Huso | 30 |
| Características Tipo Vertido | Sin h.e.* asociados |
| Volumen anual autorizado (m ³) | -- |
| Tipo Autorización | Autorización de vertido |
| Cauce Principal | MAR MEDITERRÁNEO |
| Destino Vertido | DPMT |
| Tipo Medio Receptor (sólo para vertidos en DPH) | Superficiales |
| Tipo de Tratamiento | No Aplicable |

* Se define habitante equivalente como el parámetro que permite cuantificar la carga orgánica biodegradable media que genera una persona en su actividad doméstica habitual en una DBO5 de 60 g de oxígeno por habitante y día.

4.3. VERTIDOS NO AUTORIZADOS

Con el fin de completar la caracterización de las fuentes y vertidos que existen en la zona de estudio, es necesario identificar los posibles vertidos no autorizados que se pudieran dar en la zona. Por su naturaleza, estos vertidos son difíciles de identificar y caracterizar ya que no se encuentran en los registros oficiales tales como el Censo Nacional de Vertidos.

4.3.1. Emisario submarino EDAR Rincón de León

La estación de aguas residuales Rincón de León se ubica al Sur del municipio de Alicante. Según los datos de funcionamiento de 2018 ofrecidos por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR), la EDAR Rincón de León tuvo un caudal medio de entrada de 48.749m³/d, depurando las aguas residuales de gran parte del municipio de Alicante, con una población servida de 306.592 h.e.



*Figura 22. Localización de la EDAR Rincón de León en la zona de estudio.
[Fuente: Imagen Google Earth 2020]*

La EDAR Rincón de León ubica su principal punto de vertido en un emisario submarino situado a 500m de la playa de San Gabriel, junto a la desembocadura del Barranco de las Ovejas, próximo al puerto de Alicante (*Figura 23*). Este vertido se encuentra en una situación irregular desde su puesta en funcionamiento en 1999 por no contar con autorización de vertido (Síndic de Greuges , 2019). Es por ello que no consta en el *Censo Nacional de Vertidos*.

Numerosas organizaciones y organismos públicos han identificado un exceso de contaminación en la zona (AHSA, 2020), debido a la confluencia de numerosos focos de vertidos contaminantes (Barranco de las Ovejas, emisario submarino de la EDAR Rincón de León y vertidos del Puerto de Alicante). Además, se trata de una zona de baja renovación de agua a causa de la influencia del puerto, por lo que la concentración de contaminantes se intensifica.



*Figura 23. Localización del emisario submarino de la EDAR Rincón de León.
[Fuente: EPSAR]*

4.3.2. Vertidos difusos en Santa Pola

La estación de aguas residuales de Santa Pola se ubica al norte de Santa Pola. Según los datos de funcionamiento de 2018 ofrecidos por la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana (EPSAR), la EDAR de Santa Pola tuvo un caudal medio de entrada de 8.140 m³/d, sirviendo a toda la población del municipio de Santa Pola, con una población servida en 2018 de 40.092 h.e.



*Figura 24. Localización de la EDAR de Santa Pola en la zona de estudio.
[Fuente: Imagen Google Earth 2020]*

La EDAR de Santa Pola incluye un tratamiento terciario que hace posible la reutilización de las aguas depuradas. Según datos de la EPSAR, el efluente de la EDAR de Santa Pola es reutilizado en riego agrícola por la SAT de la Virgen del Loreto.

La localidad de Santa Pola registra anualmente un aumento poblacional en la época estival, llegando a cuadruplicar su población habitual. Según la EPSAR, el caudal de diseño de la depuradora de Santa Pola prevé la estacionalidad de la población, siendo su caudal de diseño 24.000 m³/d en comparación al caudal medio diario de 2018, 8.140 m³/d.

Puesto que Santa Pola es el municipio principal que se ubica en la zona de estudio (masa de agua C017), se analizará la posible existencia de vertidos difusos a lo largo de la franja litoral, pudiendo deberse a diversas causas tales como un posible colapso de la EDAR de Santa Pola en días de punta de población u otras causas no identificadas.

5. CONCLUSIÓN

El presente anejo ha tratado de destacar las principales características ambientales de la zona objeto de estudio centrándose en los elementos pertenecientes al medio físico y biótico que son de relevancia para la problemática estudiada. Para ello, una vez localizado el ámbito de estudio y definida la batimetría empleada, se ha definido el estado ecológico de las masas de agua estudiadas con respecto a su calidad ambiental. En este apartado se describe la problemática que se analiza en este trabajo en relación a los altos niveles del indicador *Fitoplancton* obtenido en las campañas de muestreo para la masa de agua C017.

Además, se ha caracterizado la morfología marina de la zona, los usos del suelo y el patrimonio natural de la franja litoral y las comunidades bentónicas y la biocenosis principal de la zona de estudio. Todo ello se acompaña de mapas temáticos correspondientes a los *Planos 2 a 6*.

Con el objetivo de concluir y resumir el análisis de fuentes y vertidos realizado en este anejo, se presenta a continuación una tabla resumen que agrupa las principales fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados que se dan en la zona de estudio. Además, se realiza una agrupación de algunos de ellos según la proximidad de su ubicación, resultando finalmente cinco localizaciones de vertido en la zona.

| TIPO DE FUENTE | DESCRIPCIÓN | UBICACIÓN DEL PUNTO DE VERTIDO |
|-------------------------|---|--------------------------------|
| FUENTES NATURALES | Desembocadura y Frente Litoral del Segura | 1. Desembocadura del Segura |
| | Desembocadura del Río Vinalopó | 2. Desembocadura del Vinalopó |
| | Salinas de Santa Pola | 2. Desembocadura del Vinalopó |
| | Barranco de las Ovejas | 4. Puerto de Alicante |
| VERTIDOS AUTORIZADOS | Vertido "Ayuntamiento de Guardamar del Segura" (tanques de preengorde de piscifactorías): | 1. Desembocadura del Segura |
| | Vertido "Mancomunitat de l'Alacantí" (emisario submarino EDAR Monte Orgegia) | 5. Emisario Alacantí |
| VERTIDOS NO AUTORIZADOS | Emisario submarino EDAR Rincón de León | 4. Puerto de Alicante |
| | Vertidos difusos en Santa Pola | 3. Santa Pola |

Tabla 6. Tabla resumen de las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio y agrupación en 5 localizaciones.



Figura 25. Ubicación de los 5 puntos de vertido que agrupan las 8 fuentes naturales, vertidos autorizados y vertidos no autorizados identificados en la zona de estudio.

ANEJO Nº 2.

CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----|
| 1. OBJETO | 4 |
| 2. ANÁLISIS DEL NIVEL DEL MAR..... | 4 |
| 2.1. FUENTE DE DATOS..... | 4 |
| 2.2. RÉGIMEN DE MAREAS..... | 5 |
| 3. ANÁLISIS DEL OLEAJE | 8 |
| 3.1. FUENTES DE DATOS | 8 |
| 3.1.1. Conjunto de datos SIMAR..... | 8 |
| 3.1.2. Datos de la Red de Boyas..... | 9 |
| 3.2. RÉGIMEN MEDIO DE OLEAJE | 10 |
| 3.2.1. Comparación de las distintas fuentes de datos | 10 |
| 3.2.2. Direcciones predominantes de oleaje | 14 |
| 3.2.3. Periodo pico..... | 16 |
| 3.2.4. Altura de ola significativa | 17 |
| 3.3. RÉGIMEN EXTREMAL DE OLEAJE..... | 18 |
| 3.3.1. Régimen escalar..... | 18 |
| 3.3.2. Régimen direccional..... | 19 |
| 4. PROPAGACIÓN DE OLEAJE | 20 |
| 4.1. MODELO UTILIZADO | 20 |
| 4.2. PARÁMETROS DE CÁLCULO | 20 |
| 4.2.1. Batimetría | 20 |
| 4.2.2. Mallas de cálculo | 21 |
| 4.2.3. Datos de oleaje | 22 |
| 4.3. RESULTADOS OBTENIDOS..... | 23 |
| 5. CONCLUSIÓN | 25 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación del mareógrafo de Gandía..... | 4 |
| Figura 2. Esquema Datum del mareógrafo de Gandía. | 5 |
| Figura 3. Niveles de referencia del mar en el mareógrafo de Gandía..... | 5 |
| Figura 4. Medidas mensuales y de tendencia del nivel medio del mar observado en el mareógrafo de Gandía..... | 6 |
| Figura 5. Registro de los extremos anuales de la serie histórica de nivel del mar observado en el mareógrafo de Gandía. Azul: máximo (línea de puntos) y percentil 95 (p95, línea continua); rojo: mínimo (línea de puntos) y percentil 5 (p05, línea continua). [Fuente: Puertos del Estado]..... | 7 |
| Figura 6. Distribución de la frecuencia relativa acumulada del nivel del mar respecto el 0 REDMAR (derecha) y tabla de percentiles (izquierda)..... | 7 |
| Figura 7. Localización de los puntos SIMAR utilizados para el análisis del oleaje. | 8 |
| Figura 8. Localización de las boyas cercanas a la zona de estudio. | 9 |
| Figura 9. Régimen extremal escalar de oleaje de la Boya de Cabo de Palos..... | 9 |
| Figura 10. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S1. | 10 |
| Figura 11. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S2. | 11 |
| Figura 12. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S3. | 11 |
| Figura 13. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S4. | 12 |
| Figura 14. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto Boya Cabo de Palos..... | 12 |
| Figura 15. Comparación de las fuentes de datos identificadas: relación $T_{p_{pond.}}-H_s$ | 13 |
| Figura 16. Comparación de las fuentes de datos identificadas: relación $P(H_s)-H_s$ | 13 |
| Figura 17. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR S2 (2077097) – Rosa de altura significativa. | 14 |
| Figura 18. Frecuencias asociadas a la probabilidad de ocurrencia de dirección y altura significativa de oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097). | 15 |
| Figura 19. Frecuencias asociadas a la probabilidad de no excedencia del Periodo de Pico y Altura Significativa de Oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097). | 16 |
| Figura 20. Periodo pico ponderado asociado a la altura de ola significativa en el punto SIMAR S2 (2077097). | 16 |
| Figura 21. Distribución Weibull para la altura de ola significativa en régimen medio en el punto SIMAR S2 (2077097). | 17 |
| Figura 22. Distribución Weibull en la dirección predominante Este para la altura de ola significativa en régimen medio en el punto SIMAR S2 (2077097). | 17 |
| Figura 23. Régimen extremal escalar de oleaje de la Boya de Cabo de Palos..... | 18 |
| Figura 24. Rosa de oleaje del régimen extremal de la Boya de Cabo de Palos. | 19 |
| Figura 25. Régimen extremal de oleaje en la dirección predominante Este y Noreste de la Boya de Cabo de Palos. | 19 |

| | |
|---|----|
| Figura 26. Batimetría de la zona de estudio. | 20 |
| Figura 27. Batimetría utilizada en el modelo SWAN. | 21 |
| Figura 28. Ejemplo de los resultados del parámetro “dirección media de oleaje” de la propagación del oleaje obtenida por SWAN. | 24 |
| Figura 29. Ejemplo de los resultados del parámetro “altura de ola signidicante” de la propagación del oleaje obtenida por SWAN. | 24 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Distribución conjunta de dirección y altura significativa de oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097). | 15 |
| Tabla 2. Distribución Conjunta de Periodo de Pico y Altura Significativa en el punto SIMAR S2 (2077097). | 16 |
| Tabla 3. Escenario y simulaciones realizas en los modelos SWAN y Mohid Water. | 22 |
| Tabla 4. Comparación de resultados para la elección de la fuente de datos para el modelo SWAN. | 23 |
| Tabla 5. Escenario y simulaciones realizas en los modelos SWAN y Mohid Water. | 24 |

1. OBJETO

El presente anejo tiene por objeto realizar el análisis de las condiciones del clima marítimo y propagación del oleaje de la zona de estudio referente al Trabajo Fin de Máster que lleva por título “*Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión*”.

La definición del clima marítimo de la zona se utilizará como base para la propagación del oleaje y para el estudio de dinámica litoral realizado en el *Anejo nº3*. Por su parte, la propagación del oleaje se realiza con el modelo numérico SWAN y será empleada posteriormente como entrada principal para el modelo de dispersión de contaminantes realizado con Mohid Water (*Anejo nº4*).

Para ello, los trabajos realizados han sido los siguientes:

- Análisis de los niveles propios del mar en la zona y los regímenes de mareas.
- Definición del oleaje característico de la zona tanto en régimen medio como en régimen extremal.
- Propagación del oleaje por toda la zona de estudio en base a las condiciones de clima marítimo establecidas anteriormente, empleando el modelo numérico SWAN.

2. ANÁLISIS DEL NIVEL DEL MAR

El nivel de referencia empleado para todo el estudio es el **Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)**.

No obstante, se realiza un análisis de las relaciones de los niveles del mar habituales en la zona a partir del mareógrafo más cercano al ámbito de estudio, en este caso el mareógrafo de Gandía. Estas relaciones serán necesarias para establecer algunos de los parámetros de entrada del modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water (*Anejo nº4*).

2.1. FUENTE DE DATOS

La información para establecer las relaciones de los distintos niveles del mar y analizar el régimen de mareas en la zona de estudio ha sido obtenida principalmente del Informe “*REDMAR: Red de Mareógrafos de Puertos del Estado. Resumen de parámetros relacionados con el nivel del mar y la marea que afectan a las condiciones de diseño y explotación portuaria. Puerto de Gandía.*”

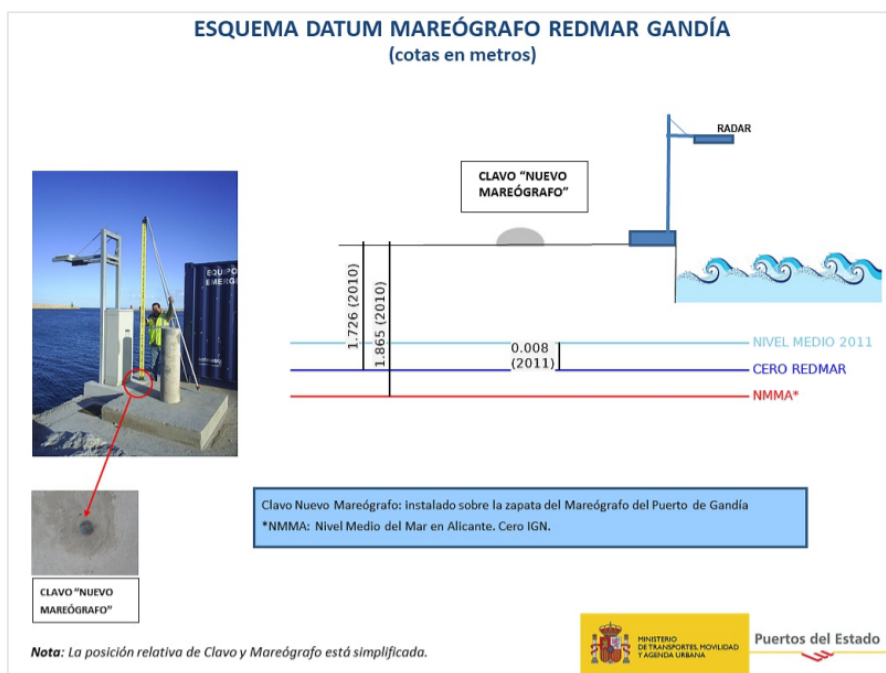
| Estación | Sensor | Inicio/final de medidas | Longitud | Latitud |
|----------|---------------|-------------------------|-----------------|------------------|
| Gand | Rádar (Miros) | Sep-2007/operativo | 000° 9' 5.00" W | 38° 59' 42.76" N |



*Figura 1. Ubicación del mareógrafo de Gandía
[Fuente: Puertos del Estado]*

2.2. RÉGIMEN DE MAREAS

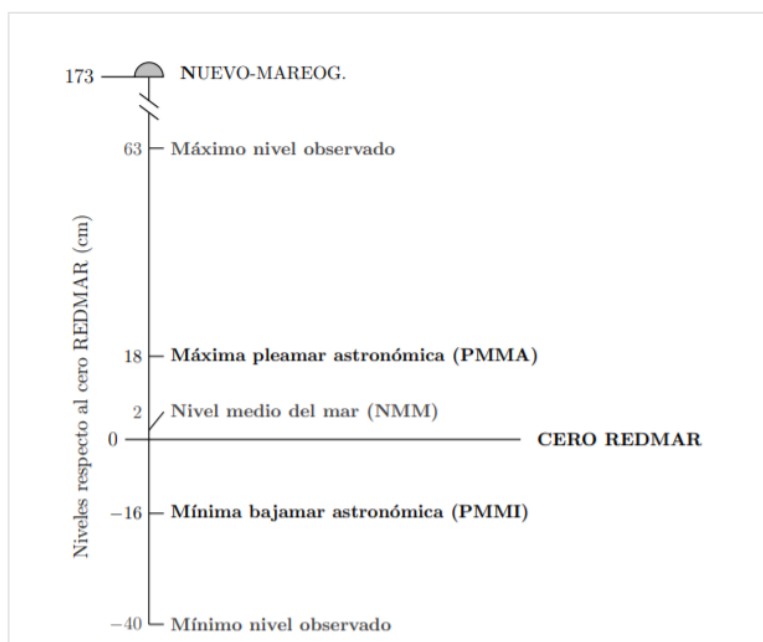
La relación de los niveles del mar habituales se obtiene del esquema Datum del mareógrafo de Gandía, el cual se muestra en la siguiente figura.



*Figura 2. Esquema Datum del mareógrafo de Gandía.
[Fuente: Puertos del Estado]*

La *Figura 3* muestra los niveles de referencia del mar del mareógrafo de Gandía. Estos niveles están referidos al Cero REDMAR o Cero del Puerto, que en este caso se encuentra 0.139 m por encima del Nivel Medio del Mar en Alicante, nivel del mar de referencia de este estudio.

El Cero Hidrográfico, establecido por el Instituto Hidrográfico de la Marina (IHM), coincide aproximadamente con el nivel de agua más bajo, por lo tanto, se ubicará a 0.4 m por debajo del Cero REDMAR.



*Figura 3. Niveles de referencia del mar en el mareógrafo de Gandía.
[Fuente: Puertos del Estado]*

En base a los esquemas anteriores, los niveles de marea astronómica más representativos en la zona próxima al área de estudio son los siguientes:

- Máxima Pleamar Astronómica: PMMA = +0,18 m (r/REDMAR) = +0,319 m (r/NMMA)
- Nivel Medio del Mar en Gandía: NMM = +0,02 m (r/REDMAR) = +0,159 m (r/NMMA)
- Mínima Bajamar Astronómica: BMMI = - 0,16 m (r/REDMAR) = -0,021 m (r/NMMA)
- Cero hidrográfico = -0.40m (r/REDMAR) = -0,261 m (r/NMMA) = -0.408 m (r/NMM Gandía)

En el siguiente gráfico (*Figura 4*) se muestra la evolución histórica de los niveles medios mensuales del mar registrados por el mareógrafo de Gandía entre los años 2007-2017. En él se observa la variación estacional de los niveles medios registrados, alcanzándose los valores máximos en los meses de verano y otoño, mientras que los niveles más bajos se registran durante los meses de invierno y primavera. La tendencia del nivel medio mensual de la serie 2007-2017 muestra un muy ligero descenso, tendiendo hacia el valor establecido por el Cero REDMAR, aunque sería necesario el análisis de una serie de datos mayor para poder obtener conclusiones en cuanto a este parámetro.

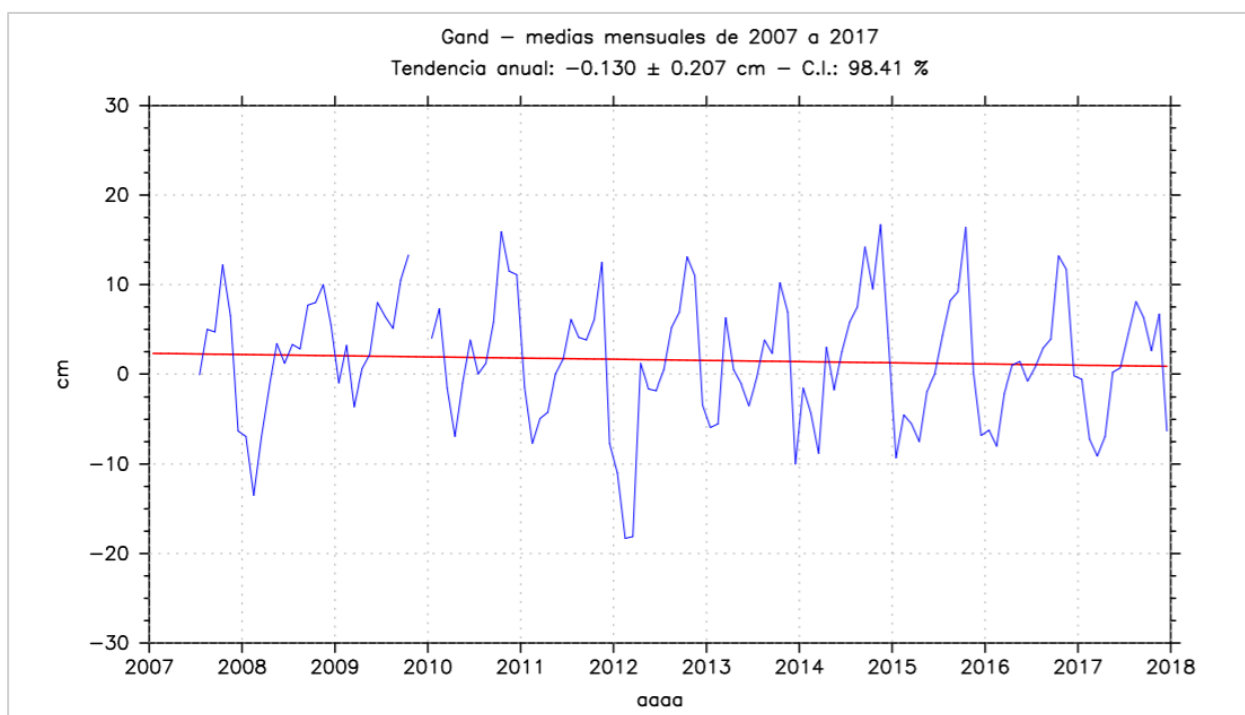


Figura 4. Medidas mensuales y de tendencia del nivel medio del mar observado en el mareógrafo de Gandía.
[Fuente: Puertos del Estado]

En cuanto al análisis de valores extremos de marea, el siguiente gráfico (*Figura 5*) muestra los valores anuales de los registros extremos obtenidos por el mareógrafo de Gandía durante los años 2007-2017. En él se muestran también los valores de marea correspondientes al percentil 95 y 05. Se observa que los niveles del mar máximos anuales se encuentran registrados en torno al valor +0,50m (sobre Cero REDMAR), mientras los mínimos de marea se ubican cercanos al valor -0,35 m (sobre Cero REDMAR).

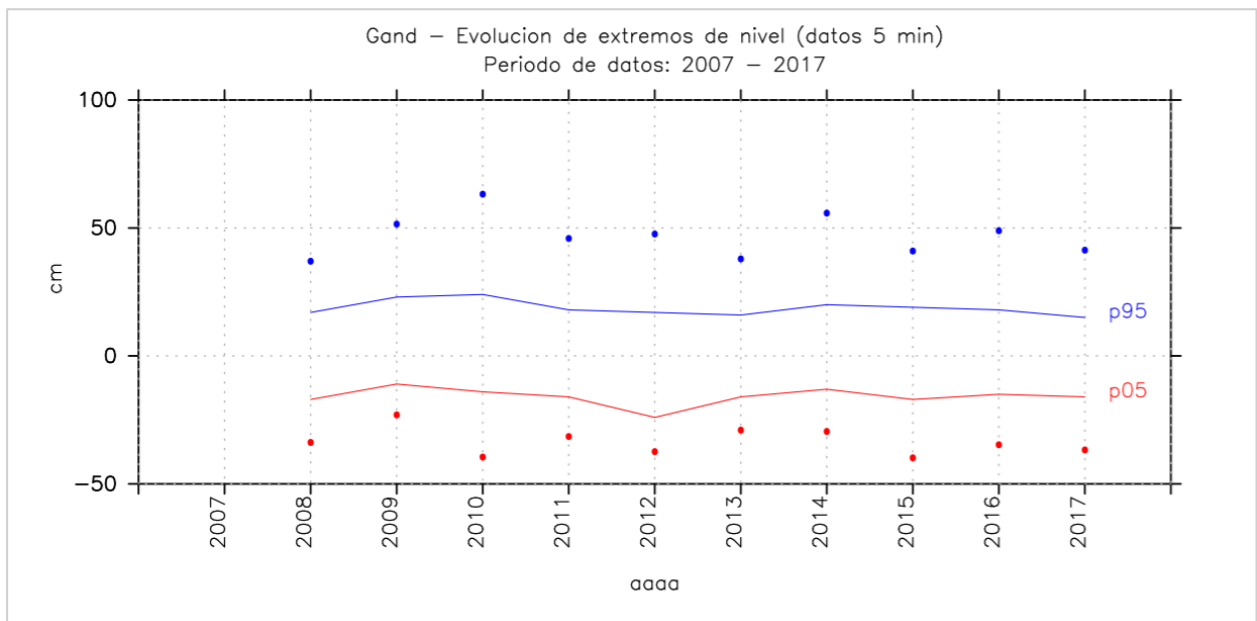


Figura 5. Registro de los extremos anuales de la serie histórica de nivel del mar observado en el mareógrafo de Gandía. Azul: máximo (línea de puntos) y percentil 95 (p95, línea continua); rojo: mínimo (línea de puntos) y percentil 5 (p05, línea continua).
[Fuente: Puertos del Estado]

Por otra parte, el *Figura 6* muestra las frecuencias relativas acumuladas de la marea total con nivel horario que permite determinar los niveles de mar asociados a unas determinadas probabilidades medias de no excedencia.

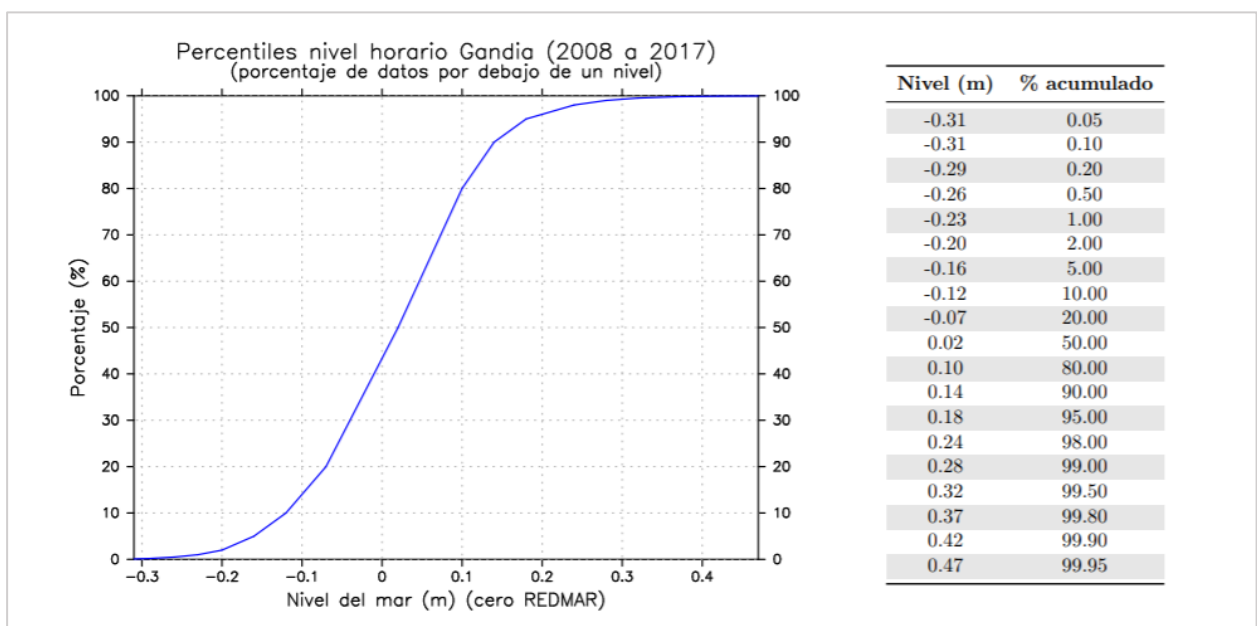


Figura 6. Distribución de la frecuencia relativa acumulada del nivel del mar respecto el 0 REDMAR (derecha) y tabla de percentiles (izquierda).
[Fuente: Puertos del Estado]

3. ANÁLISIS DEL OLEAJE

3.1. FUENTES DE DATOS

3.1.1. Conjunto de datos SIMAR

Los datos utilizados para el análisis del oleaje en la zona de estudio son los datos ofrecidos por el organismo *Puertos del Estado* en los llamados puntos SIMAR, los cuales presentan datos en forma de series temporales extensas (desde 1958 hasta la actualidad) con parámetros de viento y oleaje procedentes de modelado numérico en una localización específica en la cual no existe un instrumento físico de medición.

Los puntos SIMAR seleccionados, por ubicarse dentro de la zona de estudio, muy próximos a la costa, y sobre la batimetría utilizada, son los siguientes:

- Punto SIMAR 2077096 (S1)
 - LATITUD: 38.000
 - LONGITUD: -0.583
- Punto SIMAR 2077097 (S2)
 - LATITUD: 38.083
 - LONGITUD: -0.583
- Punto SIMAR 2077098 (S3)
 - LATITUD: 38.167
 - LONGITUD: -0.583
- Punto SIMAR 2078099 (S4)
 - LATITUD: 38.250
 - LONGITUD: -0.500
- Punto SIMAR 613023024 (S5)
 - LATITUD: 38.331
 - LONGITUD: -0.480

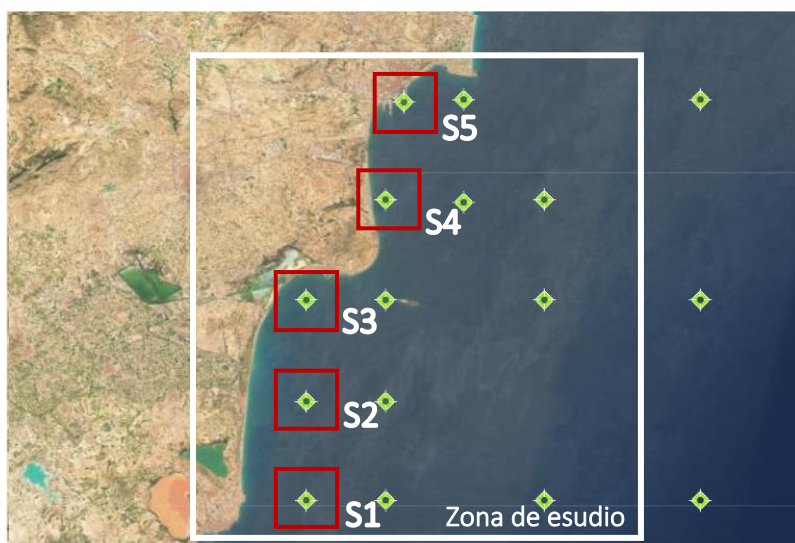


Figura 7. Localización de los puntos SIMAR utilizados para el análisis del oleaje. [Fuente: Puertos del Estado]

La nomenclatura empleada para la identificación de estos puntos (S1, S2, S3, S4 y S5) será la que se utilice en adelante en este trabajo para hacer referencia a los puntos SIMAR utilizados para el análisis del oleaje.

Según la información ofrecida por *Puertos del Estado*, las series SIMAR surgen de la concatenación de dos conjuntos de datos: SIMAR-44 y WANA, aportando datos desde 1958 a la actualidad.

- El subconjunto SIMAR-44 se obtiene a partir de análisis numéricos de alta resolución que cubren el intervalo 1958-2005
- El subconjunto WANA procede de la parte de diagnóstico o análisis del sistema de predicción del estado de la mar que Puertos del Estado ha desarrollado en colaboración con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

El modelo numérico empleado para generar estos datos SIMAR en los puntos seleccionados incluye efectos de refracción y asomeramiento. No obstante, dada la resolución del modelo, se pueden considerar despreciables los efectos del fondo. Por tanto, para el uso práctico de los datos de oleaje, estos deben ser interpretados siempre como datos en aguas abiertas a profundidades indefinidas (el oleaje no se ve afectado por los efectos del fondo marino). Es de destacar que el modelado numérico no ofrece datos del oleaje en régimen extremal, ya que no existen suficientes registros para su compleja y singular modelación.

3.1.2. Datos de la Red de Boyas

El organismo *Puertos del Estado* también ofrece medidas directas del oleaje mediante su sistema de Red de Boyas de Aguas Profundas (datos REDEXT). La boya más cercana a la zona de estudio que durante el periodo analizado (2005-2018) ha ofrecido datos instrumentales es la Boya de Cabo de Palos. Tanto la Boya de Alicante como la Boya Costera de Alicante, ambas muy cercanas a la zona de estudio, dejaron de emitir datos en 2007 y 2014 respectivamente. La Boya Costera de Cabo de Palos, también cercana a la zona de estudio, se encuentra inactiva desde 2012.



Figura 8. Localización de las boyas cercanas a la zona de estudio.

[Fuente: Puertos del Estado]

Por tanto, la única boya activa durante el periodo de análisis es la Boya de Cabo de Palos, ubicada a una profundidad de 230m. Seguidamente se define la condición en que se encuentra la boya de Cabo de Palos en relación a la incidencia del fondo marino en el oleaje. Se definen tres situaciones diferentes en función de la relación d/L , siendo d =profundidad y L =longitud de onda:

- Aguas profundas: $\frac{d}{L} \geq \frac{1}{2}$
- Aguas intermedias: $\frac{1}{20} < \frac{d}{L} < \frac{1}{2}$
- Aguas poco profundas: $\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$

| |
|--|
| Relacion entre Altura Significante (m) y Periodo de Pico (s) |
| $T_p = 4.76 H_s^{0.40}$ |

Figura 9. Régimen extremal escalar de oleaje de la Boya de Cabo de Palos.

En base a lo establecido en el informe de Régimen Extremal de la Boya de Cabo de Palos, el período de retorno $T = 475$ años está asociado a la altura de la ola es $H_s = 8.26m$. La relación entre la altura significativa ola y el período pico es:

$$T_p = 4.76 H_s^{0.40} = 11.08s$$

La longitud de onda en condiciones de aguas profundas se calcula con base en la siguiente fórmula:

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 191.55m$$

Puesto que la boya de Cabo de Palos se encuentra a 230m de profundidad, la relación entre la profundidad y la longitud de onda para el período de retorno 475 años es mayor que $\frac{1}{2}$ ($\frac{d}{L} = \frac{230}{191.55} = 1.2 > \frac{1}{2}$), por lo tanto, la boya está en condiciones de aguas profundas. Mediante esta comprobación de condiciones de aguas profundas para una ola en $T = 475$ años, también se demuestra que estará en condiciones de aguas profundas por períodos de retorno más bajos. Este estudio se centra en la definición del clima marítimo para las condiciones medias de oleaje, por lo que la boya tendrá condiciones de aguas profundas en todos los casos de este estudio.

3.2. RÉGIMEN MEDIO DE OLEAJE

El régimen medio de oleaje hace referencia al conjunto de estados de oleaje que con mayor probabilidad se dan en la naturaleza. Habitualmente se describe mediante una distribución teórica de los datos más frecuentes de la serie histórica, excluyendo los datos que pertenecen a registros extremos. La distribución más utilizada para realizar la descripción del régimen medio de oleaje es la distribución Weibull.

Para la realización de este estudio se utilizarán los datos procedentes del régimen medio de oleaje, ya que, por lo establecido en el Informe 2018 IIAMA-UPV (*Anejo nº1*), se identifica un exceso de los indicadores establecidos en varias de las campañas realizadas a lo largo del periodo 2005-2018. Estas campañas han sido realizadas en diferentes épocas del año, y en ningún caso se han realizado campañas en días de temporal por la seguridad de las personas que realizan estos muestreos. Por tanto, de manera general, este estudio se enmarcará en condiciones de oleaje en régimen medio.

3.2.1. Comparación de las distintas fuentes de datos

Con el objetivo de realizar una comparación entre las diferentes fuentes de datos identificadas anteriormente, se han llevado a cabo los cálculos necesarios para obtener la relación de los parámetros Altura de ola significativa (H_s) y Periodo pico (T_p).

En primer lugar, mediante la distribución de periodos pico asociados a cada altura de ola significativa, se realiza el cálculo del periodo pico ponderado siguiendo la siguiente formulación:

$$T_{p\text{ponderado}}(H_{s_i}) = \frac{\sum_j P(T_{p_{ij}}) * T_{p_{ij}}}{P(H_{s_i})}$$

Los datos utilizados se han obtenido de los informes de Régimen Medio tanto de los puntos SIMAR como de la Boya de Cabo de Palos. A continuación, se presentan las tablas de probabilidad de no excedencia en un año climático medio para la relación H_s - T_p , además del periodo pico ponderado asociado a la altura de ola significativa.

SIMAR S1

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | TOTAL |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <=1.0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | >10.0 | |
| <=0.5 | - | 0.173 | 4.624 | 9.532 | 11.24 | 8.459 | 5.797 | 3.598 | 1.867 | 0.606 | 0.102 | 45.998 |
| 1 | - | - | 0.249 | 2.939 | 8.202 | 12.796 | 6.879 | 3.691 | 2.434 | 1.43 | 0.429 | 39.049 |
| 1.5 | - | - | - | 0.063 | 0.668 | 3.282 | 4.129 | 1.199 | 0.75 | 0.45 | 0.298 | 10.839 |
| 2 | - | - | - | 0.003 | 0.006 | 0.249 | 1.107 | 0.816 | 0.27 | 0.164 | 0.097 | 2.712 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.178 | 0.425 | 0.168 | 0.089 | 0.027 | 0.888 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.125 | 0.12 | 0.061 | 0.012 | 0.326 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.013 | 0.126 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.014 | 0.022 | 0.009 | 0.045 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.004 | 0.008 | 0.003 | 0.015 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | - | 0.001 |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | --- | 0.173 | 4.873 | 12.537 | 20.116 | 24.787 | 18.098 | 9.875 | 5.676 | 2.874 | 0.99 | 99.999 |

| Tp _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | <=0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

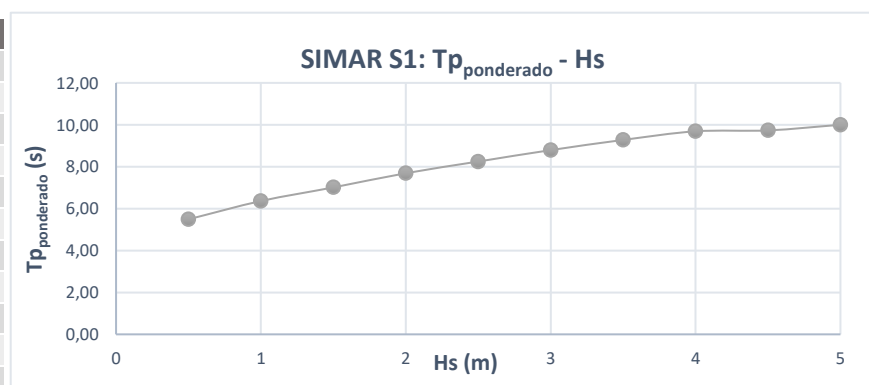


Figura 10. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S1.
[Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

SIMAR S2

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | TOTAL |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <=1.0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | >10.0 | |
| <=0.5 | - | 0.173 | 4.624 | 9.532 | 11.24 | 8.459 | 5.797 | 3.598 | 1.867 | 0.606 | 0.102 | 45.998 |
| 1 | - | - | 0.249 | 2.939 | 8.202 | 12.796 | 6.879 | 3.691 | 2.434 | 1.43 | 0.429 | 39.049 |
| 1.5 | - | - | - | 0.063 | 0.668 | 3.282 | 4.129 | 1.199 | 0.75 | 0.45 | 0.298 | 10.839 |
| 2 | - | - | - | 0.003 | 0.006 | 0.249 | 1.107 | 0.816 | 0.27 | 0.164 | 0.097 | 2.712 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.178 | 0.425 | 0.168 | 0.089 | 0.027 | 0.888 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.125 | 0.12 | 0.061 | 0.012 | 0.326 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.013 | 0.126 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.014 | 0.022 | 0.009 | 0.045 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.004 | 0.008 | 0.003 | 0.015 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | - | 0.001 |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | --- | 0.173 | 4.873 | 12.537 | 20.116 | 24.787 | 18.098 | 9.875 | 5.676 | 2.874 | 0.99 | 99.999 |

| Tp _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | <=0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

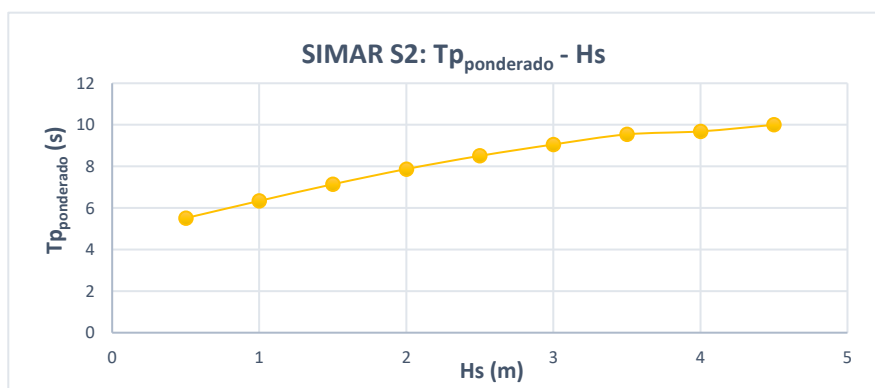


Figura 11. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S2. [Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

SIMAR S3

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | TOTAL |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <=1.0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | >10.0 | |
| <=0.5 | - | 0.173 | 4.624 | 9.532 | 11.24 | 8.459 | 5.797 | 3.598 | 1.867 | 0.606 | 0.102 | 45.998 |
| 1 | - | - | 0.249 | 2.939 | 8.202 | 12.796 | 6.879 | 3.691 | 2.434 | 1.43 | 0.429 | 39.049 |
| 1.5 | - | - | - | 0.063 | 0.668 | 3.282 | 4.129 | 1.199 | 0.75 | 0.45 | 0.298 | 10.839 |
| 2 | - | - | - | 0.003 | 0.006 | 0.249 | 1.107 | 0.816 | 0.27 | 0.164 | 0.097 | 2.712 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.178 | 0.425 | 0.168 | 0.089 | 0.027 | 0.888 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.125 | 0.12 | 0.061 | 0.012 | 0.326 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.013 | 0.126 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.014 | 0.022 | 0.009 | 0.045 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.004 | 0.008 | 0.003 | 0.015 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | - | 0.001 |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | --- | 0.173 | 4.873 | 12.537 | 20.116 | 24.787 | 18.098 | 9.875 | 5.676 | 2.874 | 0.99 | 99.999 |

| Tp _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | <=0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

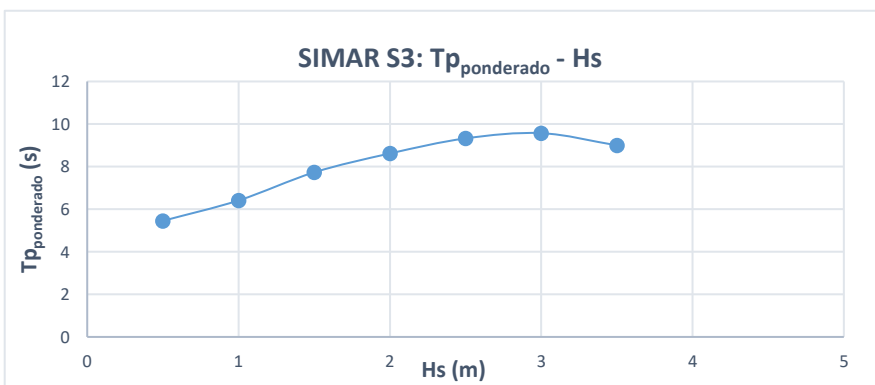


Figura 12. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S3. [Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

SIMAR S4

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | TOTAL |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <=1.0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | >10.0 | |
| <=0.5 | - | 0.173 | 4.624 | 9.532 | 11.24 | 8.459 | 5.797 | 3.598 | 1.867 | 0.606 | 0.102 | 45.998 |
| 1 | - | - | 0.249 | 2.939 | 8.202 | 12.796 | 6.879 | 3.691 | 2.434 | 1.43 | 0.429 | 39.049 |
| 1.5 | - | - | - | 0.063 | 0.668 | 3.282 | 4.129 | 1.199 | 0.75 | 0.45 | 0.298 | 10.839 |
| 2 | - | - | - | 0.003 | 0.006 | 0.249 | 1.107 | 0.816 | 0.27 | 0.164 | 0.097 | 2.712 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.178 | 0.425 | 0.168 | 0.089 | 0.027 | 0.888 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.125 | 0.12 | 0.061 | 0.012 | 0.326 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.013 | 0.126 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.014 | 0.022 | 0.009 | 0.045 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.004 | 0.008 | 0.003 | 0.015 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | - | 0.001 |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | --- | 0.173 | 4.873 | 12.537 | 20.116 | 24.787 | 18.098 | 9.875 | 5.676 | 2.874 | 0.99 | 99.999 |

| TP _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | <=0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

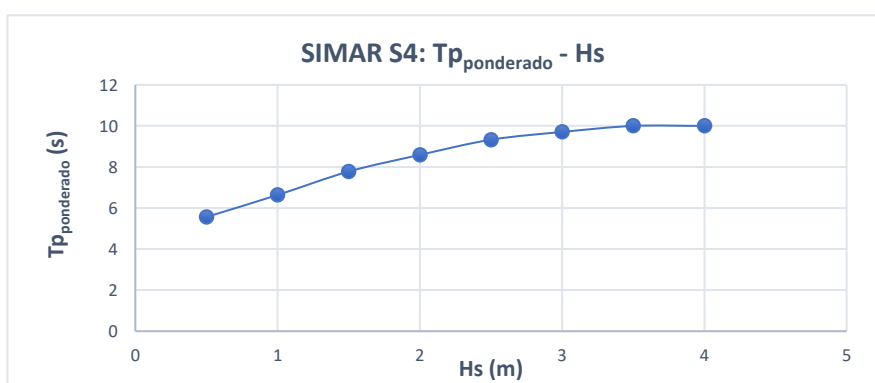


Figura 13. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto SIMAR S4. [Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

BOYA DE CABO DE PALOS

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | TOTAL |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | <=1.0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | >10.0 | |
| <=0.5 | - | 0.173 | 4.624 | 9.532 | 11.24 | 8.459 | 5.797 | 3.598 | 1.867 | 0.606 | 0.102 | 45.998 |
| 1 | - | - | 0.249 | 2.939 | 8.202 | 12.796 | 6.879 | 3.691 | 2.434 | 1.43 | 0.429 | 39.049 |
| 1.5 | - | - | - | 0.063 | 0.668 | 3.282 | 4.129 | 1.199 | 0.75 | 0.45 | 0.298 | 10.839 |
| 2 | - | - | - | 0.003 | 0.006 | 0.249 | 1.107 | 0.816 | 0.27 | 0.164 | 0.097 | 2.712 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.178 | 0.425 | 0.168 | 0.089 | 0.027 | 0.888 |
| 3 | - | - | - | - | - | - | 0.008 | 0.125 | 0.12 | 0.061 | 0.012 | 0.326 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.021 | 0.049 | 0.043 | 0.013 | 0.126 |
| 4 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.014 | 0.022 | 0.009 | 0.045 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.004 | 0.008 | 0.003 | 0.015 |
| 5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | - | 0.001 |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| TOTAL | --- | 0.173 | 4.873 | 12.537 | 20.116 | 24.787 | 18.098 | 9.875 | 5.676 | 2.874 | 0.99 | 99.999 |

| TP _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | <=0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

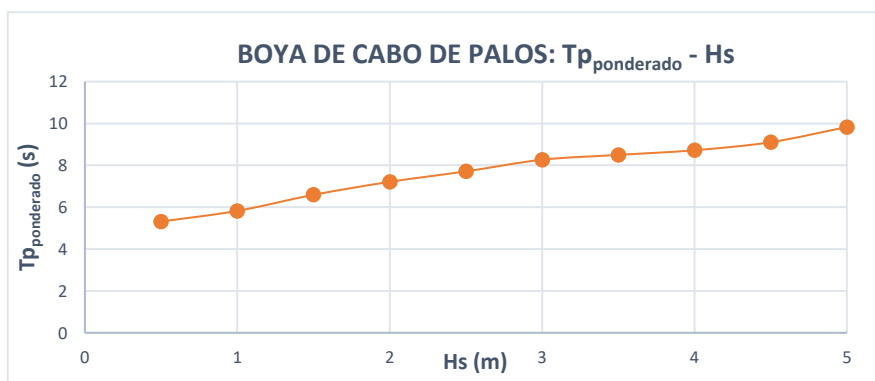


Figura 14. Distribución de periodo pico ponderado asociado a altura de ola significativa en punto Boya Cabo de Palos. [Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

Se destaca la no existencia de informe en el punto SIMAR S5, por lo que se excluye este punto del análisis de datos. Finalmente, el siguiente gráfico muestra la comparación entre todas las fuentes de datos evaluadas:

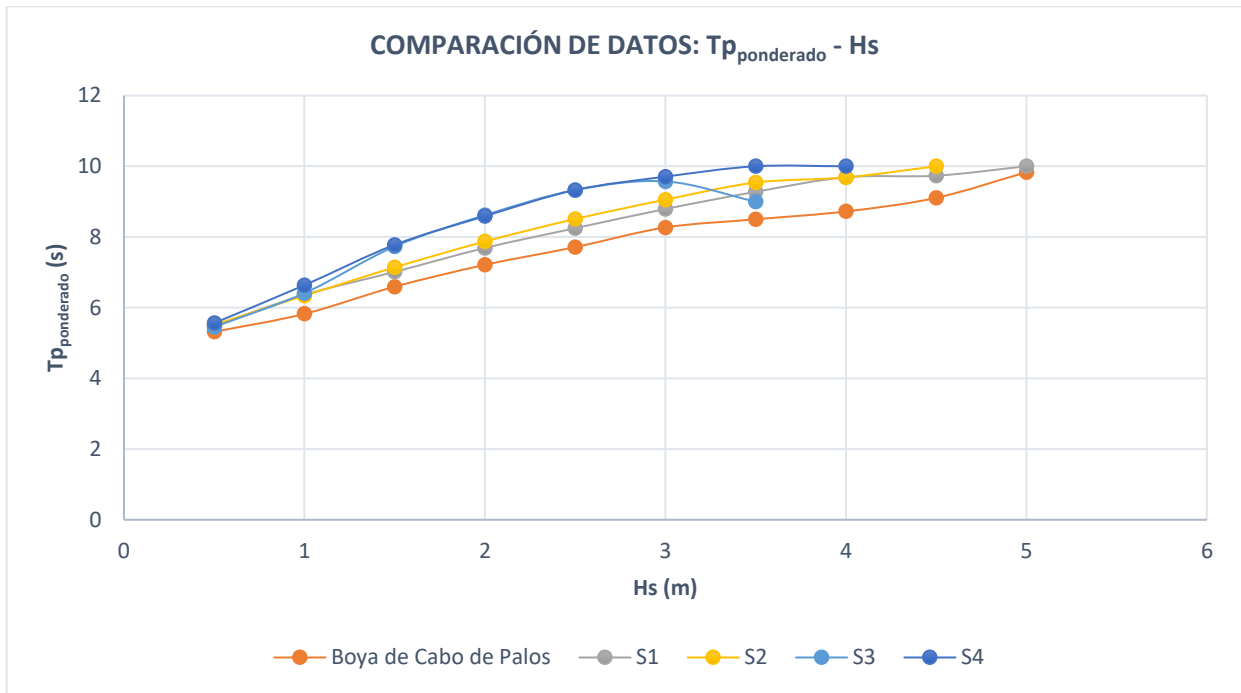


Figura 15. Comparación de las fuentes de datos identificadas: relación $T_{p_{pond.}}$ - H_s .
[Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

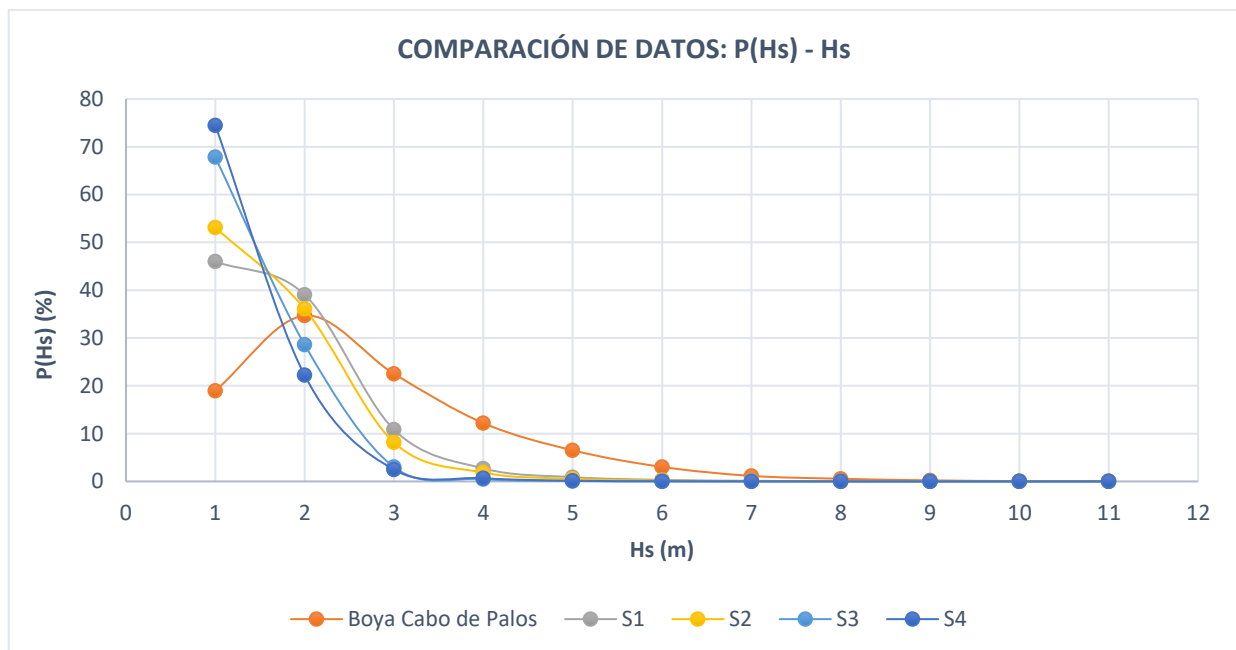


Figura 16. Comparación de las fuentes de datos identificadas: relación $P(H_s)$ - H_s .
[Fuente: Puertos del Estado; Elaboración propia]

Los gráficos anteriores muestran comportamientos similares de todas las fuentes de datos, aunque se observan dos grupos diferenciados: por una parte, los datos procedentes de la boya y de los puntos SIMAR S1 y S2, por otra parte, los puntos SIMAR S3 y S4. Esto puede deberse a la proximidad de las fuentes de datos agrupadas, ya que los puntos SIMAR S1 y S2 se ubican al Sur de la zona de estudio, más cercanos a la Boya de Cabo de Palos, mientras que los puntos SIMAR S3 y S4 se ubican en el centro del ámbito de estudio, cercanos al cabo de Santa Pola, accidente geográfico que condiciona el oleaje en esta zona.

Finalmente, y en base a los resultados anteriores, se selecciona el punto SIMAR S2 como el más conveniente para la descripción del régimen medio de oleaje de la zona de estudio debido a las siguientes razones:

- Los puntos SIMAR presentan un rango de datos y observaciones más amplios que los observados en boyas. En particular, los puntos SIMAR ofrecen datos de oleaje simulado entre el año 1958 y la actualidad, mientras que Boya de Cabo de Palos únicamente ha registrado datos direccionales desde 2005 en adelante.
- El punto SIMAR S2 queda en la media de los análisis realizados, siendo similar a los resultados del punto SIMAR S1 y los datos de la Boya de Cabo de Palos, pero también a los puntos SIMAR S3 y S4, teniendo menor influencia del Cabo de Santa Pola que lo puntos anteriormente nombrados.

3.2.2. Direcciones predominantes de oleaje

La siguiente figura muestra la rosa de oleaje anual del punto SIMAR S2 (2077097) durante el periodo 1958-2017, la cual representa la altura significativa de oleaje asociadas a su probabilidad de ocurrencia para cada dirección predominante.

Cabe destacar que, aunque el organismo *Puertos del Estado* ofrece los datos de oleaje tanto de la serie temporal completa como datos agrupados por estaciones del año, para la realización de este estudio se toma la serie anual como la más representativa para el periodo de análisis (2005-2018) puesto que no se identifica una correlación entre los datos estudiados y las diferentes estaciones del año (*Anejo nº3*).

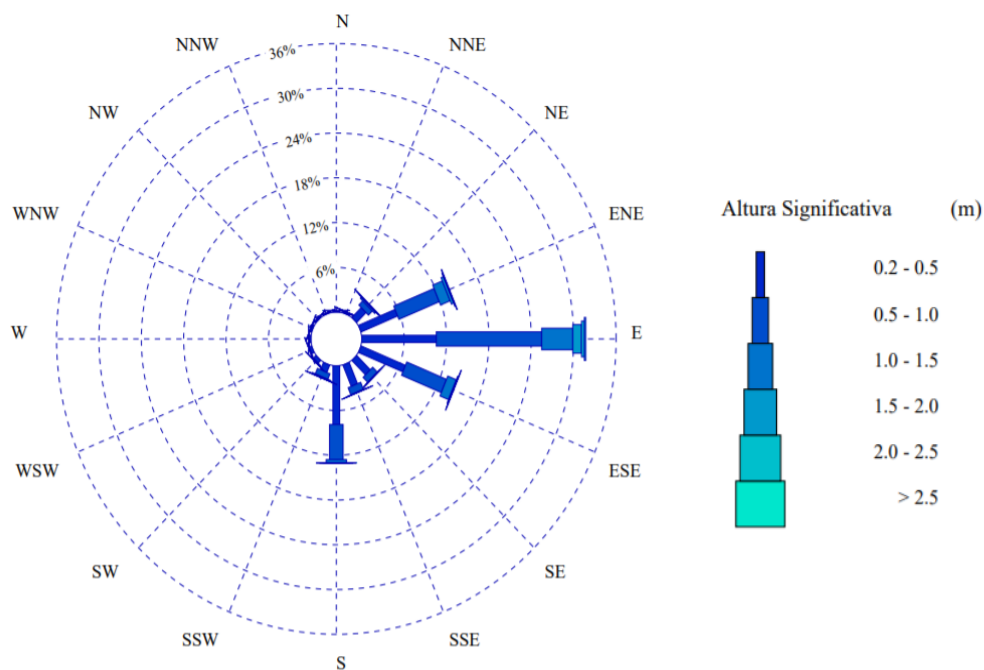


Figura 17. Rosa de oleaje anual del punto SIMAR S2 (2077097) – Rosa de altura significativa.
[Fuente: Puertos del Estado]

Seguidamente se muestran los histogramas de frecuencias asociadas a la probabilidad de ocurrencia tanto para las direcciones de oleaje como para la altura significativa de oleaje. Además, la *Tabla 1* ofrece la distribución numérica detallada de los datos.

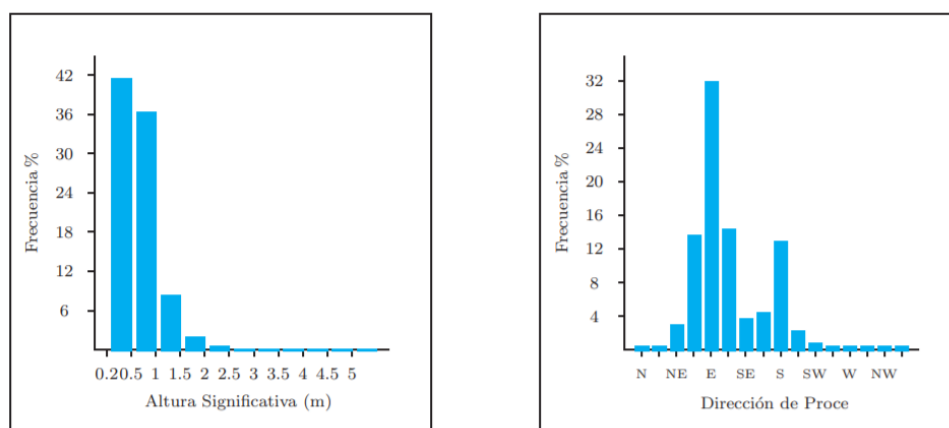


Figura 18. Frecuencias asociadas a la probabilidad de ocurrencia de dirección y altura significativa de oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097).
[Fuente: Puertos del Estado]

| Dirección | Hs (m) | | | | | | | | | | | | Total |
|------------|--------|--------|--------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|-------|--------|
| | ≤ 0.2 | 0.5 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | > 5.0 | |
| CALMAS | 11.656 | | | | | | | | | | | | 11.656 |
| N 0.0 | | .140 | .065 | .010 | - | - | - | - | - | - | - | - | .216 |
| NNE 22.5 | | .151 | .123 | .021 | .002 | - | - | - | - | - | - | - | .297 |
| NE 45.0 | | 1.877 | .788 | .223 | .050 | .012 | .006 | .002 | .001 | - | - | - | 2.959 |
| ENE 67.5 | | 5.602 | 6.169 | 1.469 | .342 | .093 | .039 | .013 | .006 | - | - | - | 13.734 |
| E 90.0 | | 10.558 | 14.909 | 4.409 | 1.236 | .404 | .134 | .033 | .012 | .001 | - | - | 31.696 |
| ESE 112.5 | | 6.798 | 6.080 | 1.298 | .144 | .014 | .002 | .002 | - | - | - | - | 14.339 |
| SE 135.0 | | 2.732 | .914 | .055 | .011 | .001 | - | - | - | - | - | - | 3.713 |
| SSE 157.5 | | 3.089 | 1.021 | .058 | .008 | - | - | - | - | - | - | - | 4.176 |
| S 180.0 | | 7.879 | 4.702 | .415 | .020 | .002 | - | - | - | - | - | - | 13.018 |
| SSW 202.5 | | 1.071 | .788 | .130 | .034 | .008 | - | - | - | - | - | - | 2.030 |
| SW 225.0 | | .508 | .150 | .016 | - | - | - | - | - | - | - | - | .675 |
| WSW 247.5 | | .358 | .100 | .010 | - | - | - | - | - | - | - | - | .469 |
| W 270.0 | | .233 | .085 | .006 | - | - | - | - | - | - | - | - | .325 |
| WNNW 292.5 | | .204 | .077 | .009 | .001 | - | - | - | - | - | - | - | .291 |
| NW 315.0 | | .164 | .053 | .007 | - | - | - | - | - | - | - | - | .224 |
| NNW 337.5 | | .136 | .038 | .009 | - | - | - | - | - | - | - | - | .183 |
| Total | 11.656 | 41.500 | 36.063 | 8.144 | 1.850 | .534 | .182 | .050 | .019 | .002 | - | - | 100 % |

Tabla 1. Distribución conjunta de dirección y altura significativa de oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097).
[Fuente: Puertos del Estado]

Con todo lo anterior, se observa que las direcciones predominantes de oleaje en el punto SIMAR S2 son Este, Este-Sureste y Este-Noreste.

Se observa que la dirección Sur también tiene una probabilidad alta de ocurrencia. Según el informe de Puertos del Estado, esta dirección es una de las direcciones predominantes en invierno y primavera.

La distribución de altura de oleaje alcanza sus máximos en las direcciones predominantes, siendo los valores más frecuentes las alturas entre 0.5 y 1m.

3.2.3. Periodo pico

Se muestran, en primer lugar, los histogramas de frecuencias asociadas a los periodos pico y las alturas de ola significativa de la serie anual en régimen medio del punto SIMAR S2. Como se ha indicado en el apartado anterior, se ha obtenido la distribución del periodo pico ponderado asociado a una determinada altura de ola significativa, el cual se muestra en la *Figura 20*.

DISTRIBUCIÓN CONJUNTA DE PERIODO DE PICO Y ALTURA SIGNIFICATIVA

LUGAR : SIMAR 2077097

PERIODO : Anual

SERIE ANALIZADA : Ene. 1958 - May. 2017

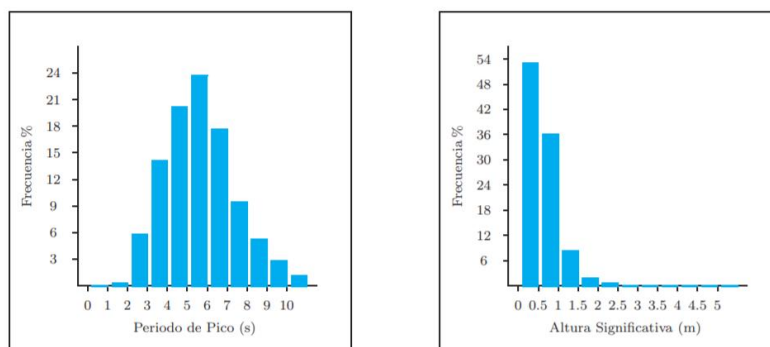


Figura 19. Frecuencias asociadas a la probabilidad de no excedencia del Periodo de Pico y Altura Significativa de Oleaje en el punto SIMAR S2 (2077097).

[Fuente: Puertos del Estado]

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | | | | | | | Total |
|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | ≤ 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 | 10.0 | > 10.0 | |
| ≤ 0.5 | - | 0.259 | 5.570 | 11.260 | 12.379 | 9.216 | 6.669 | 4.289 | 2.359 | 0.930 | 0.177 | 53.108 |
| 1.0 | - | 0.258 | 2.634 | 7.314 | 12.435 | 6.766 | 3.008 | 1.899 | 1.244 | 0.541 | - | 36.100 |
| 1.5 | - | - | - | 0.042 | 0.319 | 1.951 | 3.609 | 1.138 | 0.557 | 0.313 | 0.223 | 8.152 |
| 2.0 | - | - | - | - | 0.006 | 0.098 | 0.599 | 0.743 | 0.229 | 0.124 | 0.050 | 1.852 |
| 2.5 | - | - | - | - | - | 0.002 | 0.056 | 0.242 | 0.138 | 0.078 | 0.019 | 0.534 |
| 3.0 | - | - | - | - | - | - | 0.002 | 0.048 | 0.071 | 0.045 | 0.017 | 0.182 |
| 3.5 | - | - | - | - | - | - | - | 0.003 | 0.017 | 0.025 | 0.005 | 0.050 |
| 4.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.006 | 0.011 | 0.002 | 0.019 |
| 4.5 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0.001 | 0.002 |
| 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| > 5.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Total | - | 0.259 | 5.828 | 13.936 | 20.018 | 23.702 | 17.702 | 9.473 | 5.276 | 2.771 | 1.035 | 100% |

Tabla 2. Distribución Conjunta de Periodo de Pico y Altura Significativa en el punto SIMAR S2 (2077097).

[Fuente: Puertos del Estado]

| TP _{ponderado} | Hs (m) |
|-------------------------|--------|
| 5.49 | ≤ 0.5 |
| 6.36 | 1 |
| 7.01 | 1.5 |
| 7.69 | 2 |
| 8.25 | 2.5 |
| 8.79 | 3 |
| 9.28 | 3.5 |
| 9.69 | 4 |
| 9.73 | 4.5 |
| 10.00 | 5 |
| - | > 5.0 |

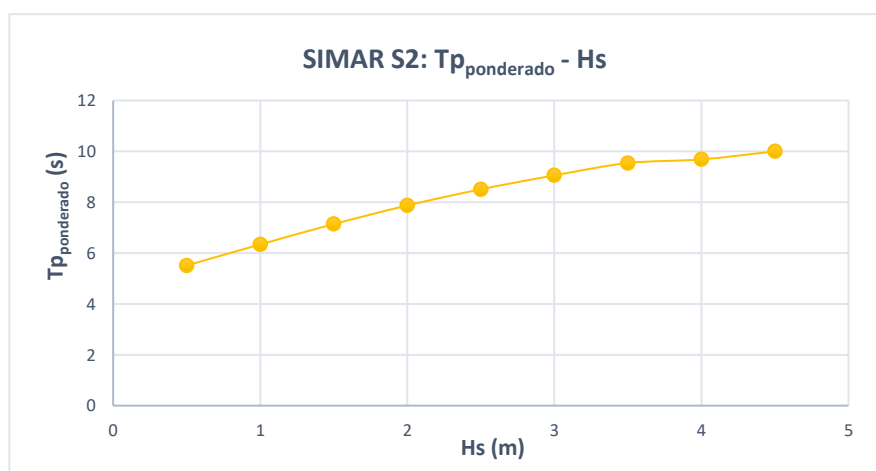


Figura 20. Periodo pico ponderado asociado a la altura de ola significativa en el punto SIMAR S2 (2077097).

[Fuente: Puertos del Estado; Elaboración: propia]

3.2.4. Altura de ola significativa

La distribución empleada por el organismo *Puertos del Estado* para describir el régimen medio de las series de oleaje es mediante un histograma acumulado y el correspondiente ajuste teórico Weibull, cuya expresión es la siguiente:

$$F_e(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x - B}{A}\right)^C\right)$$

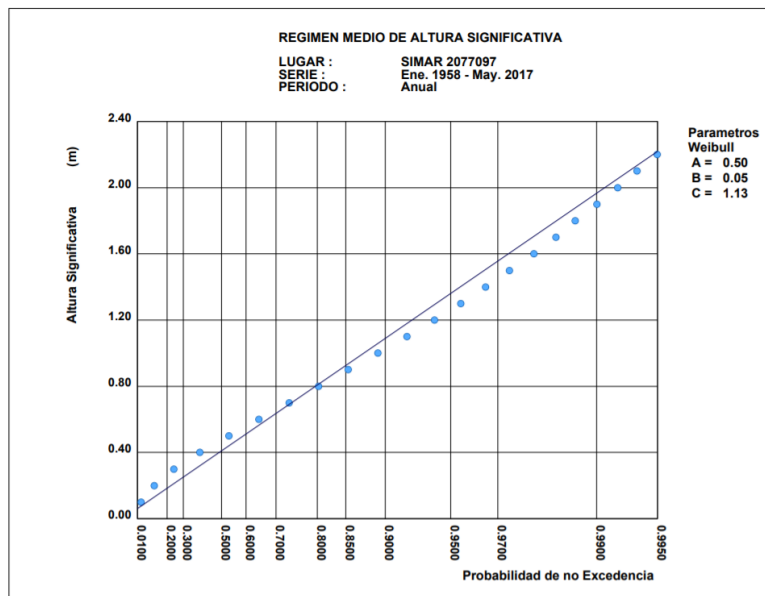


Figura 21. Distribución Weibull para la altura de ola significativa en régimen medio en el punto SIMAR S2 (2077097).
[Fuente: Puertos del Estado]

El ajuste Weibull para la dirección predominante *Este* se muestra en el siguiente gráfico. La principal diferencia con la distribución de la serie temporal completa (gráfico anterior) se observa en que la altura significativa de ola es ligeramente mayor para todas las probabilidades asociadas manteniendo una pendiente similar. En general, la altura de ola significativa será mayor en la dirección predominante de oleaje.

E

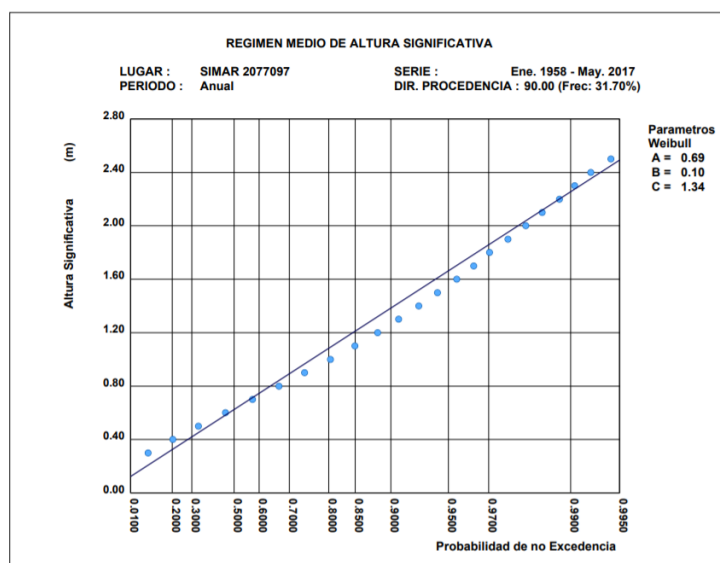


Figura 22. Distribución Weibull en la dirección predominante Este para la altura de ola significativa en régimen medio en el punto SIMAR S2 (2077097).
[Fuente: Puertos del Estado]

3.3. RÉGIMEN EXTREMAL DE OLAJE

Se describe el régimen extremal de oleaje como un modelo estadístico que describe la probabilidad con la que se puede presentar un temporal de una cierta altura de riesgo.

Como se ha expresado anteriormente, de manera general, este estudio se enmarcará en condiciones de oleaje en régimen medio. No obstante, se realizará una breve descripción del régimen extremal de la boya más cercana a la zona de estudio, únicamente a modo informativo y de caracterización de la zona.

Es de destacar que los puntos SIMAR no ofrecen información de oleaje en régimen extremal. Es por ello que para este apartado se utilizará la información del *Informe de extremos máximos de oleaje por direcciones de la Boya de Cabo de Palos* publicado por el organismo *Puertos del Estado*.

En primer lugar, se muestra el resultado del modelo extremal ajustado para la serie escalar completa. A continuación, se muestran los resultados de modelo extremal ajustado para cada una de las direcciones más relevantes observadas en la serie histórica. Para complementar este apartado, se muestra la rosa de altura significativa.

Es importante tener en consideración que en algunos casos la boya no dispuso de sensor direccional hasta tiempo después de su puesta en funcionamiento. En esas circunstancias, el periodo de tiempo con el que se hace el ajuste extremal escalar y el direccional no coincidirán.

3.3.1. Régimen escalar

El régimen escalar del oleaje extremal se representa mediante el ajuste de la distribución Weibull de los valores extremos observados. En dicho gráfico se representa la siguiente información:

- En eje de ordenadas se representa la altura de los temporales.
- En eje de abscisas se representa la probabilidad anual de superación.
- Los puntos dibujados representan la altura de los temporales observados.
- La recta representa la función de distribución Weibull ajustada.
- Las bandas representan un intervalo de 90% de confianza en la estimación del régimen extremal en periodos de retorno altos.

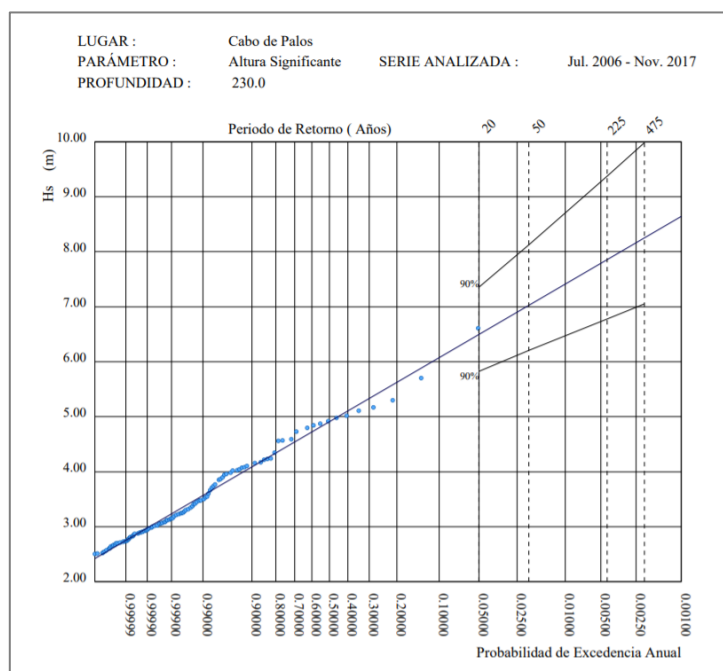


Figura 23. Régimen extremal escalar de oleaje de la Boya de Cabo de Palos.
[Fuente: Puertos del Estado]

3.3.2. Régimen direccional

Los siguientes gráficos muestran el régimen direccional de los registros extremos de oleaje en la boya de Cabo de Palos y el ajuste Weibull de la distribución de altura y periodo de oleaje asociados a esta dirección. Como se observa en las siguientes figuras, la dirección predominante es la dirección *Este*, aunque también destacan como direcciones *Noreste* y *Suroeste*. Las alturas de ola mayores se dan en el oleaje *Noreste*, con un oleaje registrado mayor de 6 m, mientras que la mayor altura de ola registrada en el oleaje *Este* es menor de 5m.

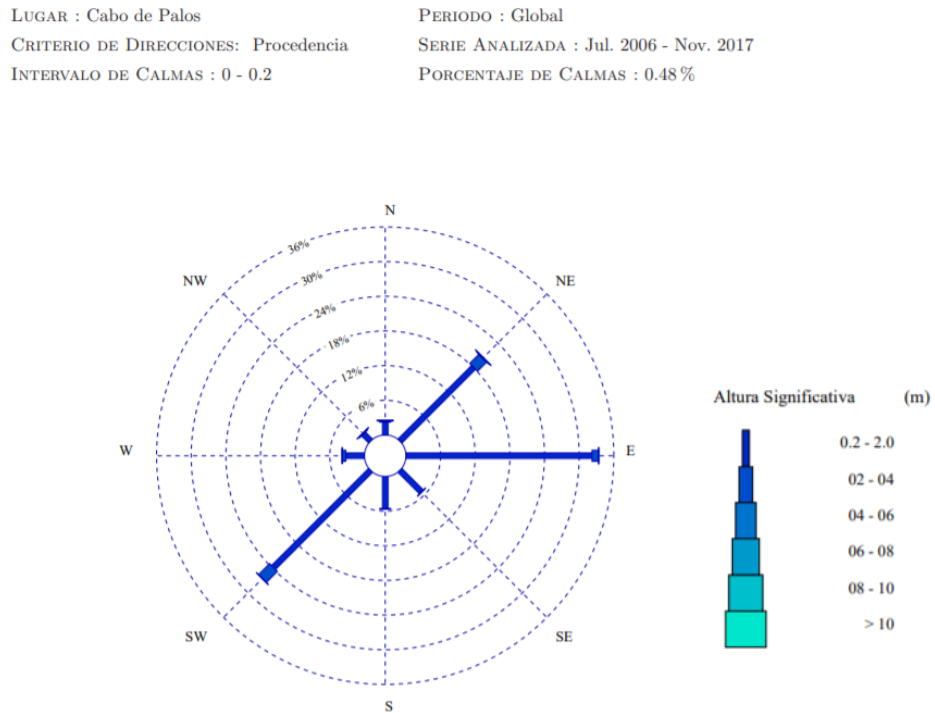


Figura 24. Rosa de oleaje del régimen extremal de la Boya de Cabo de Palos.
[Fuente: Puertos del Estado]

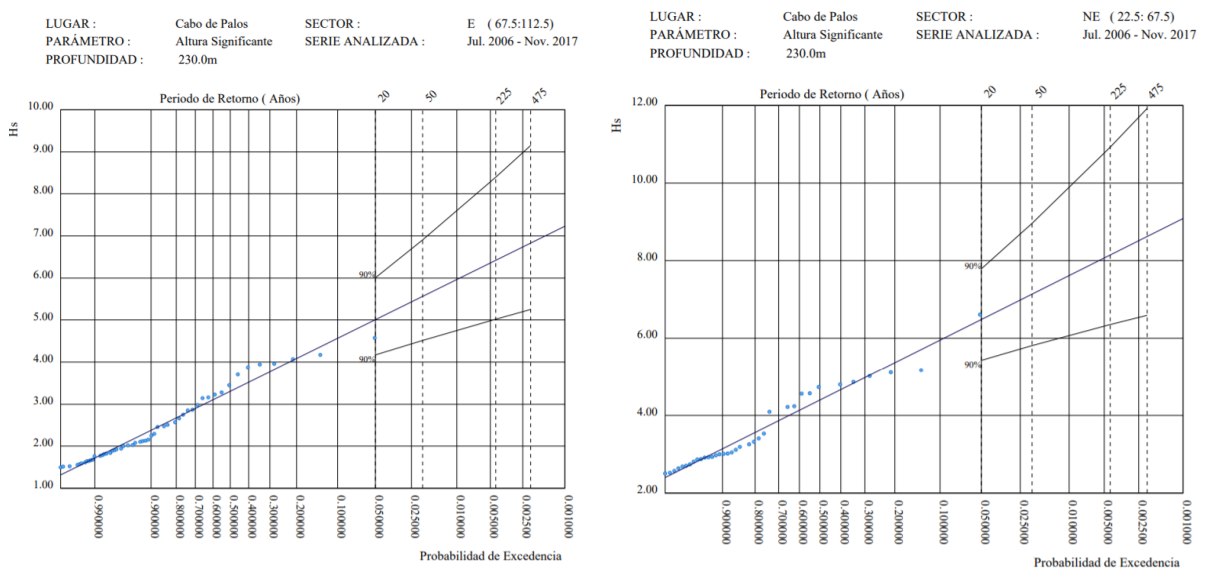


Figura 25. Régimen extremal de oleaje en la dirección predominante Este y Noreste de la Boya de Cabo de Palos.
[Fuente: Puertos del Estado]

4. PROPAGACIÓN DE OLEAJE

Partiendo de las condiciones de clima marítimo establecidas en los apartados anteriores, se realiza la propagación del oleaje por todo el ámbito de estudio con el objetivo de obtener una definición completa del oleaje característico en cada punto de la zona de análisis.

Se utiliza el modelo numérico SWAN de propagación de oleaje. Los resultados obtenidos serán utilizados posteriormente como datos de entrada del modelo MOHID Water para el modelado del sistema de corrientes y el cálculo de la dispersión de contaminantes (*Anejos n°3 y 4*).

4.1. MODELO UTILIZADO

El modelo utilizado para realizar la propagación del oleaje en la zona de estudio es el modelo SWAN desarrollado por Delft University of Technology.

SWAN es un modelo de oleaje de tercera generación que obtiene estimaciones de parámetros de olas en áreas costeras, lagos y estuarios a partir del viento, la batimetría y las condiciones de contorno. El modelo se basa en la ecuación balance de energía espectral. La herramienta incluye la modelación de los fenómenos de refracción, difracción y asomeramiento por variaciones espaciales de profundidad (Booij, y otros, 1996).

Los modelos de tercera generación no definen un espectro estático, sino que tanto la ecuación de transporte de energía, como los términos no lineales se calculan completamente a lo largo del intervalo de tiempo definido. Un de las principales mejoras respecto a los modelos de primera y segunda generación es la posibilidad de observar la evolución del espectro de frecuencias y la altura de la ola significativa (H_s) en el tiempo y en el espacio, lo cual los hace más precisos (Booij, y otros, 1996).

4.2. PARÁMETROS DE CÁLCULO

4.2.1. Batimetría

La batimetría empleada en este estudio es la publicada en el *Plan de Ecocartografías del litoral español* del Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico.

Se trata de una batimetría de detalle realizada con sonda Multihaz de la plataforma costera sumergida, a escalas 1:1.000 y 1:5.000. Se definen las isóbatas cada metro hasta los 40 metros de profundidad. Se ha utilizado la información del visor de cartas náuticas *Navionics* para definir la isóbata 100 metros.

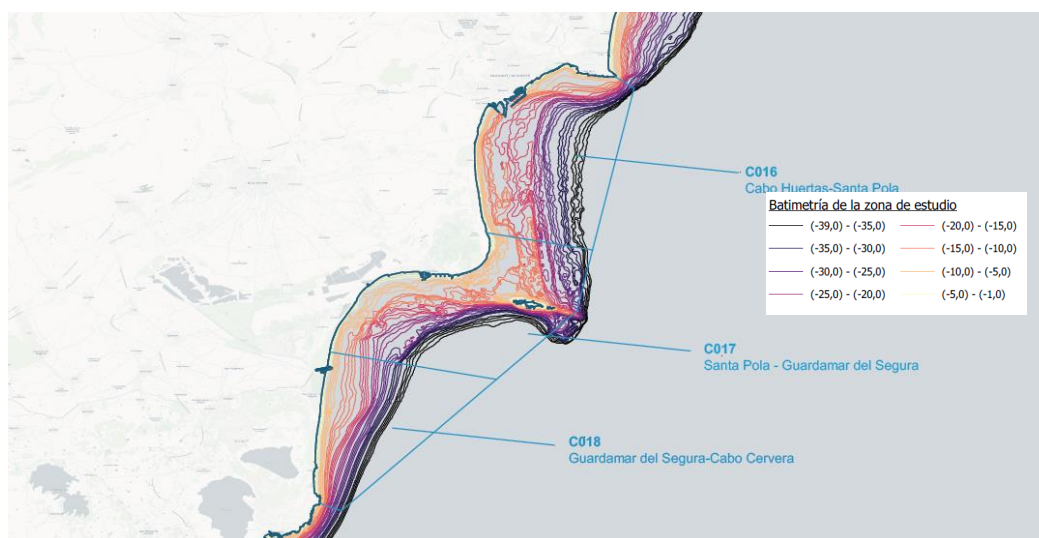
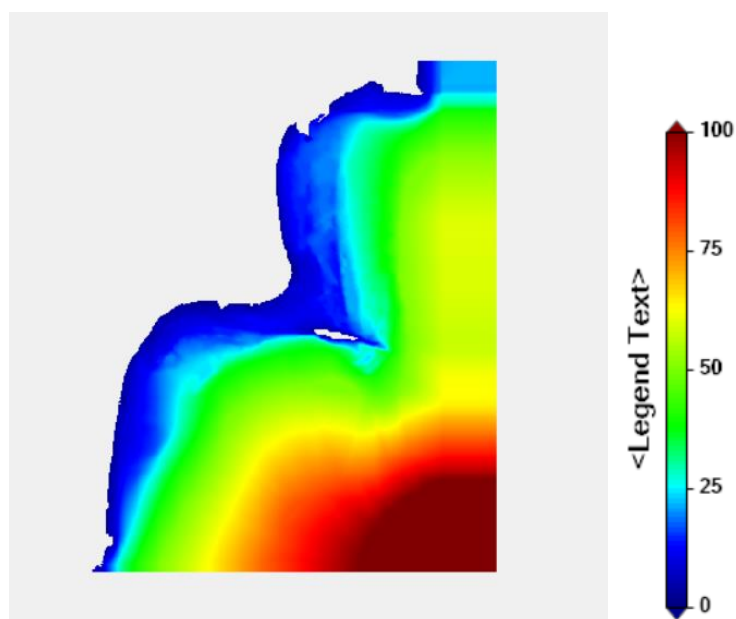


Figura 26. Batimetría de la zona de estudio.
[Fuente: Plano n°2: Batimetría de la zona de estudio]

Mediante el tratamiento de datos en programas GIS, se ha obtenido la batimetría de la zona en el formato XYZ necesario para la entrada de datos en el modelo SWAN.



*Figura 27. Batimetría utilizada en el modelo SWAN.
[Fuente: elaboración propia]*

4.2.2. Mallas de cálculo

4.2.2.1. Malla del modelo general

La malla de cálculo del modelo general ha sido una malla regular de 350 x 400 celdas, con dimensiones de 100 x 100 metros para cada celda.

El programa realizará el cálculo del oleaje con un intervalo horario definido, y asociará un valor para cada uno de los siguientes parámetros, por celda y por intervalo horario:

- Dirección media de oleaje
- Periodo pico de oleaje
- Altura significante de ola
- Componente X del tensor de radiación
- Componente Y del tensor de radiación

El tensor de radiación hace referencia al concepto establecido por Longuet-Higgins y Stewart (1964) mediante el cual se describe la interacción entre oleaje y corrientes.

4.2.2.2. Malla reducida del modelo

A causa de las limitaciones computacionales de los equipos físicos utilizados, ha sido necesario reducir la malla de cálculo para alargar el periodo de simulación. Por ello, se ha definido una malla de cálculo reducida de similares características a la malla del modelo general, pero de dimensiones menores. Se trata de una malla regular de 255 x 280 celdas, con dimensiones de 100 x 100 metros para cada celda.

De igual manera que se en el caso de la malla del modelo general, el programa realizará el cálculo del oleaje con un intervalo horario definido, y asociará un valor para cada uno de los parámetros representativos del oleaje, por celda y por intervalo horario.

4.2.3. Datos de oleaje

4.2.3.1. Definición de entrada de datos

La entrada de datos para la propagación del oleaje en SWAN se ha realizado mediante la definición horaria del oleaje en todo el contorno libre de la cuadrícula computacional. En el caso de la malla definida anteriormente, el contorno libre no condicionado por la línea de tierra es el referido a los lados Norte, Este y Sur de la malla.

En cuanto a la procedencia de datos, como se ha expresado anteriormente, para la realización de este trabajo se cuenta con datos horarios desde de oleaje y viento de los cinco puntos SIMAR indicados en los apartados anteriores.

4.2.3.2. Comparación de fuentes de datos

Para la elección de la fuente de datos más representativa se empleado la siguiente metodología:

- Como datos de partida se tiene:
 - La serie histórica de oleaje en intervalos horarios de los 5 puntos SIMAR indicados anteriormente.
 - Los resultados de las campañas de muestreo para el control de parámetros de las masas de agua costera realizadas por IIAMA-UPV en el periodo 2005-2018.
- Se han seleccionado los periodos de simulación para los que se realizará el modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water. Como se describe en el *Anejo nº4*, en el apartado 5. *Descripción de las simulaciones*, se han definido dos simulaciones para cada periodo analizado (3 periodos, 6 simulaciones):

| | SIMULACIÓN | | | FECHA INICIO | FECHA FIN |
|-----------|--------------|---------|---------|--------------|------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | 11-09-2016 | 26-09-2016 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | 04-09-2016 | 26-09-2016 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | 08-07-2014 | 23-07-2014 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | 01-07-2014 | 23-07-2014 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | 02-07-2012 | 17-07-2012 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | 26-06-2012 | 17-07-2012 |

*Tabla 3. Escenario y simulaciones realiza en los modelos SWAN y Mohid Water.
[Elaboración propia]*

- Se han tomado las 48 horas anteriores a cada periodo y se han supuesto los siguientes escenarios de simulación:
 - **Escenario 1:** Entrada de condiciones de oleaje del punto SIMAR S2
 - **Escenario 2:** Entrada de condiciones de oleaje del punto SIMAR S3
 - **Escenario 3:** Entrada de condiciones de oleaje del punto SIMAR S4
 - **Escenario 4:** Entrada de condiciones de oleaje de la mediana de los datos de los puntos SIMAR S1, S2, S3, S4, S5.

Cabe destacar que se ha descartado análisis de los escenarios con los datos de entrada de los puntos SIMAR S1 y S5 por ubicarse en los extremos de la zona de estudio y, por tanto, ser menos representativos de las condiciones de oleaje de la totalidad de la zona estudiada.

- En cada simulación se han tomado los propios puntos SIMAR como puntos de control. Se han obtenido los resultados horarios de cada simulación y se han comparado con los datos horarios ofrecidos por *Puertos del Estado*. La siguiente tabla muestra la variación porcentual entre las simulaciones realizadas con SWAN y los datos de los 5 Puntos SIMAR.

| ESCENARIO | PERIODO | Hs | Tp | DIR |
|---|------------------|--------------|-------------|--------------|
| ESCENARIO 1 SIMAR S2 | 18/07/2012 - 48h | 8.3% | 5.6% | 20.5% |
| | 23/07/2017- 48h | 5.4% | 5.2% | 22.3% |
| | 26/09/2016- 48h | 7.3% | 3.1% | 24.8% |
| | MEDIA | 7.0% | 4.6% | 22.5% |
| ESCENARIO 2 SIMAR S3 | 18/07/2012- 48h | 12.3% | 9.6% | 19.3% |
| | 23/07/2017- 48h | 10.5% | 10.4% | 20.6% |
| | 26/09/2016- 48h | 13.6% | 7.2% | 17.4% |
| | MEDIA | 12.1% | 9.1% | 19.1% |
| ESCENARIO 3 SIMAR S4 | 18/07/2012- 48h | 9.6% | 4.3% | 31.6% |
| | 23/07/2017- 48h | 10.8% | 5.8% | 29.8% |
| | 26/09/2016- 48h | 8.6% | 5.6% | 28.4% |
| | MEDIA | 9.7% | 5.2% | 29.9% |
| ESCENARIO 4 MEDIANA SIMAR S1, S2, S3, S4 Y S5 | 18/07/2012- 48h | 11.3% | 9.2% | 26.5% |
| | 23/07/2017- 48h | 13.8% | 8.5% | 32.5% |
| | 26/09/2016- 48h | 12.1% | 7.9% | 28.2% |
| | MEDIA | 12.4% | 8.5% | 29.1% |

*Tabla 4. Comparación de resultados para la elección de la fuente de datos para el modelo SWAN.
[Fuente propia]*

En base a los resultados de la tabla anterior, los datos de entrada de oleaje en el modelo SWAN que ofrecen mejores resultados han sido los referentes al punto SIMAR S2 (2077097), definidos en contorno libre del modelo de propagación. Por tanto, serán los datos del punto SIMAR S2 los utilizados en el modelo de propagación para todas las simulaciones realizadas.

4.3. RESULTADOS OBTENIDOS

Como se ha comentado anteriormente, los resultados ofrecidos por el modelo SWAN para cada una de las simulaciones se han calculado con un intervalo horario definido (1h) y se almacenan en archivos HDF asociando un valor por celda por parámetros y por intervalo horario. Los parámetros son los siguientes:

- Dirección media de oleaje
- Periodo pico de oleaje
- Altura significativa de ola
- Componente X del tensor de radiación
- Componente Y del tensor de radiación

Se realiza una simulación de propagación del oleaje asociada a cada simulación que se realiza con el modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water. El archivo resultante de las simulaciones de propagación del oleaje será una de las entradas principales para el modelo Mohid Water.

Como se ha comentado anteriormente y se describe en el *Anejo nº4* (apartado 5. *Descripción de las simulaciones*), se han realizado dos simulaciones para cada periodo analizado. Un total de 3 periodos y 2 simulaciones por periodo: 15 días y 22 días (malla general y malla reducida respectivamente).

Puesto que los archivos HDF contienen una gran cantidad de datos, no es posible adjuntarlos en el formato de este documento. En la siguiente tabla se numeran los archivos HDF obtenidos. Las *Figuras 28 y 29* muestran dos ejemplos de los resultados que se obtienen en los archivos HDF.

| SIMULACIÓN | | | | MAJLA | RESULTADO |
|------------|--------------|---------|---------|-----------------------------|-----------------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 1 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 2 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 3 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 4 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 5 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 6 |

Tabla 5. Escenario y simulaciones realizadas en los modelos SWAN y Mohid Water.
[Elaboración propia]

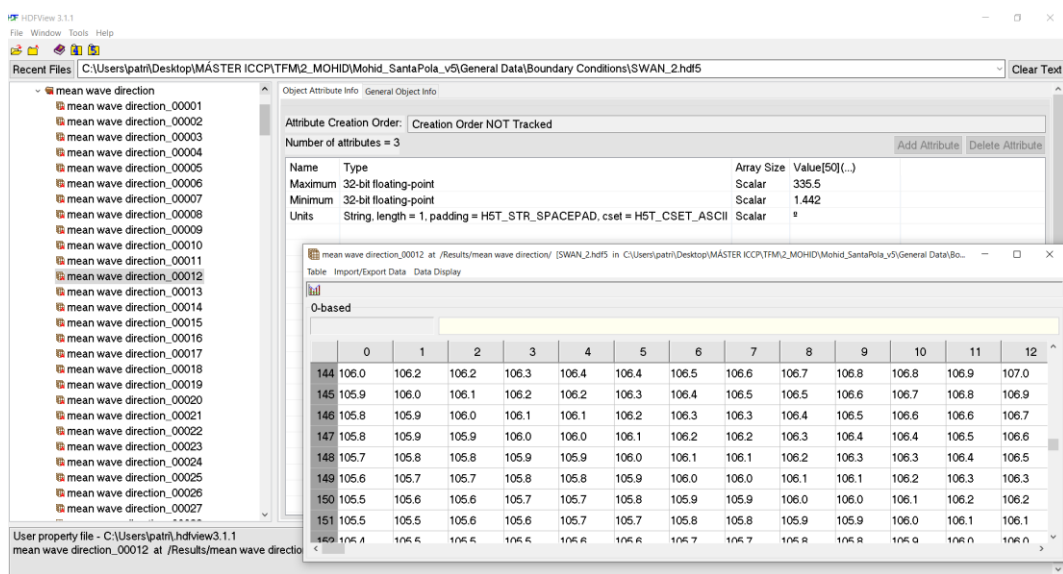


Figura 28. Ejemplo de los resultados del parámetro “dirección media de oleaje” de la propagación del oleaje obtenida por SWAN.
[Elaboración propia]

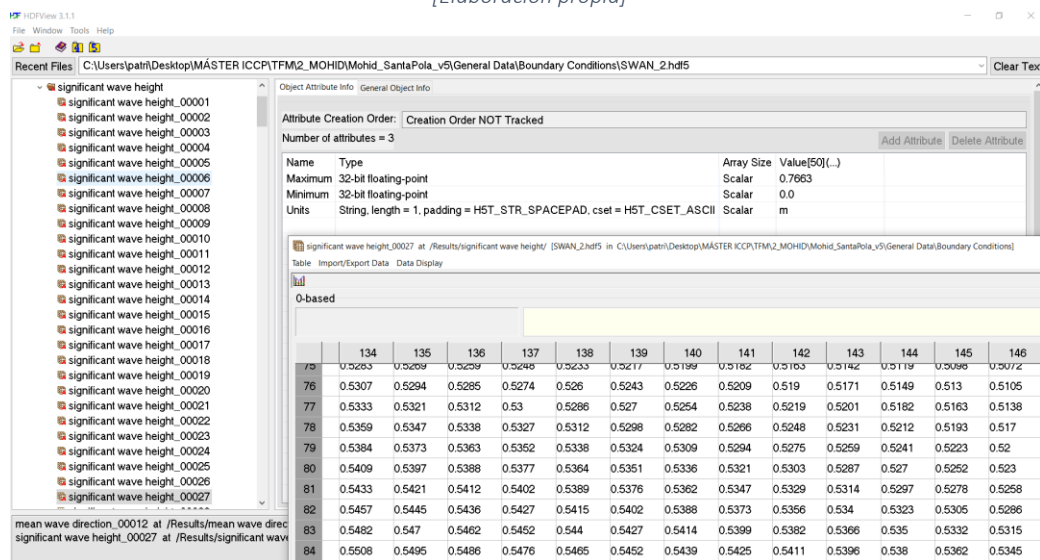


Figura 29. Ejemplo de los resultados del parámetro “altura de ola significativa” de la propagación del oleaje obtenida por SWAN.
[Elaboración propia]

5. CONCLUSIÓN

En resumen, el presente anejo se ha centrado en la definición del clima marítimo de la zona y la propagación del oleaje por todo el ámbito de estudio.

En cuanto al análisis del nivel del mar, se define el Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA) como nivel de referencia empleado para todo el estudio. No obstante, también se utilizará el esquema Datum del Mareógrafo de Gandía para la definición de algunos parámetros de entrada del modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water (*Anejo nº4*).

El análisis de oleaje realizado se centra en la definición de las condiciones de clima marítimo en régimen medio, ya que, de manera general, este estudio se enmarcará en este régimen de oleaje. No obstante también se realiza una breve descripción del régimen extremal de la boya más cercana a la zona de estudio, únicamente a modo informativo y para una mayor definición de área de análisis.

Se selecciona el punto SIMAR S2 (2077097) como el más representativo para la descripción del régimen medio de oleaje de la zona de estudio. El análisis realizado determina que las direcciones *Este*, *Este-Sureste* y *Este-Noreste* se definen como las direcciones predominantes del oleaje. Además, se caracterizan los parámetros *Altura de Ola Significante* y *Periodo Pico* propios del oleaje en régimen medio de la zona de estudio.

Por último y partiendo de las condiciones de clima marítimo establecidas, se realiza la propagación del oleaje por todo el ámbito de estudio con el objetivo de obtener una definición completa del oleaje característico en cada punto de la zona de análisis.

La propagación del oleaje se realiza con el modelo numérico SWAN. Los resultados obtenidos serán utilizados como datos de entrada para el modelo de dispersión de contaminantes MOHID Water.

Por limitaciones computacionales, ha sido necesario definir dos mallas de cálculo, una malla del modelo general y una malla reducida. En esta última se reduce el área de computación y con el fin de alargar el periodo de simulación.

Finalmente, se han realizado seis simulaciones de propagación de oleaje: 3 periodos de análisis y 2 simulaciones por periodo, con un mallado y una extensión temporal diferente. Los resultados obtenidos por el modelo SWAN para cada una de las simulaciones se calculan con un intervalo horario definido y se almacenan en archivos HDF asociando un valor por celda, por parámetros y por intervalo horario. Los parámetros que han sido propagados por toda la extensión de la zona de estudio son: *Dirección media de oleaje*, *Periodo pico de oleaje*, *Altura significativa de ola*, *Componente X del tensor de radiación* y *Componente Y del tensor de radiación*.

ANEJO Nº 3.

DINÁMICA LITORAL

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------|--|-----------|
| 1. | OBJETO | 5 |
| 2. | CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO | 5 |
| 2.1. | BATIMETRÍA Y MORFOLOGÍA DE LOS FONDOS MARINOS | 5 |
| 2.2. | CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE | 5 |
| 2.3. | CAMPAÑAS DE MUESTREO IIAMA-UPV | 5 |
| 2.3.1. | Estudio de estacionalidad | 10 |
| 3. | PRINCIPIOS FÍSICOS DEL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO..... | 15 |
| 4. | CÁLCULO ANALÍTICO DEL TRANSPORTE DE PARTÍCULAS..... | 16 |
| 4.1. | TEORÍA DEL TRANSPORTE DE MASA EN MEDIOS MARINOS | 16 |
| 4.2. | CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TRANSPORTE DE PARTÍCULAS | 18 |
| 5. | SISTEMA DE CORRIENTES..... | 26 |
| 5.1. | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE MODELACIÓN | 27 |
| | SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días..... | 28 |
| | SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días..... | 29 |
| | SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días..... | 30 |
| 5.2. | SÍNTESIS DE RESULTADOS DE MODELACIÓN DE CORRIENTES..... | 31 |
| 6. | CONCLUSIÓN | 31 |

APÉNDICE 1. CONJUNTO DE RESULTADOS GRÁFICOS DEL SISTEMAS DE CORRIENTES.

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo de la zona de estudio..... | 6 |
| Figura 2. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio..... | 9 |
| Figura 3. Concentración de clorofila (percentil 90) en las estaciones de muestreo de la masa de agua C017. | 10 |
| Figura 4. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2005-2018..... | 11 |
| Figura 5. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2005-2010..... | 11 |
| Figura 6. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2011-2018..... | 12 |
| Figura 7. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo..... | 13 |
| Figura 8. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo 2005-2010..... | 13 |
| Figura 9. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo 2011-2018..... | 14 |
| Figura 10. Teoría de Airy de la trayectoria de partículas en aguas profundas..... | 16 |
| Figura 11. Teoría de Airy de la trayectoria de partículas en aguas intermedias y poco profundas..... | 16 |
| Figura 12. Teoría de la deriva de Stokes para la trayectoria de partículas..... | 17 |
| Figura 13. Polígono funicular de la trayectoria de las partículas de las 48 horas anteriores a la toma de muestra en la campaña 14-11-2018..... | 19 |
| Figura 14. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C016..... | 20 |
| Figura 15. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C017..... | 20 |
| Figura 16. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C018..... | 21 |
| Figura 17. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP115 (masa de agua C017). | 22 |
| Figura 18. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP118 (masa de agua C017). | 23 |
| Figura 19. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP119 (masa de agua C017). | 24 |
| Figura 20. Composición de las estimaciones de procedencia de partículas en las estaciones de la masa de agua C017..... | 25 |
| Figura 21. Armónicos de marea de la zona de estudio obtenidos mediante el modelo FES2004. | 26 |

| | |
|---|----|
| Figura 22. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 25/09/2016. | 28 |
| Figura 23. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 26/09/2016. | 28 |
| Figura 24. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 22/07/2014. | 29 |
| Figura 25. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 23/07/2014. | 29 |
| Figura 26. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 17/07/2012. | 30 |
| Figura 27. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 18/07/2012. | 30 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Distribución de la concentración de clorofila en las campañas de muestreos 2005-2018 en las masas de agua costera C016, C017 y C018. | 8 |
| Tabla 2. Concentración de clorofila en las muestras adicionales de Gola y Vinalopó. | 8 |
| Tabla 3. Límites para indicadores de masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015. | 9 |
| Tabla 4. Relación de datos de procedencia de los parámetros representativos para cada estación de muestreo. | 18 |
| Tabla 5. Simulaciones realizadas para el modelado de corrientes con Mohid Water. | 27 |

1. OBJETO

El presente anejo tiene por objeto realizar el análisis de la dinámica litoral de la de la zona de estudio referente al Trabajo Fin de Máster que lleva por título “*Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión*”.

En el análisis de dinámica litoral toma como base los estudios de clima marítimo y la propagación del oleaje definidos en el *Anejo nº2* de este trabajo. Con el objetivo de obtener una primera aproximación de la procedencia de las partículas de contaminación que alcanzan las estaciones de muestreo de la masa de agua C017 donde se han detectado los valores elevados de *Fitoplancton*, se realiza el cálculo del transporte de partículas por métodos analíticos.

Finalmente, mediante la herramienta MOHID Water, se modelan las corrientes de la zona para los periodos estudiados, las cuales se tomarán como base para el modelado del transporte de contaminantes descrito en el *Anejo nº4*.

2. CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO

2.1. BATIMETRÍA Y MORFOLOGÍA DE LOS FONDOS MARINOS

En los apartados 2.1 y 3.2 del *Anejo nº1* se describe la batimetría definida para el ámbito de estudio y la morfología propia de los fondos marinos de la zona. Además, los planos *Plano nº2: Batimetría y Plano nº3: Morfología Marina* muestran con alto grado de detalle la distribución espacial de estas características en la zona de estudio.

2.2. CLIMA MARÍTIMO Y PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

El *Anejo nº2* de este estudio incluye un completo análisis del clima marítimo propio de la zona de estudio. Además, en ese mismo anejo se ha describe la propagación del oleaje realizada por todo el ámbito de estudio mediante el modelo de cálculo SWAN.

2.3. CAMPAÑAS DE MUESTREO IIAMA-UPV

El *Anejo nº1* describe su el apartado 3.5. el estado ecológico de las masas de agua objeto de este estudio, el cual ha sido analizado y definido por el Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente del a UPV (IIAMA-UPV) mediante campañas de control de parámetros físico-químicos y biológicos durante el periodo 2005-2018.

En base a las campañas realizadas, se han identificado valores por encima del límite establecido del indicador *Fitoplancton* en la masa de agua C017 (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018), siendo el exceso de este indicador lo que motiva la realización de este estudio.

Para la realización de este trabajo, se dispone de la serie completa de datos de las campañas de muestreo realizadas por el IIAMA-UPV para las tres masas de agua en las que se centra este estudio (C016, C017 y C018) durante el periodo de análisis 2005-2018.

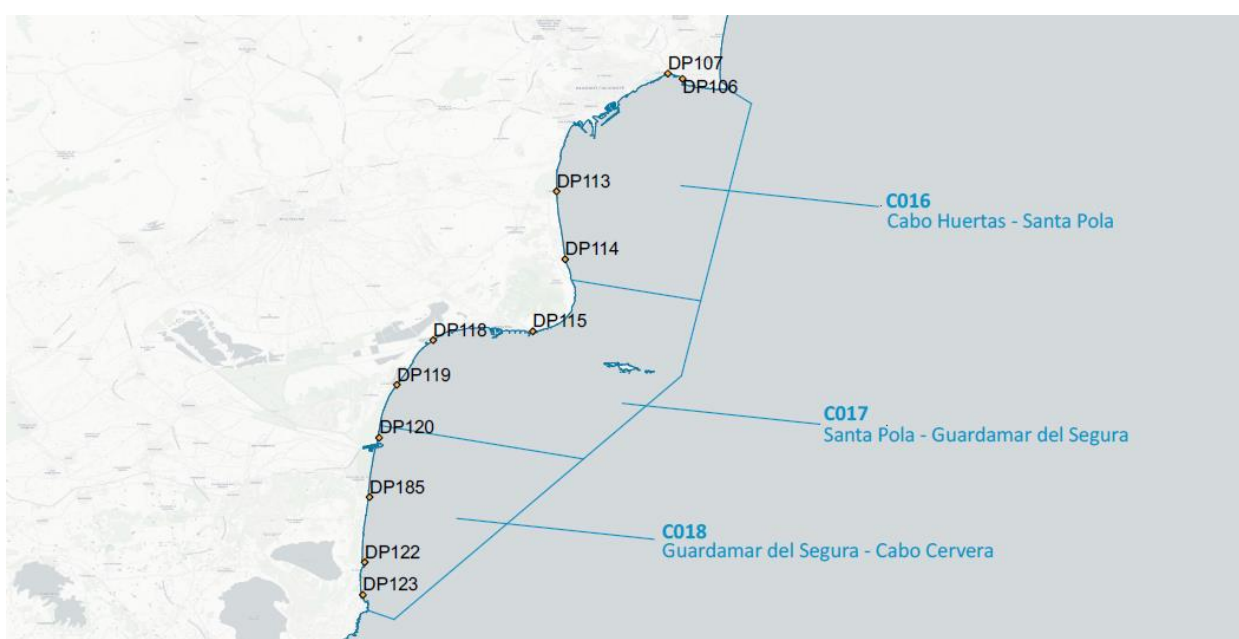
Seguidamente, se muestran los datos de los que se dispone a través de la exposición de una serie de figuras y tablas que son el resultado del tratamiento de los datos para su interpretación:

- Ubicación de **11 estaciones** de muestreo de las **3 masas de agua** estudiadas (ver *Plano nº8: Localización de las estaciones de muestreo*):
 - Masa de agua C016: estaciones DP106, DP107, DP113, DP114.
 - Masa de agua C017: estaciones DP115, DP118, DP119.
 - Masa de agua C018: estaciones DP120, DP122, DP123, DP185.

- Número de campañas realizadas en el periodo 2005-2018: **76 campañas**.

El término “campaña” se utiliza para referirse al número de días en los que se han recogido muestras. En general, por cada día o campaña se recogen muestras en todas las estaciones (11 estaciones), por lo que en general se tienen 11 muestras por campaña.

Cabe destacar que las campañas de muestreo no se han realizado de manera regular a lo largo del periodo de estudio: en los primeros años se han realizado campañas de forma mensual cada año, mientras que en los últimos años se han realizado de 2 a 4 campañas de manera bianual.



*Figura 1. Localización de las estaciones de muestreo de la zona de estudio.
[Fuente: Plano nº9: Localización de las estaciones de muestreo]*

- En general, en cada campaña se analiza una muestra tomada en cada una de las estaciones de muestreo definidas anteriormente: **1 muestras por estación (11 estaciones) por campaña (76 campañas) = 834 muestras**

No obstante, por razones no especificadas, no se han tomado/analizado las 834 muestras, no registrándose datos en 257 ocasiones.

- Número de muestras analizadas: **577 muestras (834 posibles muestras - 257 datos no registrados)**.

En todas las muestras se analizan los siguientes indicadores: Temperatura, Turbidez, pH, Salinidad, Amonio, Nitrito, Nitrato, PSR (Fósforo, Soluble, Reactivo) y Clorofila.

Como se indica en el *Informe 2018 IIAMA-UPV*, todos los indicadores se encuentran dentro de los límites establecidos por la Directiva Marco del Agua para alcanzar un estado “Bueno” de las masas de agua analizadas, excepto el indicador Clorofila en la masa de agua C017. (Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA - UPV), 2018)

- Número de muestras en las que se ha detectado gran cantidad de restos vegetales, y por tanto no son muestras representativas de los indicadores clorofila y turbidez: **26 muestras (de 577 muestras)**.

Cabe destacar que si en el momento de recogida de muestras se observa la existencia de gran cantidad de restos vegetales (algas en suspensión), los indicadores de turbidez y la clorofila no son válidos y por tanto no deben de incluirse en el análisis de datos de este estudio.

- Número de muestras analizadas válidas: **551 muestras (577 muestras iniciales - 26 muestras no válidas)**.
- Número de muestras en las que se ha detectado un exceso del indicador clorofila: **66 muestras (de 551 muestras)**.

La siguiente tabla muestra con mayor detalle los resultados del indicador clorofila en las campañas de muestreos realizadas durante el periodo 2005-2018. Se indica también las muestras no representativas del indicador clorofila por la gran cantidad de restos vegetales en ellas con el texto “Restos vegetales”. También se observa la distribución de los datos no registrados, que principalmente se concentran en las estaciones 106, 114, 118, 120, 122 y 185, en los primeros años (2005-2007) y en las estaciones de la masa de agua C018 (120, 122, 123, 185) en el último periodo (2012-2018).

| DISTRIBUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA (µg/L) | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AÑO | CAMPAÑA (MES-AÑO) | C016 | | | | C017 | | | C018 | | | |
| | | DP106 | DP107 | DP113 | DP114 | DP115 | DP118 | DP119 | DP120 | DP122 | DP123 | DP185 |
| 2005 | 08-05 | 2.42 | 2.56 | 6.24 | 1.55 | 1.53 | 1.15 | 1.75 | 2.84 | 2.14 | 2.09 | - |
| | 10-05 | - | 1.91 | 1.80 | - | 0.79 | - | 1.34 | - | - | 0.74 | - |
| | 11-05 | - | 7.77 | 1.39 | - | 1.14 | - | 0.74 | - | - | 0.78 | - |
| | 12-05 | - | 2.45 | 4.91 | - | 1.65 | - | 1.18 | - | - | 1.63 | - |
| 2006 | 01-06 | - | 1.68 | 1.14 | - | - | - | 1.54 | - | - | 1.59 | - |
| | 02-06 | - | - | 0.36 | - | 1.42 | - | 5.22 | - | - | 0.98 | - |
| | 03-06 | - | - | 1.41 | - | 1.14 | - | 4.30 | - | - | 2.14 | - |
| | 04-06 | - | 1.37 | 2.44 | - | 2.89 | - | 3.31 | - | - | 1.09 | - |
| | 05-06 | - | 1.76 | 2.55 | - | 1.28 | - | 1.20 | - | - | 2.22 | - |
| | 06-06 | - | 1.44 | 4.79 | - | 0.88 | - | 1.11 | - | - | - | - |
| | 07-06 | - | 1.20 | 5.38 | - | 0.54 | - | 0.85 | - | - | 2.08 | - |
| | 08-06 | - | 1.19 | 2.79 | - | 1.96 | - | 1.76 | - | - | 1.92 | - |
| | 09-06 | - | Restos vegetales | 1.30 | - | 1.31 | - | 1.15 | - | - | 0.93 | - |
| | 10-06 | - | 2.87 | 2.36 | - | 0.84 | - | 1.98 | - | - | 1.53 | - |
| | 11-06 | - | - | 1.82 | - | 2.75 | - | 1.67 | - | - | 0.94 | - |
| | 12-06 | - | 2.70 | 3.59 | - | - | - | 1.64 | - | - | 1.47 | - |
| | 2007 | 01-07 | - | - | 1.51 | - | - | - | 1.13 | - | - | - |
| 02-07 | | 2.15 | - | 3.39 | 1.55 | - | 1.88 | 3.81 | 4.63 | 1.96 | 3.31 | - |
| 03-07 | | 0.85 | - | 1.31 | 1.70 | 0.75 | 0.56 | 1.30 | 1.02 | 2.65 | 1.30 | - |
| 04-07 | | 2.86 | 1.90 | 5.62 | 3.90 | 1.69 | 1.08 | 1.34 | 4.43 | 2.35 | 1.35 | - |
| 05-07 | | - | - | 1.25 | 0.78 | 0.63 | 1.06 | 0.62 | 1.66 | 0.46 | 0.93 | - |
| 06-07 | | 2.43 | - | 2.99 | 0.73 | - | 1.90 | 1.65 | - | 0.81 | 0.82 | - |
| 07-07 | | 3.03 | 6.22 | - | - | 11.69 | 1.43 | 1.73 | 1.81 | 0.54 | 0.90 | - |
| 08-07 | | 5.21 | 2.28 | Restos vegetales | 5.00 | 5.44 | 2.47 | 3.38 | 2.15 | 1.70 | 3.91 | - |
| 09-07 | | Restos vegetales | Restos vegetales | 4.23 | 2.74 | 1.94 | 2.74 | 2.56 | 1.53 | - | 0.95 | - |
| 10-07 | | Restos vegetales | Restos vegetales | - | 4.52 | Restos vegetales | 5.38 | 2.32 | - | - | - | - |
| 11-07 | | 1.23 | 1.65 | 1.11 | 1.59 | 1.48 | 1.22 | 0.77 | - | 0.42 | 0.49 | - |
| 12-07 | | 4.91 | 2.08 | 1.45 | 1.39 | Restos vegetales | Restos vegetales | 4.94 | 1.85 | - | 1.51 | - |
| 2008 | 01-08 | 0.82 | 0.90 | 1.74 | 1.20 | 1.15 | 1.13 | 0.64 | - | 0.23 | 0.63 | - |
| | 02-08 | 3.80 | 1.48 | 1.43 | 1.09 | 1.76 | 2.36 | 1.83 | 1.42 | 1.12 | 1.15 | - |
| | 03-08 | 8.75 | - | 0.95 | 1.26 | 2.04 | - | 0.92 | 1.96 | 1.06 | 0.81 | - |
| | 04-08 | - | 6.42 | 2.34 | 2.17 | 2.18 | 2.30 | 8.24 | 10.06 | 1.53 | 3.80 | - |
| | 05-08 | 1.69 | 1.83 | 2.16 | 1.24 | 1.01 | 3.16 | 2.32 | 1.81 | 0.76 | 0.73 | - |
| | 06-08 | 4.27 | - | Restos vegetales | 1.38 | 1.90 | 4.26 | 2.00 | 2.95 | 0.96 | 1.10 | - |
| | 08-08 | 4.97 | 2.05 | 7.07 | 1.55 | 2.78 | 1.30 | 3.91 | 2.55 | 1.64 | 1.73 | 2.59 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------|-------|------------------|------------------|------------------|
| | 09-08 | 2.67 | Restos vegetales | 1.91 | 0.73 | 1.11 | 1.53 | 1.04 | 1.08 | 0.39 | 0.52 | 0.54 |
| | 10-08 | Restos vegetales | - | 1.75 | 1.33 | 6.00 | 2.39 | 1.55 | 2.00 | 0.80 | 1.06 | 2.02 |
| | 12-08 | 1.05 | 1.12 | 1.84 | 2.12 | 1.23 | 3.94 | 2.39 | 2.45 | Restos vegetales | 2.19 | 2.60 |
| 2009 | 01-09 | 0.89 | 1.78 | 0.88 | 0.92 | 1.91 | 1.24 | 1.58 | 1.86 | 1.40 | - | 2.08 |
| | 02-09 | - | - | 6.86 | 1.07 | 1.20 | 1.44 | 1.06 | 1.29 | 0.57 | 0.98 | 1.43 |
| | 03-09 | 1.00 | - | 0.74 | 0.42 | - | 1.15 | 2.09 | 1.28 | 0.22 | 0.55 | 0.52 |
| | 04-09 | 0.59 | 1.50 | 0.49 | 0.24 | 2.08 | 1.72 | 2.12 | 1.64 | 0.30 | 1.00 | 1.36 |
| | 05-09 | 0.83 | - | 2.99 | 1.34 | 0.54 | 1.40 | 1.89 | 4.41 | 0.94 | 0.82 | 0.44 |
| | 06-09 | 2.78 | 1.95 | 2.70 | 0.10 | 0.72 | Restos vegetales | 0.88 | 1.83 | 0.73 | 0.64 | 0.78 |
| | 07-09 | 1.95 | 1.00 | 1.24 | 0.82 | 1.52 | 0.39 | 0.98 | 2.52 | 0.46 | 0.56 | 0.69 |
| | 08-09 | 1.17 | 1.37 | 1.38 | 0.58 | 1.39 | 0.62 | 0.95 | 1.99 | 0.38 | 0.58 | 0.91 |
| | 09-09 | 2.35 | 2.62 | 2.66 | 2.84 | 3.03 | 1.68 | 1.12 | 1.98 | - | 2.01 | 2.84 |
| | 10-09 | 1.79 | 1.42 | 2.72 | 2.70 | 3.41 | 12.87 | 3.38 | 5.06 | - | - | 2.28 |
| | 11-09 | 0.55 | 7.15 | 1.33 | 0.63 | 2.32 | 4.38 | 1.39 | 1.52 | - | 0.35 | 0.58 |
| | | 12-09 | 1.73 | 2.88 | 1.23 | 2.23 | Restos vegetales | 3.88 | 2.30 | 1.33 | 0.66 | 0.66 |
| 2010 | 01-10 | - | - | - | 4.72 | - | - | 8.56 | 5.34 | 3.57 | 3.72 | 2.98 |
| | 02-10 | 1.20 | - | 1.28 | - | Restos vegetales | 2.15 | 1.99 | - | Restos vegetales | Restos vegetales | 1.88 |
| | 03-10 | - | - | 3.44 | 3.00 | - | - | 3.72 | - | - | 1.87 | 2.89 |
| | 04-10 | - | Restos vegetales | 2.18 | 0.40 | 1.27 | 3.13 | 1.45 | 4.96 | - | - | 2.75 |
| | 05-10 | 0.79 | 0.40 | 0.52 | 0.59 | 0.35 | - | 3.93 | 2.59 | - | 0.68 | - |
| | 06-10 | 1.20 | 1.86 | 2.21 | 0.23 | 2.53 | 3.20 | 2.64 | 3.97 | 0.68 | - | 1.72 |
| | 07-10 | 1.97 | 1.51 | 2.40 | - | 5.08 | 0.41 | 4.47 | 5.23 | 1.91 | 1.86 | - |
| | 09-10 | 3.46 | 3.58 | 2.08 | - | 1.03 | 4.18 | 9.07 | 10.28 | 2.90 | 2.32 | Restos vegetales |
| | 10-10 | 0.96 | 1.32 | 0.82 | - | 0.64 | 2.71 | 1.03 | 1.31 | 1.96 | 0.89 | 0.65 |
| | 11-10 | 1.02 | 1.27 | 2.51 | - | 0.93 | 3.22 | 2.05 | 4.89 | 0.82 | 1.36 | 2.22 |
| | 12-10 | 0.92 | 0.66 | 2.99 | - | 0.70 | 2.28 | 1.58 | 1.93 | 2.95 | 2.08 | 1.57 |
| | 2011 | 01-11 | 1.11 | 0.68 | 3.48 | - | - | 0.92 | 0.98 | 3.21 | 0.33 | 1.61 |
| 02-11 | | 1.11 | 0.68 | 3.48 | 2.87 | - | - | - | - | - | - | - |
| 05-11 | | - | - | 5.68 | 1.17 | - | - | - | - | - | - | - |
| 07-11 | | - | - | 0.64 | 2.02 | - | - | - | - | - | - | - |
| 10-11 | | - | - | 2.58 | 0.61 | - | - | - | - | - | - | - |
| 2012 | 02-12 | - | - | - | - | 0.74 | 4.87 | 1.23 | - | 1.25 | 0.84 | 1.73 |
| | 07-12 | 3.40 | - | 2.04 | 0.91 | 4.06 | - | 0.80 | - | 1.01 | 0.72 | 1.57 |
| 2014 | 03-14 | 0.42 | 2.12 | 0.69 | 0.72 | 3.23 | 0.61 | 1.73 | - | - | - | - |
| | 05-14 | 1.43 | 0.28 | 2.94 | 0.33 | 2.92 | 0.36 | 3.28 | - | - | - | - |
| | 07-14 | 0.88 | 3.32 | 1.02 | 0.67 | 3.92 | 0.29 | 2.26 | - | - | - | - |
| | 11-14 | 0.49 | 1.87 | 0.73 | 0.48 | 3.00 | 0.39 | 0.96 | - | - | - | - |
| 2016 | 09-16 | 0.79 | 1.36 | 1.46 | 0.24 | 4.13 | 2.30 | 2.78 | - | - | - | - |
| | 12-16 | 1.39 | 0.75 | 3.37 | 1.63 | 3.12 | 1.21 | 1.53 | - | - | - | - |
| 2018* | 10-18 | 2.41 | 2.18 | Restos vegetales | Restos vegetales | 0.82 | 0.99 | 0.86 | - | - | - | - |
| | 11-18 | 1.02 | Restos vegetales | Restos vegetales | Restos vegetales | Restos vegetales | 2.87 | 2.48 | - | - | - | - |

Tabla 1. Distribución de la concentración de clorofila en las campañas de muestreos 2005-2018 en las masas de agua costera C016, C017 y C018.

[Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

* El en la campaña de 2018 de la masa de agua C017, se recogieron tres muestras adicionales como se muestra en la siguiente tabla (ver *Figura 6 del Anjeo n°1* para su localización):

| *AÑO 2018 | | | |
|------------|----------|--------------|--|
| FECHA | ESTACIÓN | MASA DE AGUA | CONCENTRACIÓN CLOROFILA (mg/m ³) |
| 14/11/2018 | Vinalopó | C017 | 58.84 |
| 14/11/2018 | Gola118 | C017 | 13.67 |
| 10/10/2018 | Gola118 | C017 | 4.17 |

Tabla 2. Concentración de clorofila en las muestras adicionales de Gola y Vinalopó.

[Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

- Por último, los siguientes gráficos ofrecen información acerca de la concentración de clorofila (percentil 90 de las series anuales) durante el periodo de estudio 2005-2018. El primer gráfico muestra la concentración de clorofila distinguiendo entre las tres masas de agua objeto de este estudio. El segundo gráfico muestra la concentración de clorofila registrada en cada una de las estaciones de la masa de agua C017.

También se ha indicado el límite establecido por la legislación vigente en cuanto a la concentración de clorofila para la determinación del estado ecológico de las masas de agua estudiadas: límite de es 3.60 µg/L en el percentil 90 de clorofila para el cambio de estado de “Bueno” a “Moderado”.

| | Referencia | Muy bueno/ Bueno | Bueno/ Moderado | Moderado/ Pobre | Pobre/ Malo |
|--|------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------------|
| P90 Clorofila a (µg/L) | 1.8 | 2.26 | 3.60 | 5.00 | 6.42 |
| Promedio Amonio (µmol NH ₄ /L) | | | 4.60 | | |
| Promedio Nitrito (µmol NO ₂ /L) | | | 0.92 | | |
| Promedio Nitrato (µmol NO ₃ /L) | | | 7.3 | | |
| Promedio Fosfato (µmol PO ₄ /L) | | | 0.76 | | |
| FAN | | -0.2 | 0.2 | 0.6 | 1 |

Tabla 3. Límites para indicadores de masas costeras AC-T05 y AC-T06 según Real Decreto 817/2015. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV]

Como se observa en el gráfico siguiente (Figura 2), las tres masas de agua estudiadas han superado el límite establecido para la determinación de un estado “Bueno” en algún momento del periodo de estudio. En el gráfico se observan dos patrones diferenciados en dos periodos: 2005-2010 y 2010-2018.

El periodo 2005-2010 muestra, en general, valores por encima del límite establecido con tendencia ascendente en el primer tramo, mientras que durante el periodo 2010-2018, se observa una tendencia a la disminución de concentración de clorofila en las tres masas de agua. Sin embargo, la masa de agua C017 ha mantenido durante el último periodo (2010-2018) concentraciones de clorofila cercanas y superiores al criterio límite establecido.

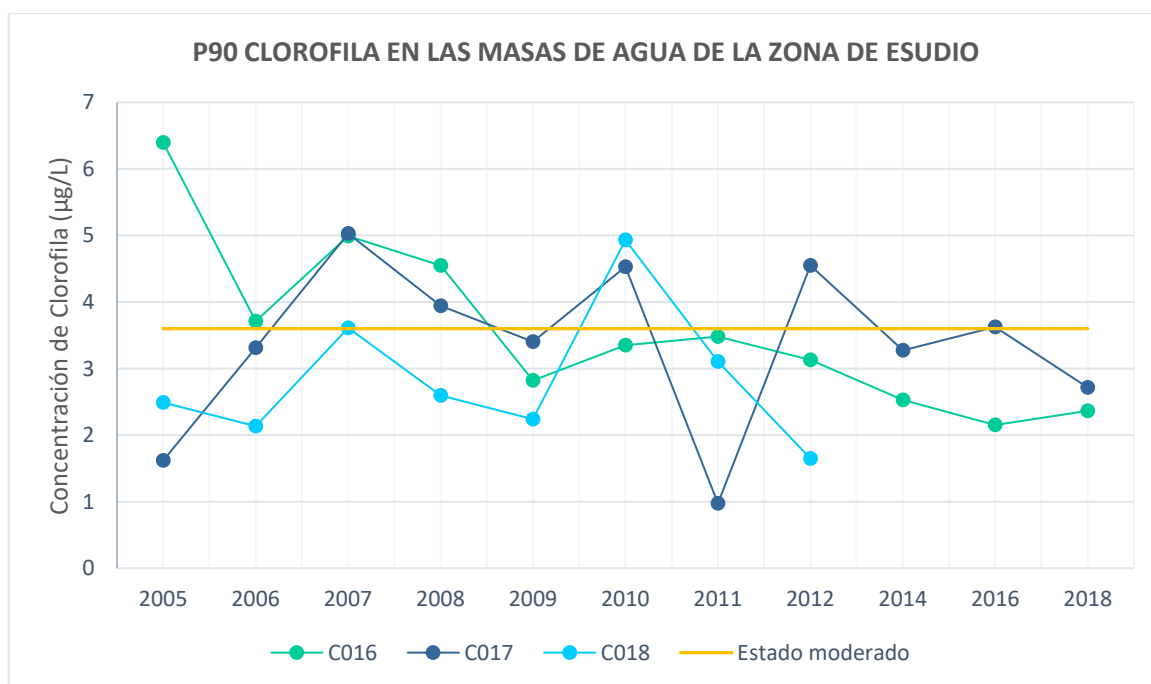


Figura 2. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio. [Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

El siguiente gráfico (*Figura 3*) muestra una discretización de los resultados de concentración del indicador clorofila según las estaciones de muestreo de la masa de agua C017. En él se aprecia como es la estación DP115 la que ofrece resultados por encima del límite establecido durante el último periodo de estudio (2010-2018).

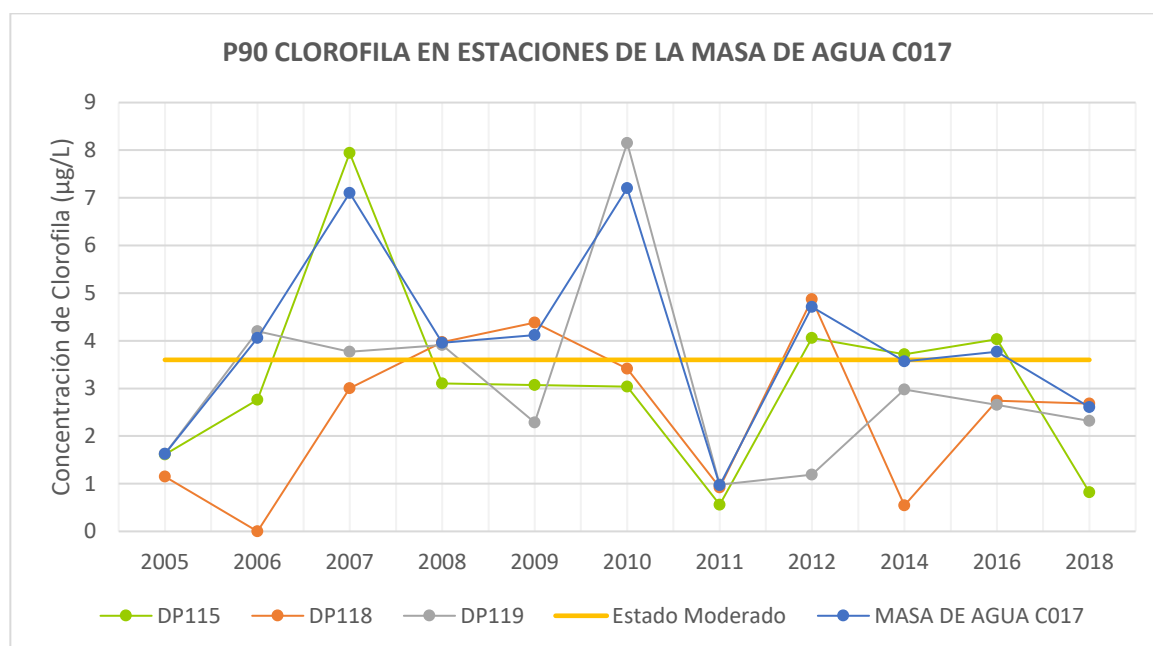


Figura 3. Concentración de clorofila (percentil 90) en las estaciones de muestreo de la masa de agua C017. [Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

2.3.1. Estudio de estacionalidad

El crecimiento y producción de fitoplancton está condicionado por diversos factores tales como las condiciones naturales del lugar, la salinidad, la temperatura, la intensidad lumínica, el nivel de nutrientes, los episodios de eutrofización, y otros factores.

La disponibilidad de nutrientes en la zona es uno de los elementos más limitantes en la producción de fitoplancton. La cantidad de luz también es un factor muy limitante para el crecimiento de fitoplancton ya que la actividad fotosintética que realizan los organismos del fitoplancton cambia de acuerdo con la cantidad y tipo de luz que reciben (Mertínez Guijarro, 2009).

Por tanto, puede existir una variación estacional de producción de fitoplancton en función de la disponibilidad de luz solar durante los diferentes periodos del año, pudiendo ser éste el factor limitante para la producción de fitoplancton durante los meses de invierno.

Seguidamente expone el análisis de la distribución mensual de la concentración de clorofila en las muestras válidas analizadas durante el periodo de estudio, con el objetivo de identificar la existencia de estacionalidad en la serie de datos de la que se dispone para este estudio.

En primer lugar, se muestran tres gráficos (*Figuras 4, 5 y 6*) que corresponden a la distribución de la concentración de clorofila del conjunto de todas las muestras analizadas ordenadas mensualmente durante en tres periodos diferentes: periodo completo del estudio: 2005-2018, periodo 2005-2010 y periodo 2010-2011.

Los siguientes tres gráficos (*Figuras 7, 8 y 9*) muestran las mismas distribuciones que las descritas anteriormente, pero centrándose únicamente en las muestras de las estaciones de la masa de agua C017.

Todos los gráficos muestran el límite para la clasificación del estado ecológico de la masa de agua en “Estado Moderado”. Cabe destacar que este límite representa la concentración de clorofila del percentil 90 de los datos que se analizan, por lo que no es directamente aplicable a las distribuciones de datos discretizados mostradas seguidamente, pero sí que supone una referencia para identificar la posible estacionalidad de los datos elevados del indicador *Clorofila*.

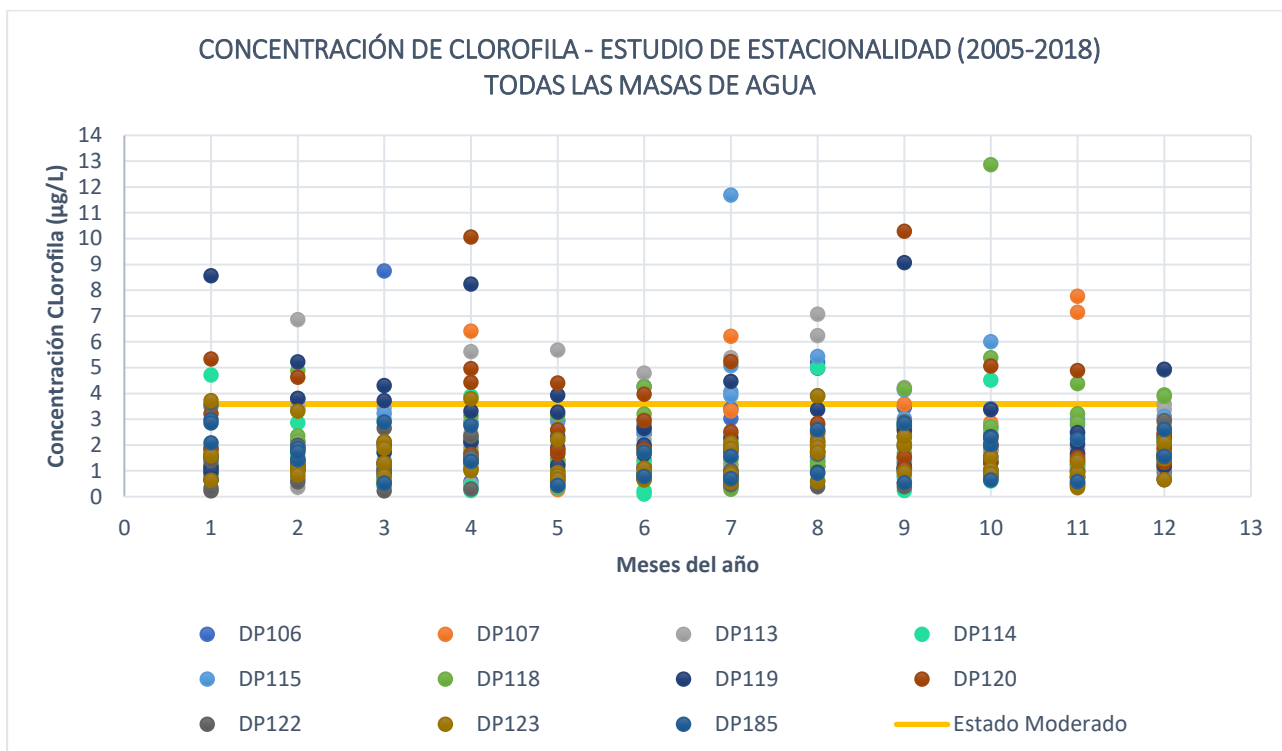


Figura 4. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2005-2018. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

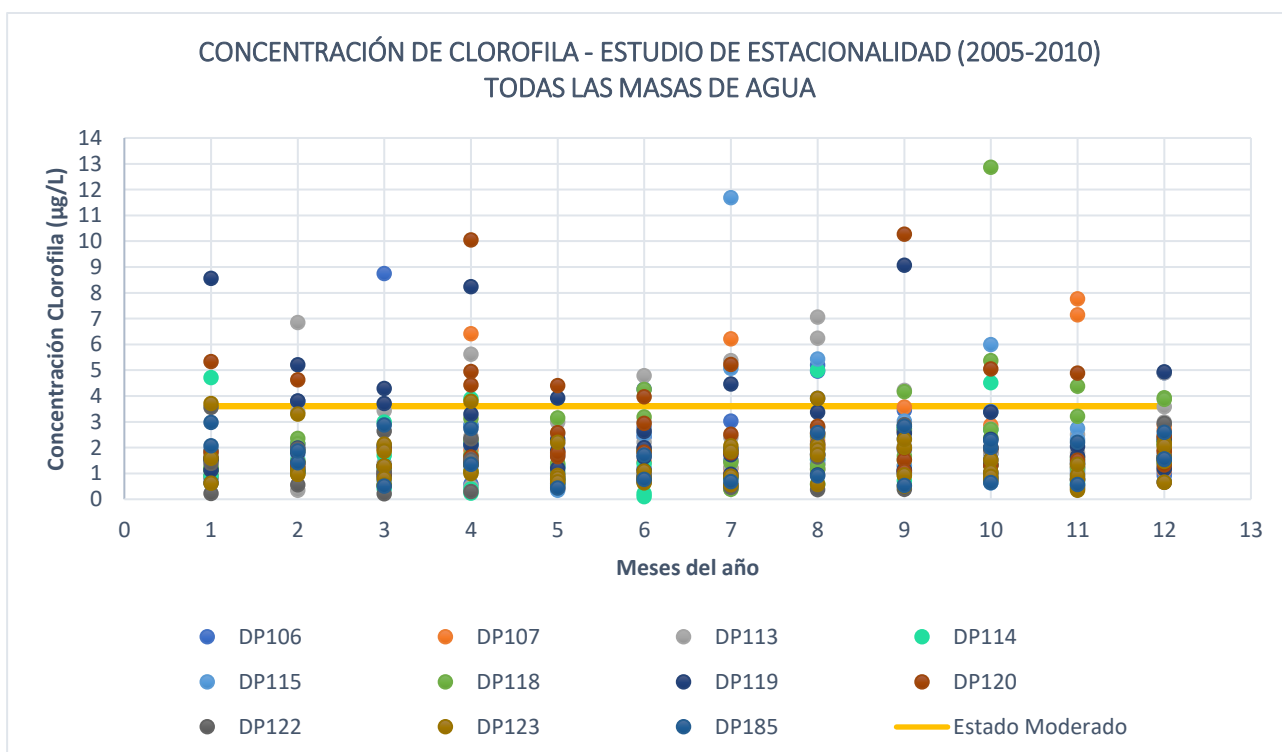


Figura 5. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2005-2010. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

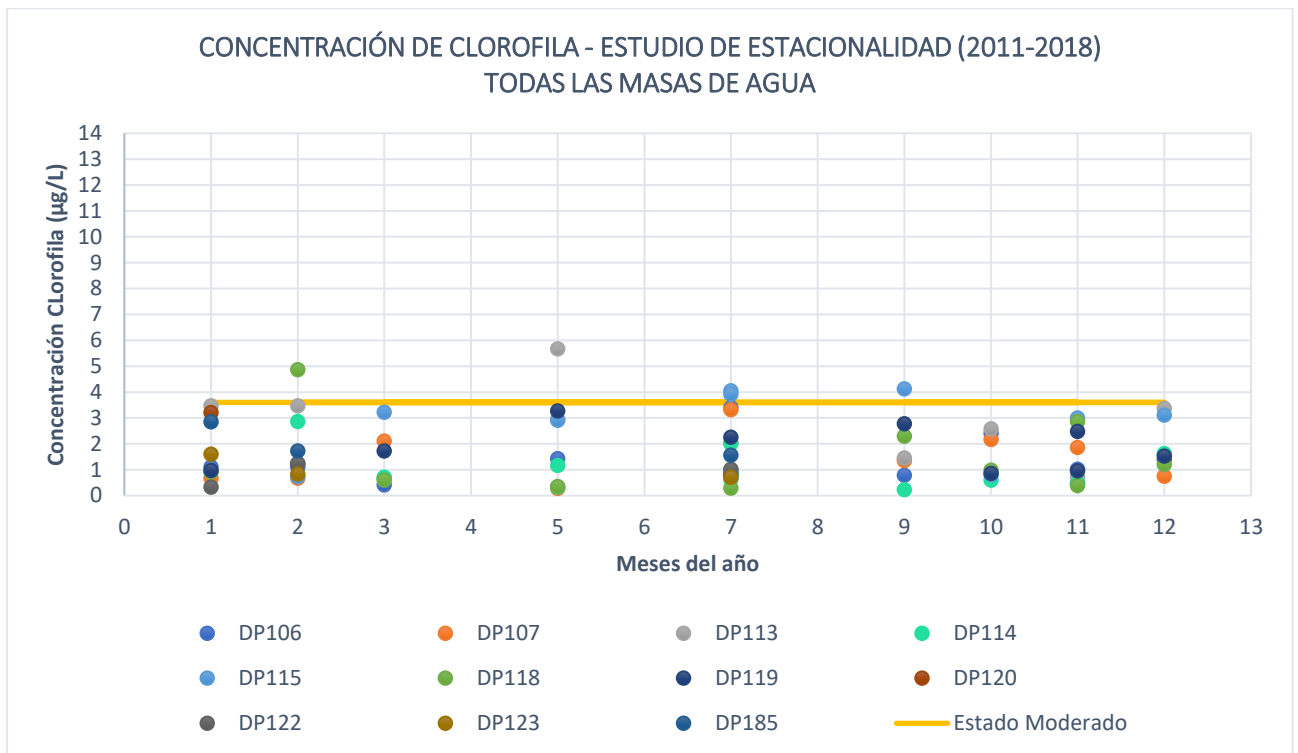


Figura 6. Distribución mensual de la concentración de clorofila en todas las muestras analizadas durante el periodo 2011-2018.
[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

Del análisis de los tres gráficos anteriores se obtienen las siguientes conclusiones:

- Se aprecia un claro cambio de tendencia entre el periodo 2005-2010 con respecto a los niveles de concentración de clorofila existentes, encontrando niveles más elevados en el primer periodo. La mayoría de los datos analizados en el segundo periodo (2011-2018) se ubican en torno al límite de cambio de estado ecológico.
- En cuanto a la distribución mensual de los datos, se observa que las campañas de muestreo han estado muy repartidas en el año, aunque se han producido con mayor frecuencia durante el primer periodo (2005-2010).
- Por la distribución homogénea de las campañas de muestreo en los meses del año, se podría observar una relación estacional de los niveles de clorofila en caso de sucederse.
- No obstante, en ninguno de los tres gráficos analizados se observa una variación estacional de los datos analizados. Se observan valores distribuidos en todos los meses del año, con concentraciones mayoritariamente por debajo del criterio límite establecido, pero con algunos valores muy por encima de este límite. La mayoría de los valores de concentración de clorofila por encima del límite se ubican en el primer periodo de estudio (2005-2010). Estos valores se muestran igualmente distribuidos de manera homogénea en todos los meses del año, por lo que no puede establecerse la existencia de una variación estacional en la serie estudiada.

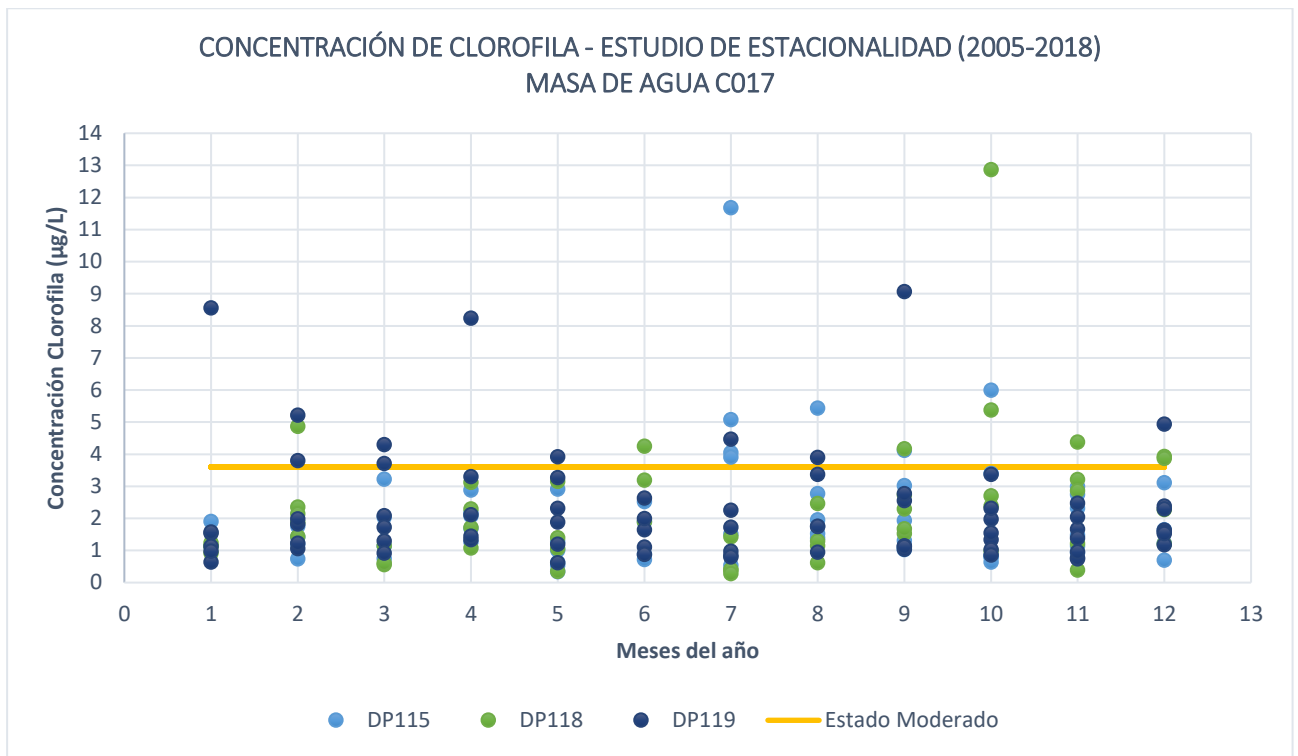


Figura 7. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

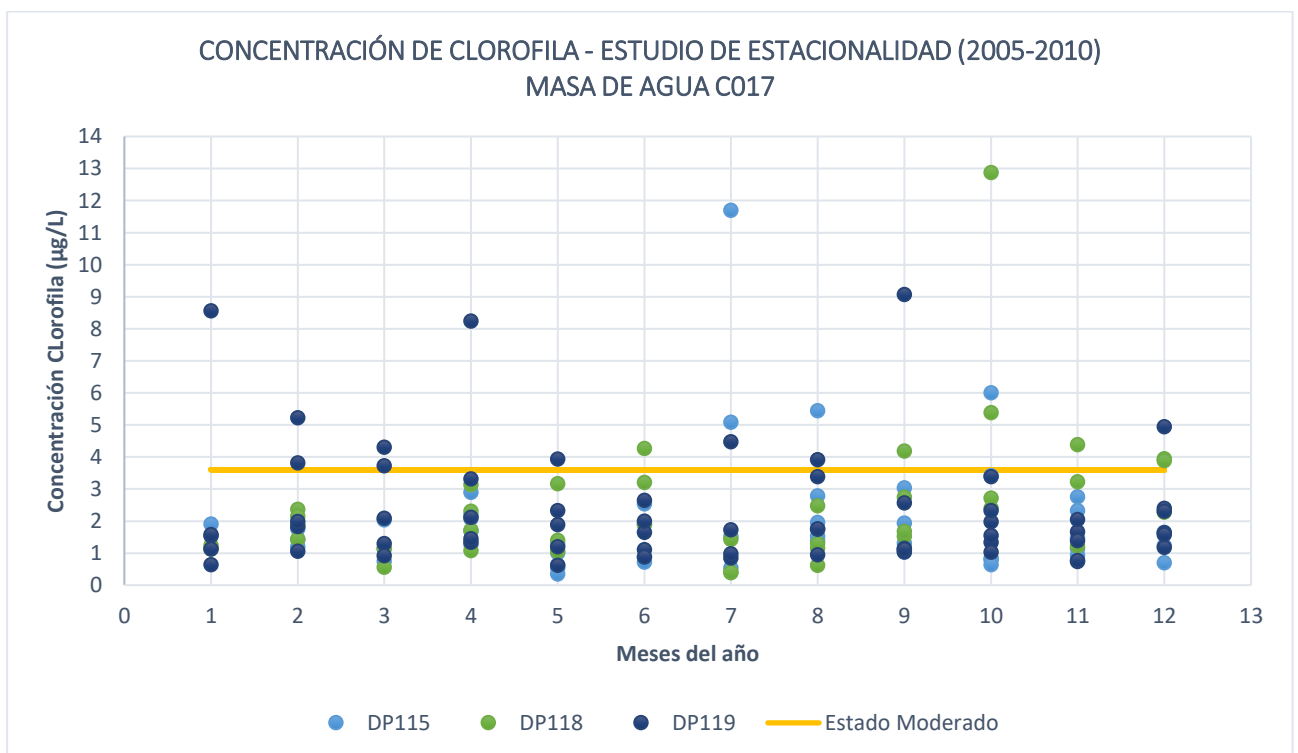


Figura 8. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo 2005-2010. [Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

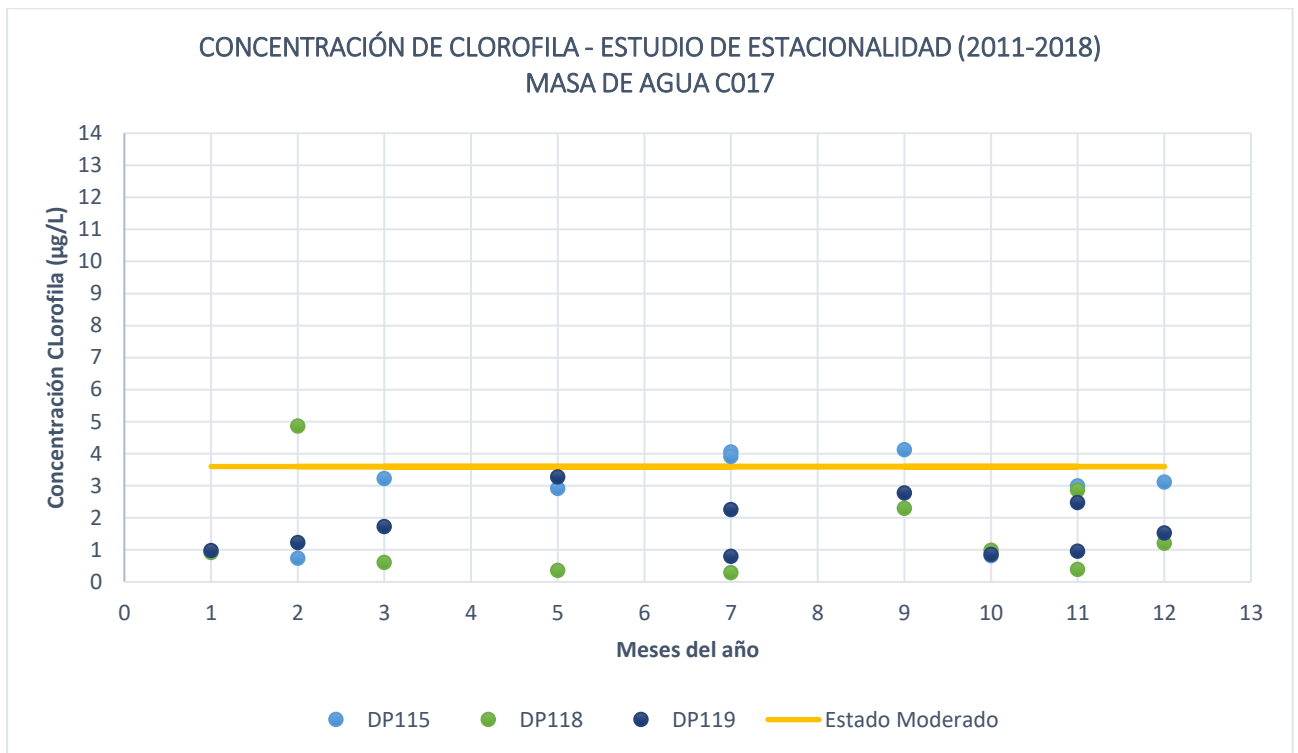


Figura 9. Distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017 durante el periodo 2011-2018.

[Fuente: Informe 2018 IIAMA- UPV; Elaboración propia]

Del análisis de los gráficos anteriores correspondientes a la distribución mensual de la concentración de clorofila en las estaciones de la masa de agua C017, se obtienen conclusiones muy similares a las expuestas en el estudio de la serie completa (Figuras 4, 5 y 6):

- En el caso de las estaciones de la masa de agua C017, también se aprecia un claro cambio de tendencia entre el periodo 2005-2010 con respecto a los niveles de concentración de clorofila existentes, ubicándose los valores más elevados en el primer periodo. La mayoría de los datos analizados en el segundo periodo (2011-2018) se ubican por debajo o cercanos al límite de cambio de estado ecológico.
- En cuanto a la distribución mensual de los datos de las estaciones de la masa de agua C017, se observa que las campañas de muestreo también han estado muy repartidas en el año, aunque se han producido con mayor frecuencia durante el primer periodo (2005-2010).
- Por tanto, por la distribución homogénea de los datos en todos los meses del año, debería poder observarse una relación estacional de los niveles de clorofila, en caso de sucederse.
- No obstante, de igual manera que en el análisis de la serie completa, en ninguno de los tres gráficos se distingue una estacionalidad de los datos analizados.

Por tanto, en base a lo expuesto anteriormente, se concluye que no se aprecia una variación estacional de los niveles de concentración de clorofila de la zona de estudio. Esto puede deberse, entre otros factores, a que la zona de estudio cuenta con altos niveles de luz solar durante todo el año, por lo que la disponibilidad de luz solar no sería el factor limitante para la producción de fitoplancton.

3. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO

Los medios receptores naturales, tales como el medio marino, son susceptibles de ser contaminados. Se establece que un medio receptor está contaminado cuando cambian sus características de composición físico-químicas y biológicas con respecto a una composición estándar definida para ese mismo medio en situación de no contaminación. Esta contaminación se debe al vertido de contaminantes en el medio receptor, ya sea de origen natural o de origen antropogénico.

El medio receptor marino tiene una dinámica propia debida a la actuación sobre el medio de diversos agentes climáticos, principalmente el oleaje, las mareas, las corrientes y el viento. Es por ello que, una vez vertidos los contaminantes en el medio receptor, estos son transportados a otros puntos del espacio natural a causa de la propia dinámica marina.

Los principales principios físicos en los que se basa el transporte de contaminantes en el medio marino son los siguientes:

- **Transporte convectivo:** componente vertical del transporte de partículas debido a la propia velocidad del medio receptor. El transporte convectivo de contaminantes está asociado a las diferencias de densidad del medio receptor.
- **Transporte advectivo:** componente horizontal del transporte de partículas debido a la velocidad del propio medio receptor, asociado al sistema de corrientes, al viento y al oleaje.
- **Difusión:** desplazamiento de contaminantes por diferencia de concentraciones entre el punto de vertido y el resto de puntos del medio receptor. Se trata de un proceso natural por el cual los contaminantes se transportan en el medio hacia puntos de menor concentración.
- **Dispersión turbulenta:** fluctuación local de la velocidad que traslada los contaminantes en la dirección transversal a los flujos de velocidades del medio receptor.

Cabe destacar que el transporte convectivo, el cual es debido a las diferencias de densidad el medio (componente vertical), predomina sobre el transporte advectivo (componente horizontal) en análisis de dispersión de contaminantes a escala reducida, en zonas cercanas al punto de vertido. Por el contrario, en los análisis a mayor escala, será el transporte advectivo, asociado al sistema de corrientes (componente horizontal), el que predomina sobre el transporte convectivo.

Por otro lado, los principios físicos de difusión y dispersión turbulenta hacen que las plumas de contaminantes que se transportan en el medio tengan un área mayor cuanto más alejado está el punto de vertido.

4. CÁLCULO ANALÍTICO DEL TRANSPORTE DE PARTÍCULAS

4.1. TEORÍA DEL TRANSPORTE DE MASA EN MEDIOS MARINOS

El cálculo del transporte de contaminantes por métodos analíticos se basa en las teorías de la trayectoria de las partículas en el medio marino. Se define la Teoría lineal de Airy que determina trayectorias circulares y elípticas de las partículas en función de su profundidad, y la Teoría de la deriva de Stokes, que basándose en la Teoría de Airy, establece la existencia de un transporte de masa neto de las partículas.

Teoría lineal de Airy

Las velocidades horizontales y verticales de las partículas de onda, así como sus desplazamientos, describen trayectorias circulares en aguas profundas y trayectorias elípticas en aguas intermedias y someras. Esta teoría supone que las velocidades son periódicas, con trayectorias cerradas, por lo que no hay transporte de masa.

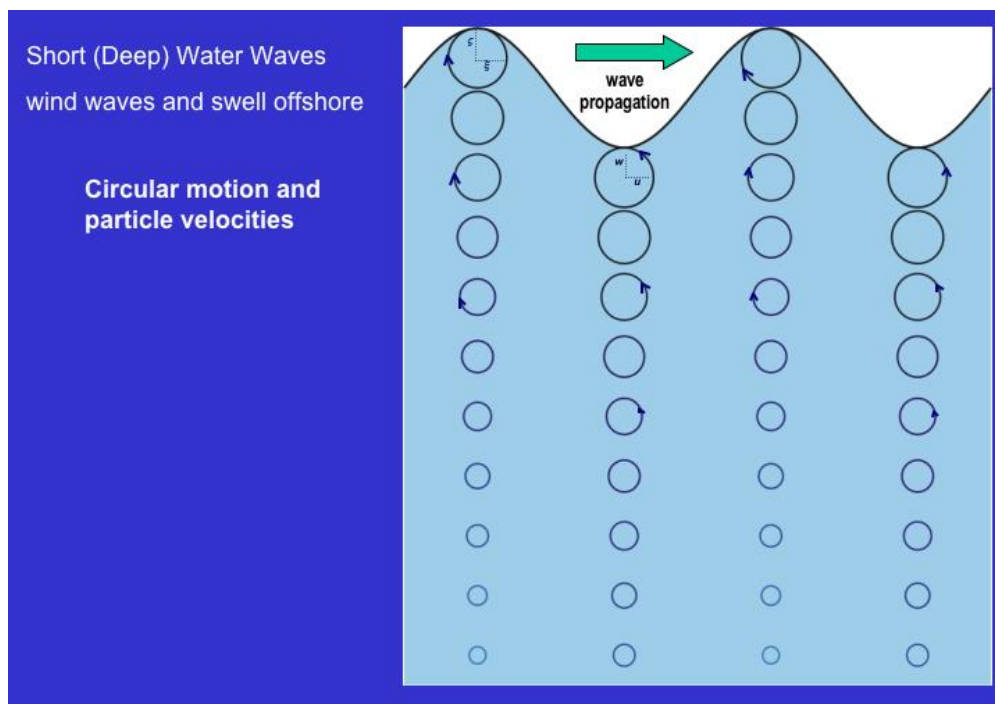


Figura 10. Teoría de Airy de la trayectoria de partículas en aguas profundas.
[Fuente: The Florida Center for Instructional Technology, 2005]

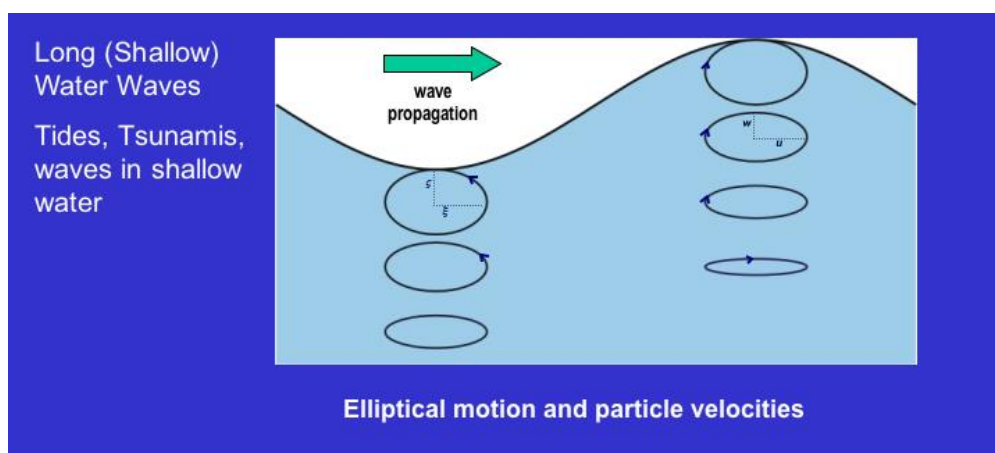
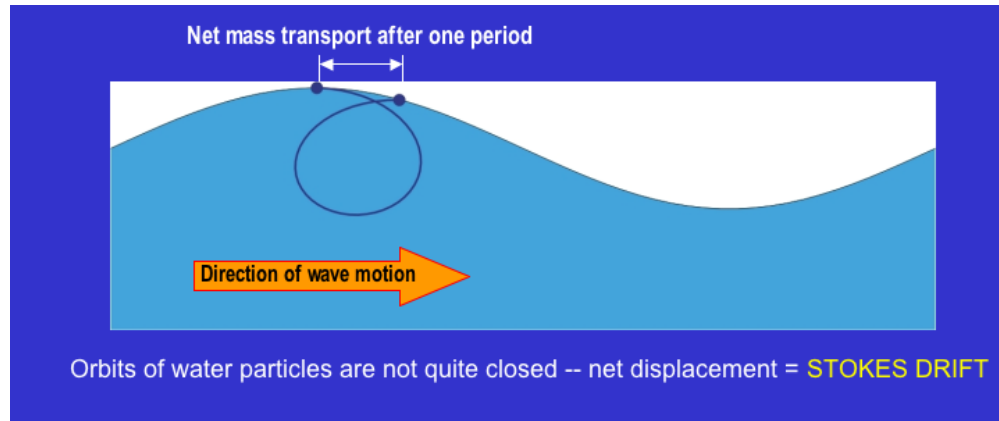


Figura 11. Teoría de Airy de la trayectoria de partículas en aguas intermedias y poco profundas.
[Fuente: The Florida Center for Instructional Technology, 2005]

Teoría de la deriva de Stokes (Teoría no lineal de Stokes de 2º Orden)

Esta teoría se basa en la teoría de Airy pero estableciendo que las formas de onda no son perfectamente sinusoidales ni sus órbitas están perfectamente cerradas.

La teoría de la deriva de Stokes establece la existencia de un transporte de masa neto producido por la trayectoria circular u orbital no cerrada que realiza la partícula.



*Figura 12. Teoría de la deriva de Stokes para la trayectoria de partículas.
[Fuente: The Florida Center for Instructional Technology, 2005]*

Por tanto, la formulación empleada para el cálculo analítico del transporte de partículas se basará en la Teoría de la deriva de Stokes (Teoría no lineal de Stokes de 2º orden) en la cual se considera que existe transporte horizontal neto de moléculas de agua, en el sentido de avance de la ola (dirección del oleaje), mediante la siguiente expresión de velocidad:

$$\mathbf{U} = a^2 \times \left(\frac{2 \times \pi}{\lambda}\right)^{\frac{3}{2}} \times g^{\frac{1}{2}} \times e^{\left(\frac{-4 \times \pi \times z}{\lambda}\right)} \quad (\text{Stokes, 1847})$$

Siendo:

\mathbf{U} = componente horizontal de la velocidad de deriva de Stokes

$$a = \text{amplitud} = \frac{Hs}{2}$$

$$\lambda = \text{Longitud de onda} = \sqrt{g \times d} \times Tp$$

g = gravedad

z = profundidad de la partícula

d = profundidad del fondo

Mediante esta formulación se representará el transporte advectivo de las partículas (componente horizontal de la velocidad asociada a la dinámica del propio medio receptor). Como se ha expresado anteriormente, la teoría del transporte de contaminantes comprende de más principios físicos, aunque es la componente advectiva del transporte la predominante en el análisis de la influencia de la dinámica marina en la dispersión de contaminantes.

No obstante, debe tenerse en consideración que el cálculo analítico del transporte de contaminantes que se realice mediante la formulación de la Teoría de la deriva de Stokes ofrecerá resultados aproximados de la trayectoria de las partículas, que los cuales serán comprobados y ajustados posteriormente mediante el modelado computacional.

4.2. CÁLCULO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL TRANSPORTE DE PARTÍCULAS

Mediante la formulación de la velocidad de deriva de Stokes definida anteriormente, es posible obtener una primera aproximación de la procedencia de las partículas que alcanzan las estaciones de muestreo de las masas de agua.

Como se ha definido en el apartado anterior, esta formulación relaciona los parámetros representativos del oleaje Altura de Ola Significante (Hs) y Periodo Pico (Tp). Añadiendo el tercer parámetro representativo del oleaje, Dirección del Oleaje, es posible calcular una composición vectorial que represente de la trayectoria aproximada de las partículas.

Puesto que se cuenta con datos horarios de los parámetros del oleaje, se ha calculado y representado el polígono funicular de la trayectoria de procedencia de las partículas en las 48 horas anteriores a la toma de muestras para los días que se ha identificado un exceso del límite establecido para la concentración de Clorofila (64 muestras).

El polígono funicular constará de la composición vectorial de la trayectoria de las partículas y la dirección del oleaje con intervalos horarios. El vector resultante mostrará el desplazamiento de las partículas que alcanzan las estaciones de muestreo de las 48 horas anteriores al momento de la toma de muestra. La *Figura 13* muestra, a modo de ejemplo, la composición vectorial y su vector resultante del transporte de partículas para la campaña 14-11-2018 (el punto 0,0 representa la estación de muestreo).

Se ha realizado el cálculo para todas las campañas en las que se ha identificado exceso del indicador Clorofila. Puesto que se disponen de datos de 5 puntos SIMAR (ver *Anejo nº2*), se han establecido las siguientes relaciones para el cálculo del desplazamiento de las partículas en cuanto a la procedencia de los parámetros representativos del oleaje de los puntos SIMAR:

| Estaciones | Punto SIMAR |
|---|-------------|
| DP106, DP107, DP113, DP114 (masa de agua C016) | S4 |
| DP115, DP118, DP119 (masa de agua C017) | S3 |
| DP120, DP122, DP123, DP185 (masa de agua C018) | S2 |

*Tabla 4. Relación de datos de procedencia de los parámetros representativos para cada estación de muestreo.
[Elaboración propia]*

Cabe destacar que las relaciones definidas entre las estaciones de muestreo y los puntos SIMAR de los que se disponen datos, se han establecido en base a la proximidad de entre ellos.

Como se ha expresado anteriormente, las composiciones vectoriales resultantes muestran únicamente una aproximación de la procedencia de las partículas que alcanzan las estaciones de muestreo, la cual se empleará para el establecimiento de hipótesis. Posteriormente, se realiza el cálculo del transporte de partículas mediante un modelo hidrodinámico que mostrará con mayor precisión la trayectoria de los contaminantes.

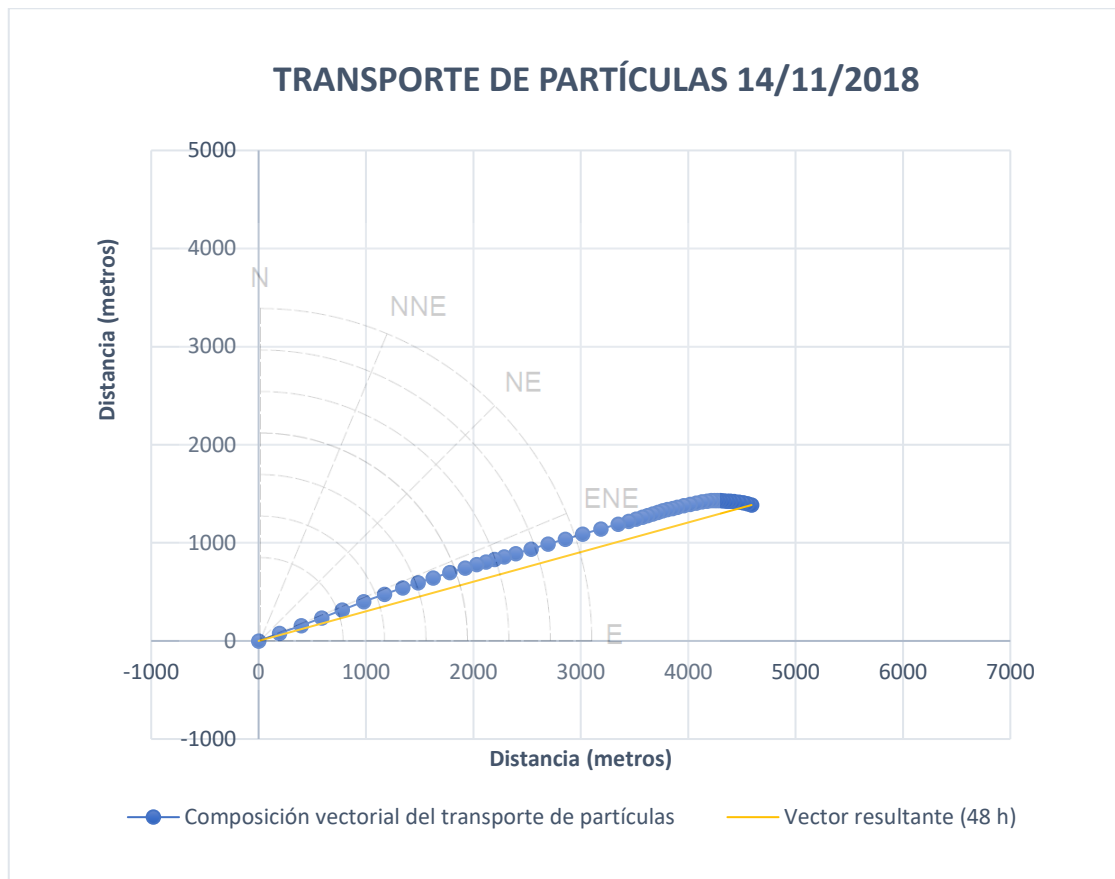


Figura 13. Polígono funicular de la trayectoria de las partículas de las 48 horas anteriores a la toma de muestra en la campaña 14-11-2018. [Elaboración propia]

Seguidamente, se muestra el conjunto de resultados de los desplazamientos de las partículas agrupados por masas de aguas y diferenciando por estaciones. Junto a los gráficos, se ubica la rosa de oleaje del punto SIMAR del que se han tomado los datos de partida.

Las Figuras 14, 15 y 16 muestran el conjunto de desplazamiento de las partículas en las 48 horas previas a la recogida de muestras de las campañas en las que se ha detectado un exceso de Clorofila, diferenciando por masas de agua. Como se observa en los gráficos, la mayoría de los desplazamientos tienen una longitud de entre 1000 y 3000 metros (1 y 3 km), aunque existen algunos desplazamientos con un orden de magnitud diferente, llegando hasta los 20000 metros (20 km) de longitud de desplazamiento de partículas en 48 horas.

En cuanto a las direcciones, se observa que la mayoría de direcciones están comprendidas entre las direcciones Noreste y Sureste. Las rosas de oleaje anexas a cada gráfico muestran que las direcciones predominantes del oleaje la Este y Este-Sureste. No obstante, las composiciones vectoriales calculadas tienen como una dirección más repetida la Este-Noreste.

Por tanto, como primera conclusión del análisis de las Figuras 14, 15 y 16 se obtiene que, para los días de muestreo en los que se ha detectado un exceso de Clorofila, la dirección de oleaje podría no haber sido la dirección predominante de oleaje de la zona, por lo que podría existir una relación entre parámetros de oleaje y campañas en las que se detecta una concentración mayor al límite establecido del indicador clorofila.

TRANSPORTE DE PARTÍCULAS 48 h - MASA DE AGUA C016

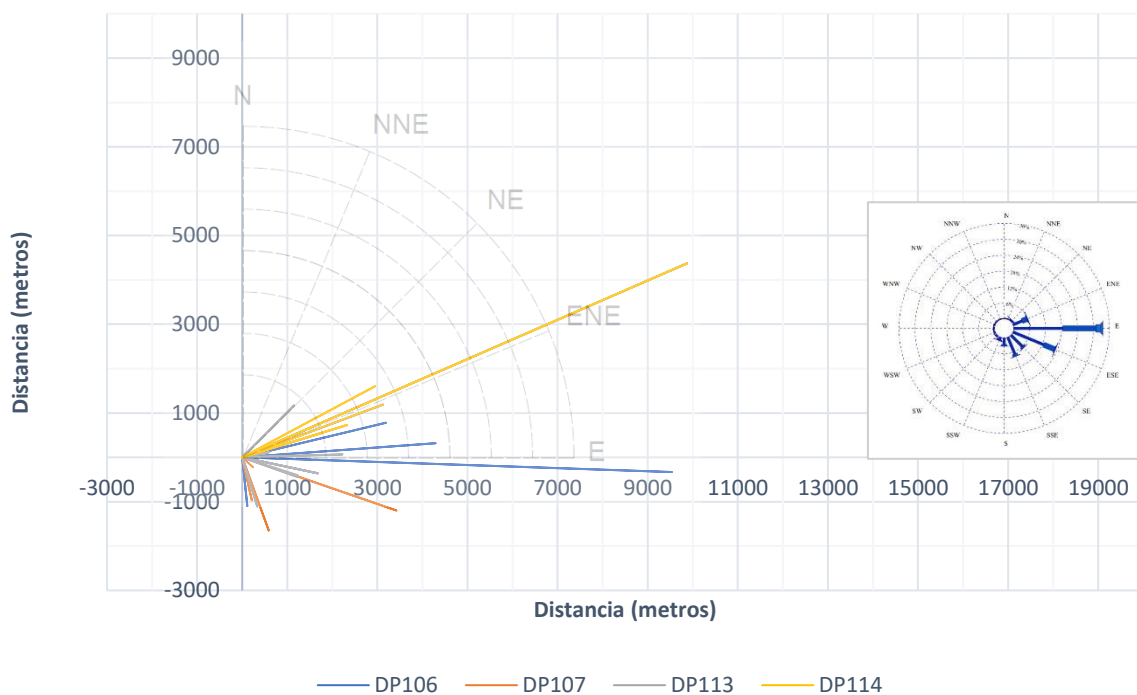


Figura 14. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C016. [Elaboración propia]

TRANSPORTE DE PARTÍCULAS 48 h - MASA DE AGUA C017

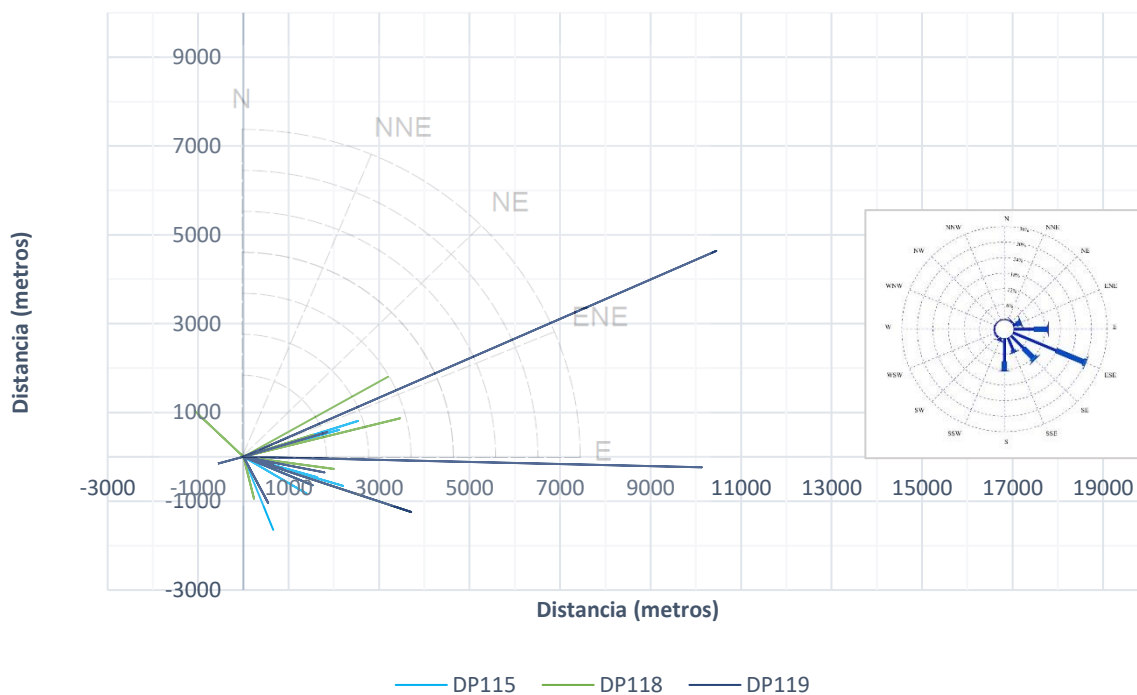


Figura 15. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C017. [Elaboración propia]

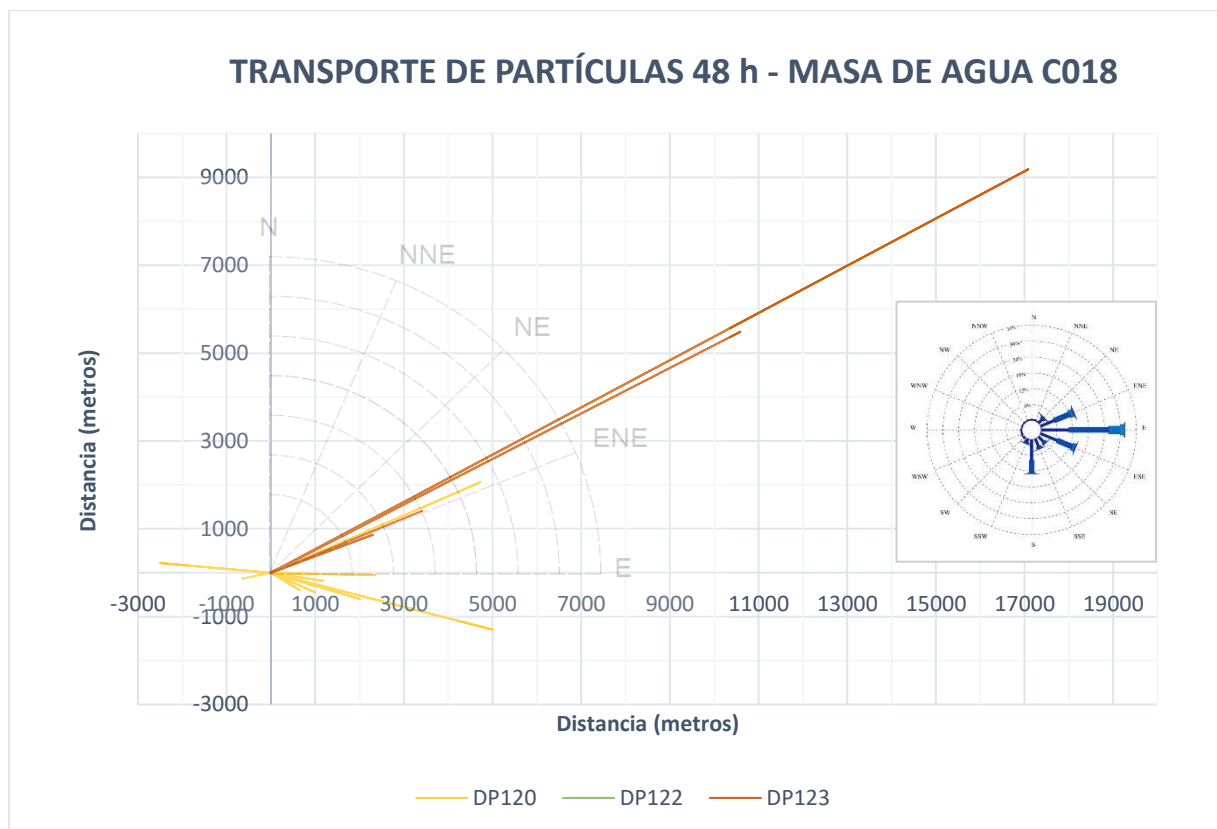


Figura 16. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en las estaciones de la masa de agua C018. [Elaboración propia]

Puesto que el objeto de este trabajo se centra en el análisis la masa de agua C017, se ha realizado un estudio más detallado del desplazamiento de las partículas en las Figuras 17, 18 y 19. Posteriormente, se ha realizado una representación gráfica de los resultados, plasmando sobre un mapa la procedencia aproximada de las partículas desde cada una de las estaciones de la masa de agua C017 (Figura 20).

Las conclusiones obtenidas del análisis de las Figuras 17, 18 y 19 y de la representación gráfica de la Figura 20 son similares al análisis conjunto de las tres masas de agua (Figuras 14, 15 y 16):

- Se observa que las longitudes de las trayectorias tienen el mismo orden de magnitud, entre 1000 y 3000m (1 y 3 km). Existen algunas excepciones, donde los desplazamientos llegan a superar 20km (masa de agua C019), aunque se trata de casos aislados.
- Las direcciones de procedencia de las partículas se encuentran, en su mayoría, en el rango de direcciones *Este-Noreste* y *Este-Sureste*. En comparación con la rosa de oleaje del punto SIMAR S3 donde las direcciones predominantes son las comprendidas entre *Este* y *Sur*, los desplazamientos de las partículas no proceden en su totalidad de las direcciones predominantes, aunque no se alejan de ese rango. Por tanto, como se observa en la Figura 20, la procedencia de las partículas en las 48 anteriores a la toma de muestras proceden de ubicaciones situadas a distancias de entre 1 y 3 km, con direcciones entre *Este* y *Noreste* de las estaciones.
- Cabe destacar la existencia de dos datos con procedencia *Noroeste* y *Suroeste*, lo cual puede deberse al error que existe en el cálculo analítico realizado al tomar datos directamente de los puntos SIMAR sin realizar la propagación del oleaje. Como se ha expresado anteriormente, los cálculos realizados ofrecen resultados aproximados, los cuales aportan una primera aproximación casuística estudiada.

TRANSPORTE DE PARTÍCULAS 48 h ESTACIÓN DP115 (MASA DE AGUA C017)

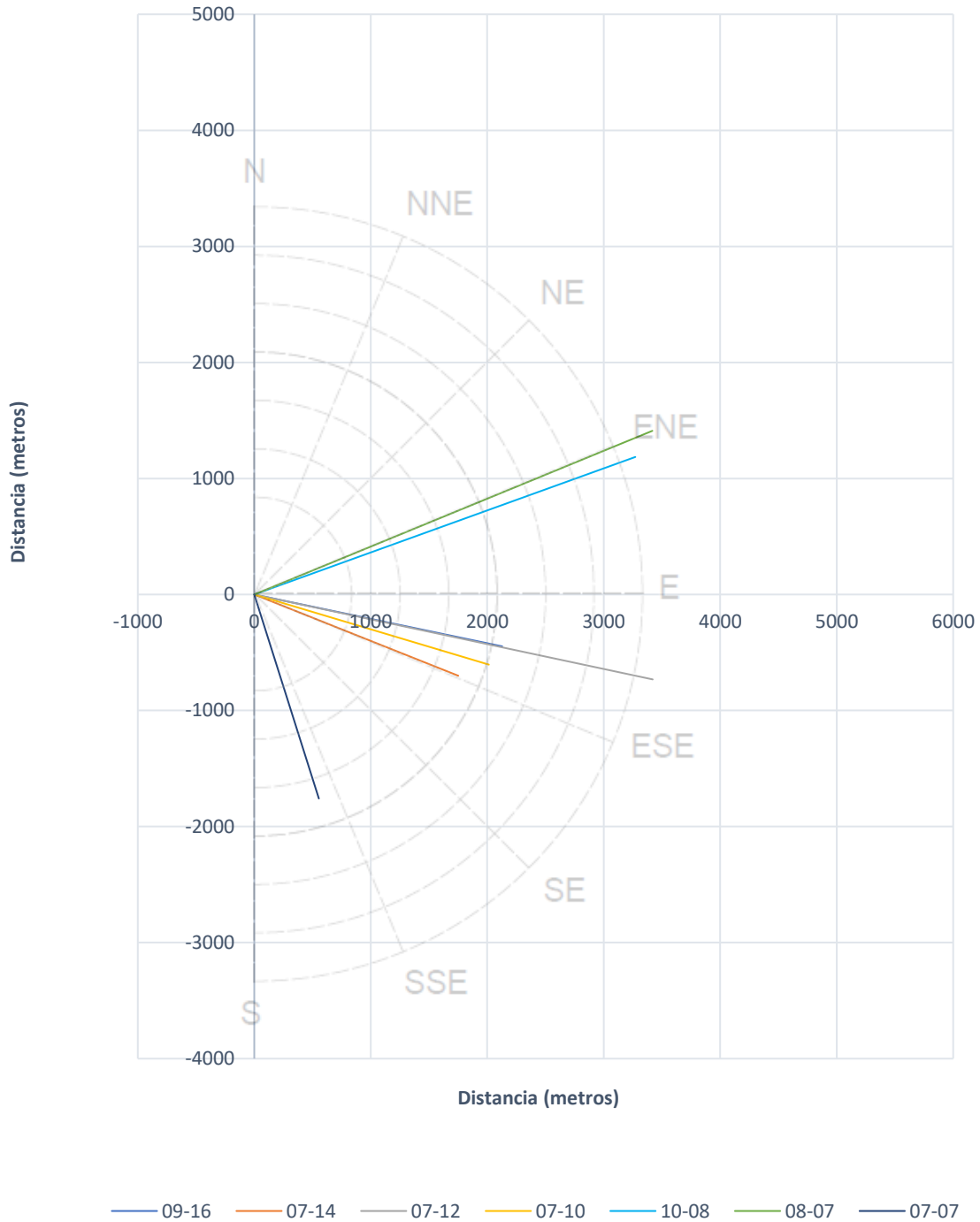


Figura 17. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP115 (masa de agua C017).
[Elaboración propia]

TRANSPORTE DE PARTÍCULAS 48 h ESTACIÓN DP118 (MASA DE AGUA C017)

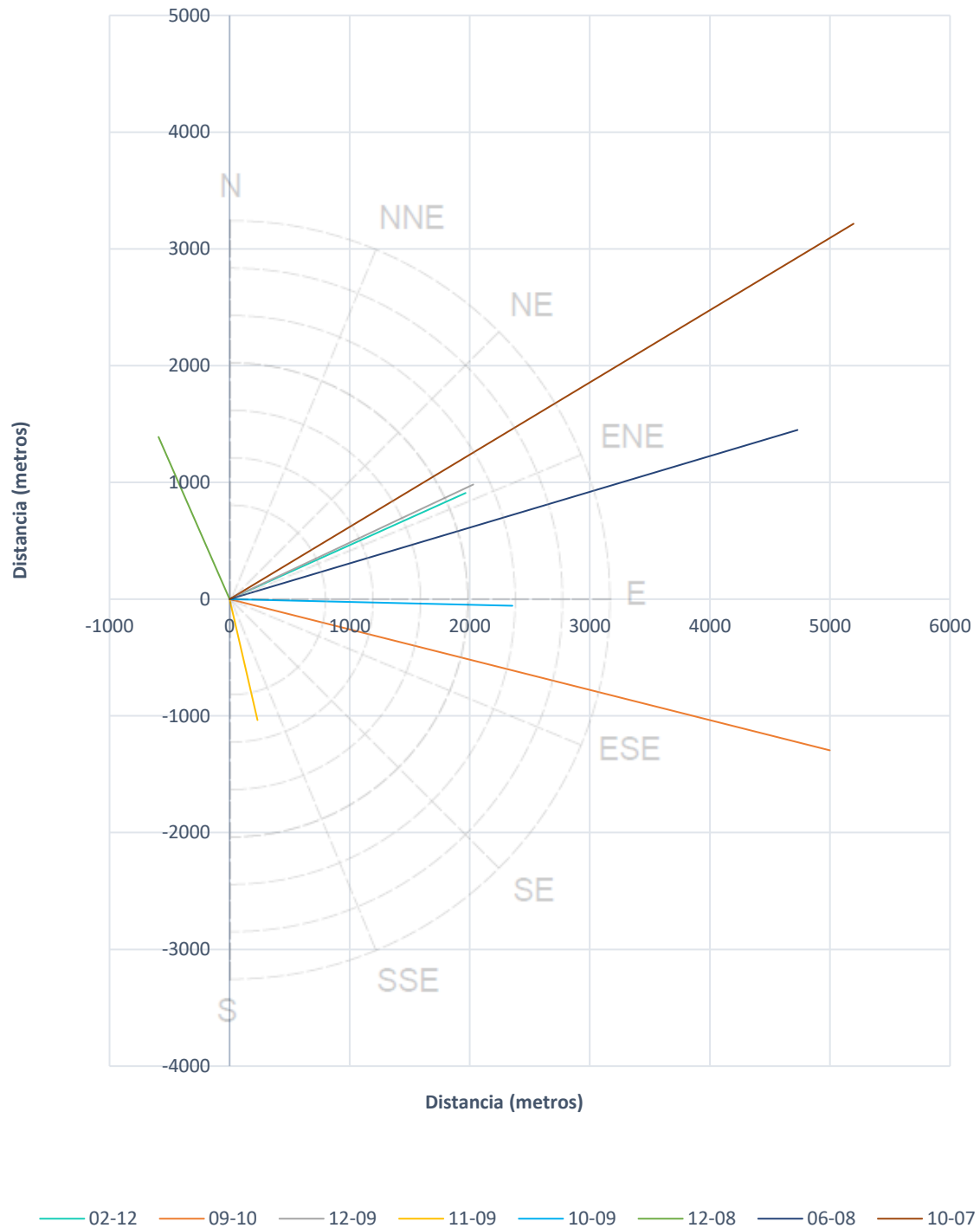


Figura 18. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP118 (masa de agua C017).
[Elaboración propia]

TRANSPORTE DE PARTÍCULAS 48 h ESTACIÓN DP119 (MASA DE AGUA C017)

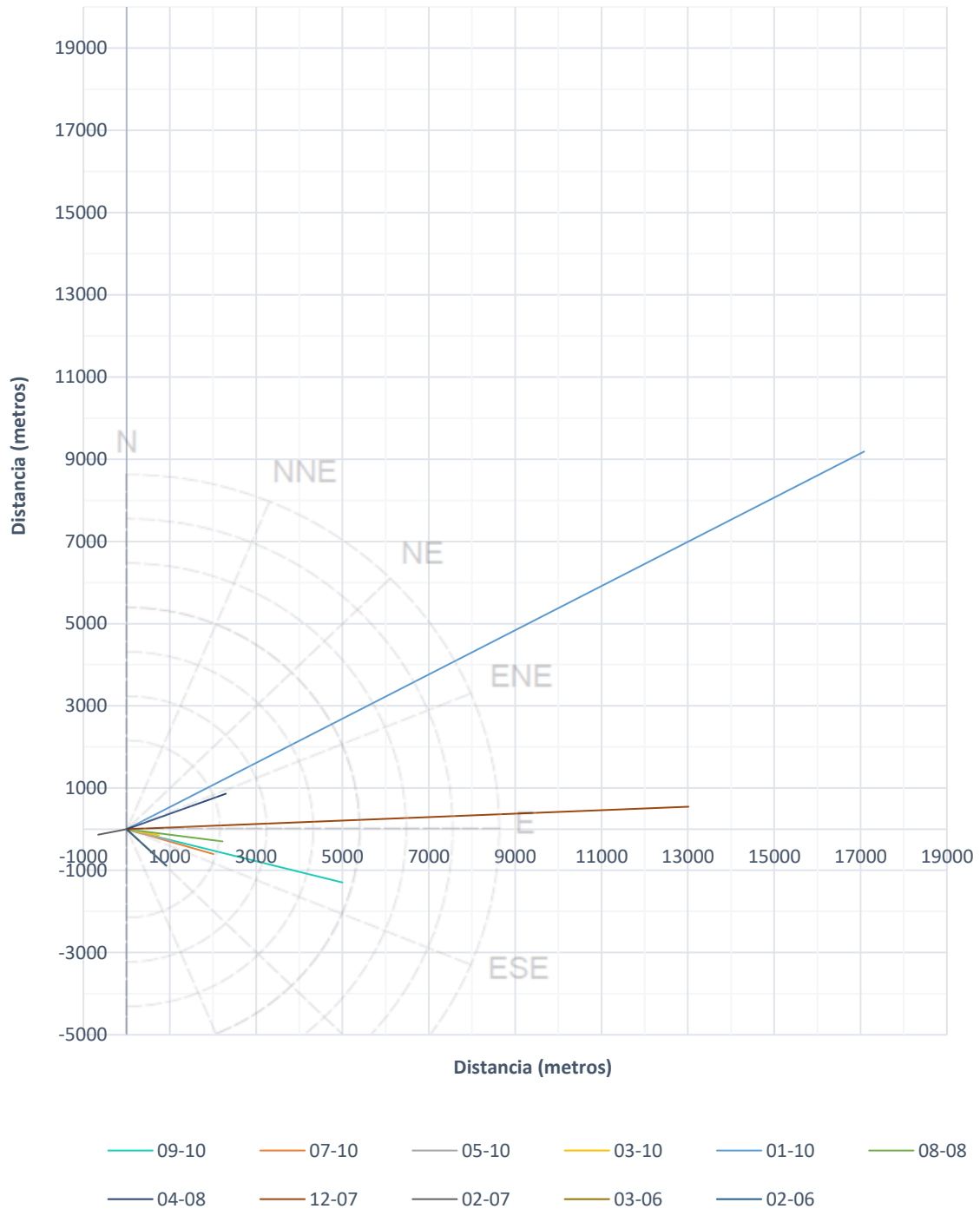


Figura 19. Estimación de la procedencia de las partículas en un periodo de 48 horas anterior a la recogida de muestras de las campañas con excedencia del indicador clorofila, en la estación DP119 (masa de agua C017).
[Elaboración propia]

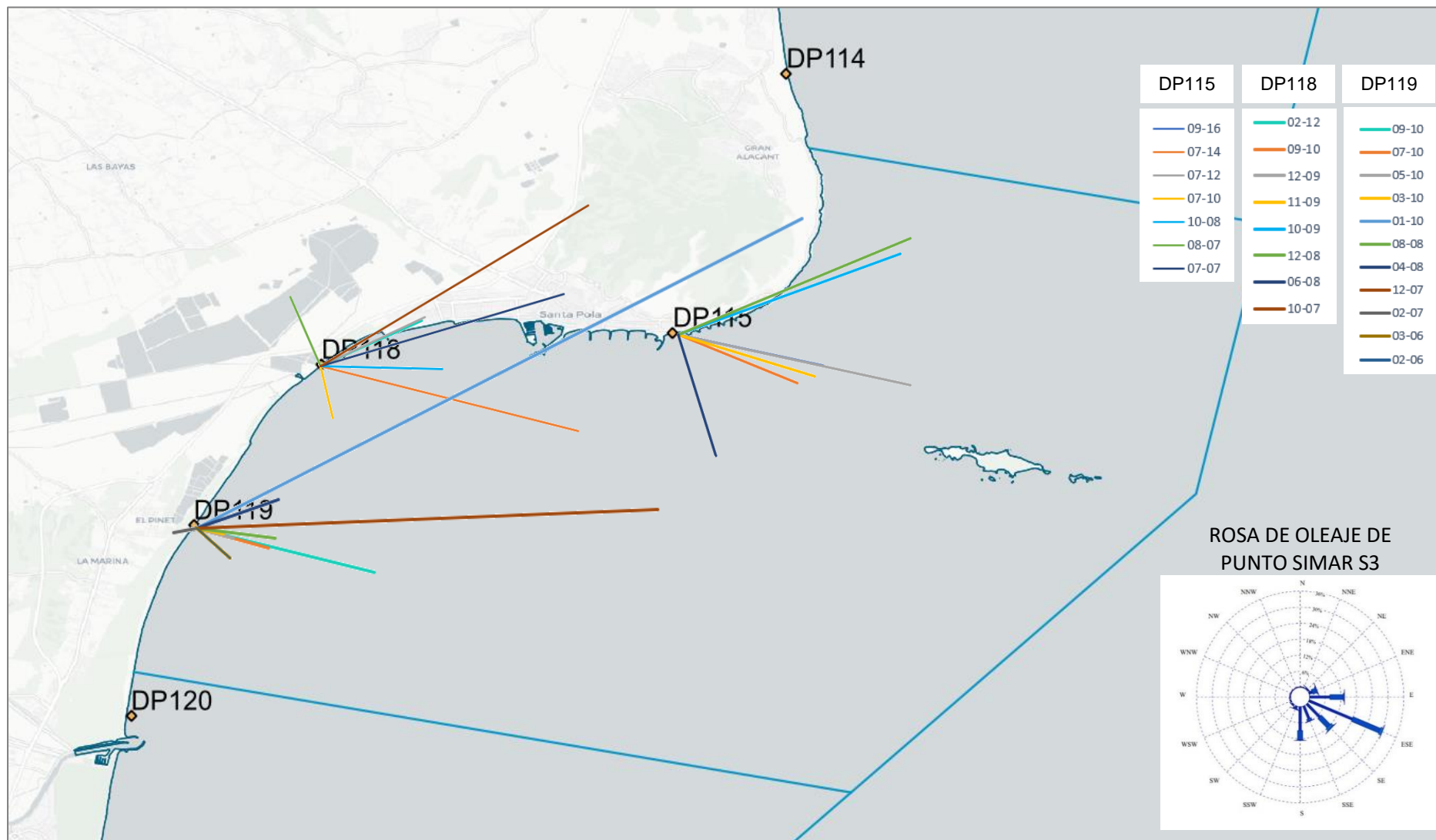


Figura 20. Composición de las estimaciones de procedencia de partículas en las estaciones de la masa de agua C017.
[Elaboración propia]

5. SISTEMA DE CORRIENTES

La modelación del sistema de corrientes de la zona de estudio se realiza mediante el modelo hidrodinámico MOHID Water, el cual será empelado también como modelo de dispersión de contaminantes.

Se realiza una simulación de hidrodinámica para obtener la modelación del sistema de corrientes por cada periodo que se simulará la dispersión de contaminantes: un total de tres periodos con dos simulaciones por periodo, de 15 y 22 días en función de la extensión de la malla.

Los parámetros de entrada del modelo hidrodinámico que modelará el sistema de corrientes son los siguientes:

- Los archivos de propagación del oleaje en toda la zona de estudio obtenidos por el modelo SWAN.
- Los armónicos de marea propios de la zona de modelado, en este caso obtenidos mediante una herramienta ofrecida por el programa MOHID Water que obtiene los parámetros de marea del modelo global FES2004 Global Tide Model (Finite Element Solution).

A modo de ejemplo, se muestra en la siguiente figura uno de los archivos creados a través del modelo FES2004 y que se utilizará como dato de entrada en el modelo hidrodinámico MOHID Water. Cabe destacar que el nivel de referencia definido "REF_LEVEL" corresponde a la diferencia entre el nivel medio del mar utilizado y el nivel de bajamar. Como se ha definido en el *Anejo n°2*, este valor es 0.021 m.

- Mínima Bajamar Astronómica: BMMI = - 0,16 m (r/REDMAR) = -0,021 m (r/NMMA)

```
Tide_x.dat*
<begin_gauge>
NAME      : nth test
LONGITUDE : -0.000000 22.0000 44.0000
LATITUDE  : 38.0000 0.000000 48.0000
METRIC_X  : -0.379100
METRIC_Y  : 38.0136
REF_LEVEL :      0.021000
TIME_REF  :      1.00000
M2        :      0.0233781      40.0488
S2        :      0.0164715      108.267
K1        :      0.0460545      169.296
K2        :      0.00435079     80.9697
N2        :      0.00674070     40.2570
2N2       :      0.000445723    -20.9773
O1        :      0.0274103      106.579
Q1        :      0.0144392      170.247
P1        :      0.00631660     96.2564
M4        :      0.0000000      0.000000
Mf        :      0.00102475     -156.492
Mm        :      0.00113438     -137.063
Mtm       :      0.000276111     155.371
MSqm      :      5.28685e-005    157.061
<end_gauge>
```

Figura 21. Armónicos de marea de la zona de estudio obtenidos mediante el modelo FES2004. [Elaboración propia]

La descripción completa la herramienta MOHID Water se describe en el *Anejo n°4*. En él, se definen las interacciones entre los distintos módulos del modelo, entre los cuales se encuentra el módulo hidrodinámico para el modelado de corrientes que sirve de entrada para el modelado de dispersión de contaminantes.

Una vez realizadas las simulaciones, el programa ofrece los resultados con un intervalo horario definido (3h), los cuales se almacenan en archivos HDF asociando un valor por celda por parámetros y por intervalo horario. En este caso, los parámetros almacenados son:

- Velocidad U
- Velocidad V
- Velocidad W
- Módulo de velocidad
- Nivel del mar

Se realiza una simulación de modelado de corrientes asociada a cada simulación que se realiza con el modelo de dispersión de contaminantes, ambos realizados con la herramienta Mohid Water.

Como se describe con mayor detalle en el apartado 5. Descripción de las simulaciones del Anejo nº4, se han realizado dos simulaciones para cada periodo analizado. Un total de 3 periodos con 2 simulaciones por periodo: 15 días y 22 días (malla general y malla reducida respectivamente).

| SIMULACIÓN | | | | MALLA | DATOS DE ENTRADA | | RESULTADOS |
|--------------|-----------------|---------|------------|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 1 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 1 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 2 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 2 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 3 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 3 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 4 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 4 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | Malla General 350 x 400 | Archivo HDF SWAN 5 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 5 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | Archivo HDF SWAN 6 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 6 |

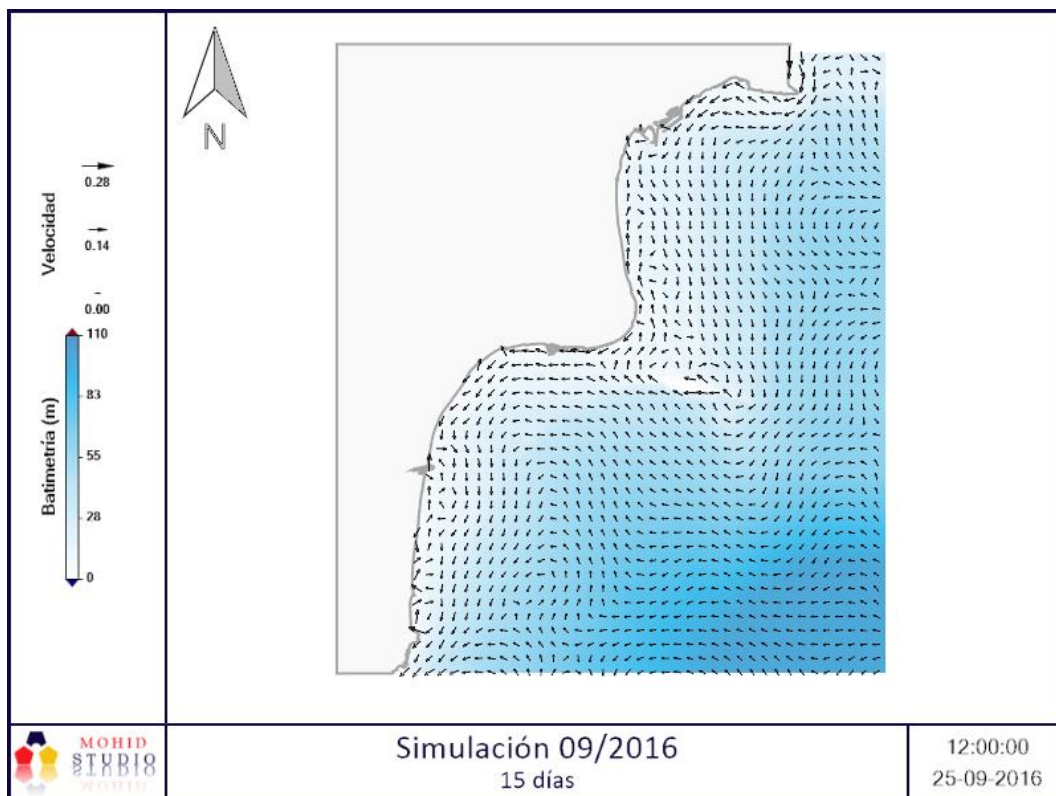
*Tabla 5. Simulaciones realizadas para el modelado de corrientes con Mohid Water.
[Elaboración propia]*

5.1. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DE MODELACIÓN

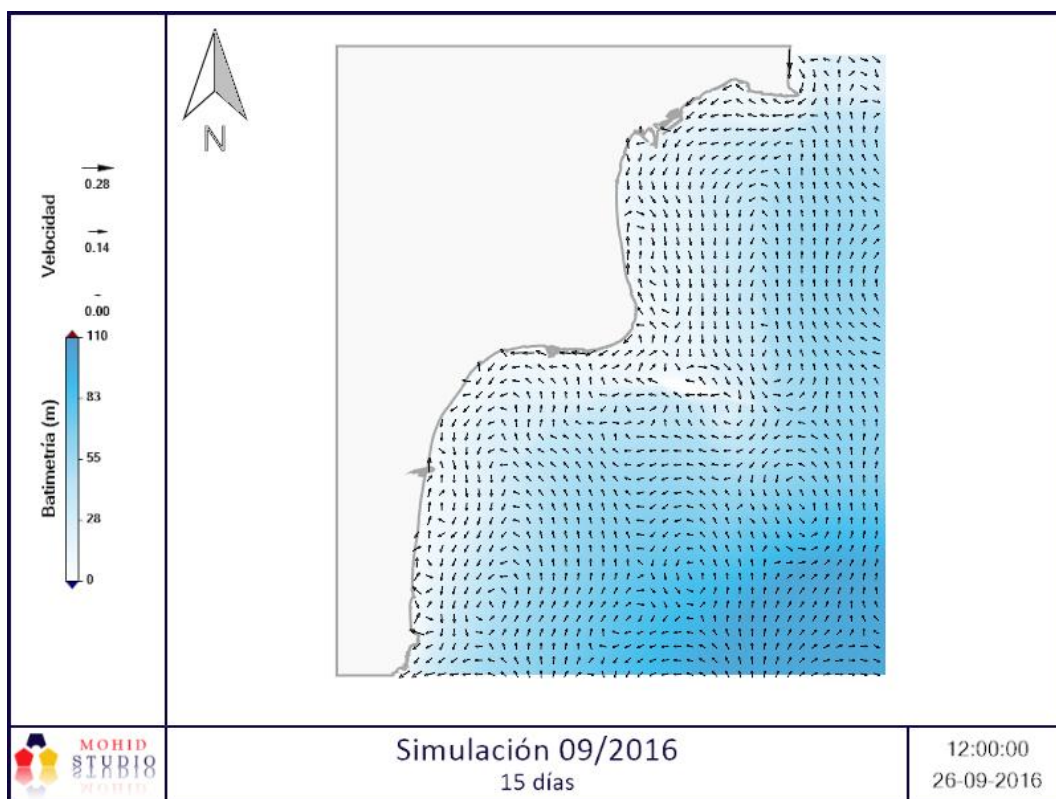
Seguidamente se realiza una exposición del conjunto de resultados más representativo del modelado de corrientes de la zona de estudio. Se muestran los resultados del momento de recogida de muestra y de 24 horas antes al momento de recogida de muestras. Se exponen los resultados de las Simulaciones 1, 3 y 5 tratarse del modelo de malla general.

Cabe destacar que el conjunto de resultados gráficos del modelado del sistema de corrientes para las 6 simulaciones realizadas se adjunta en el *Apéndice 1* de este mismo anejo.

SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días

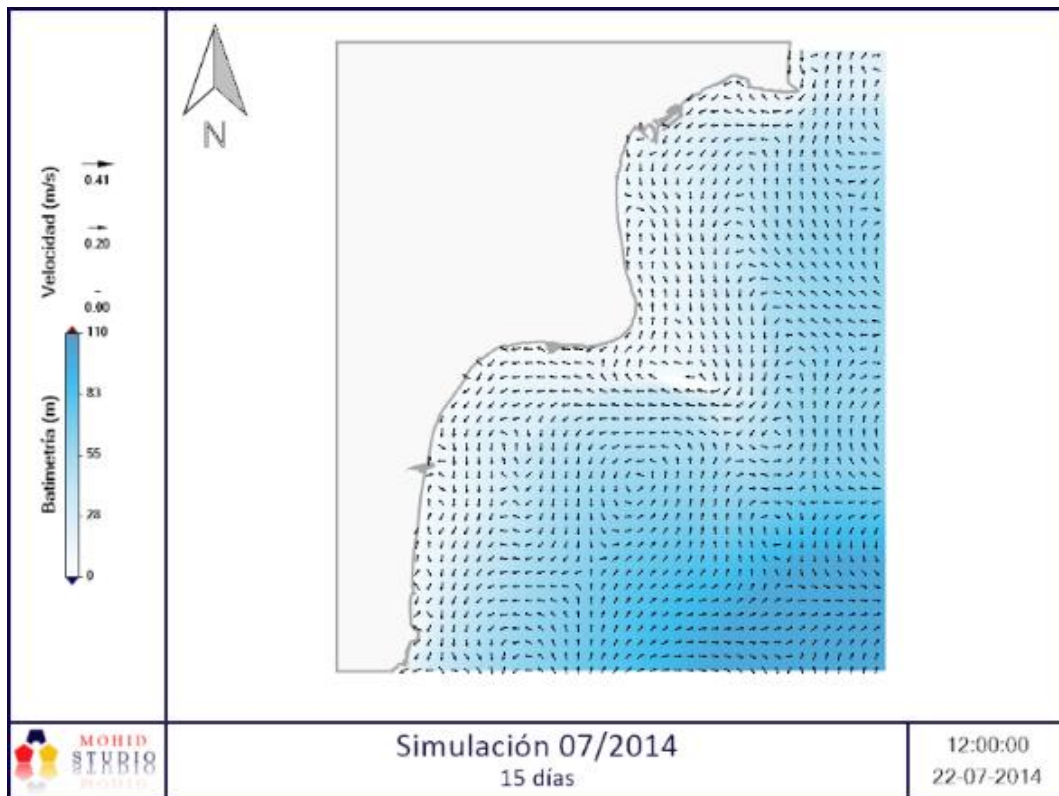


*Figura 22. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 25/09/2016.
[Elaboración propia]*

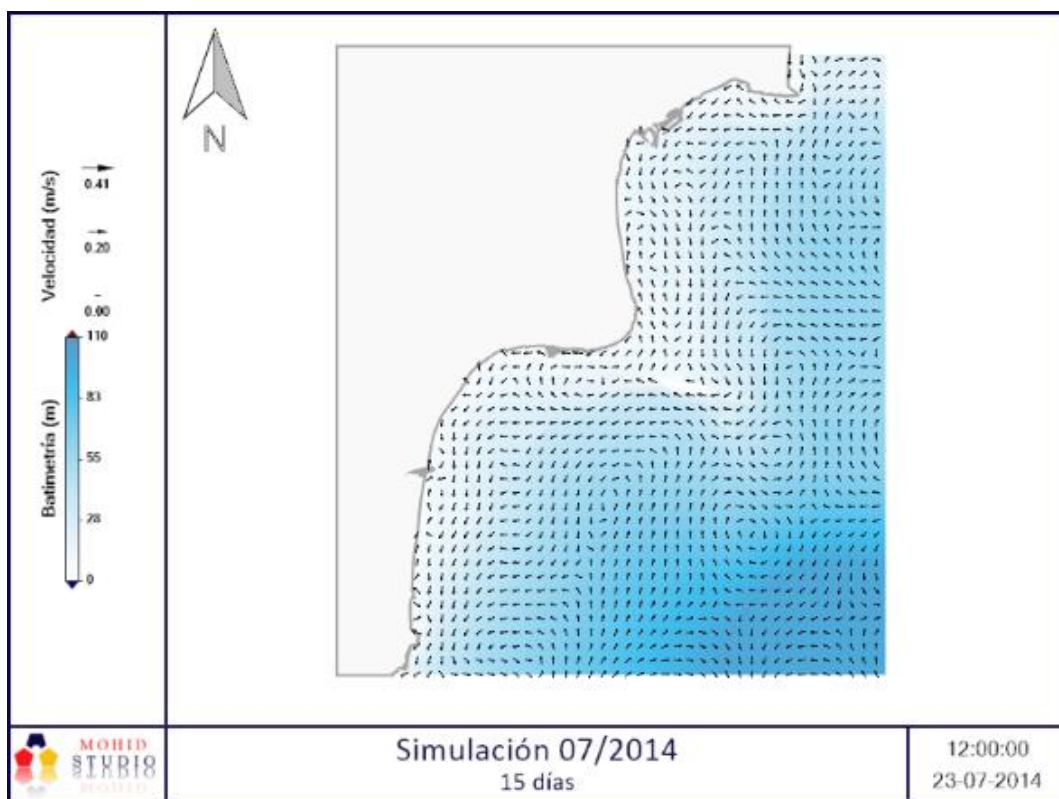


*Figura 23. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 26/09/2016.
[Elaboración propia]*

SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días

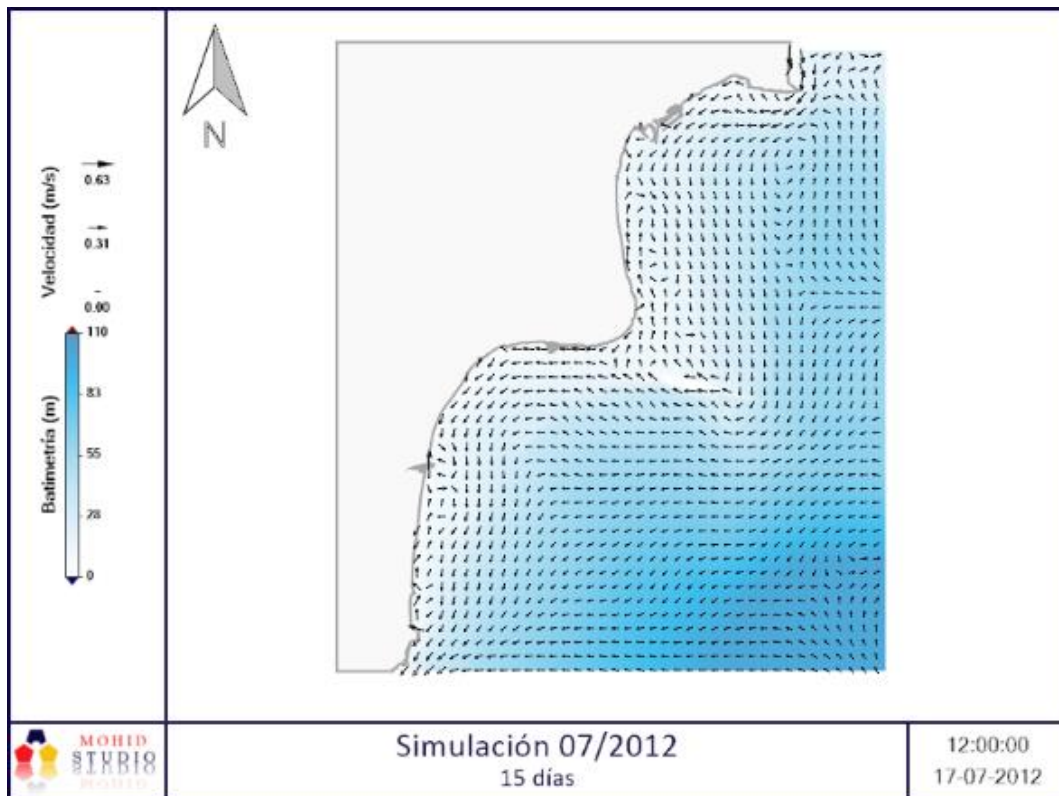


*Figura 24. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 22/07/2014.
[Elaboración propia]*

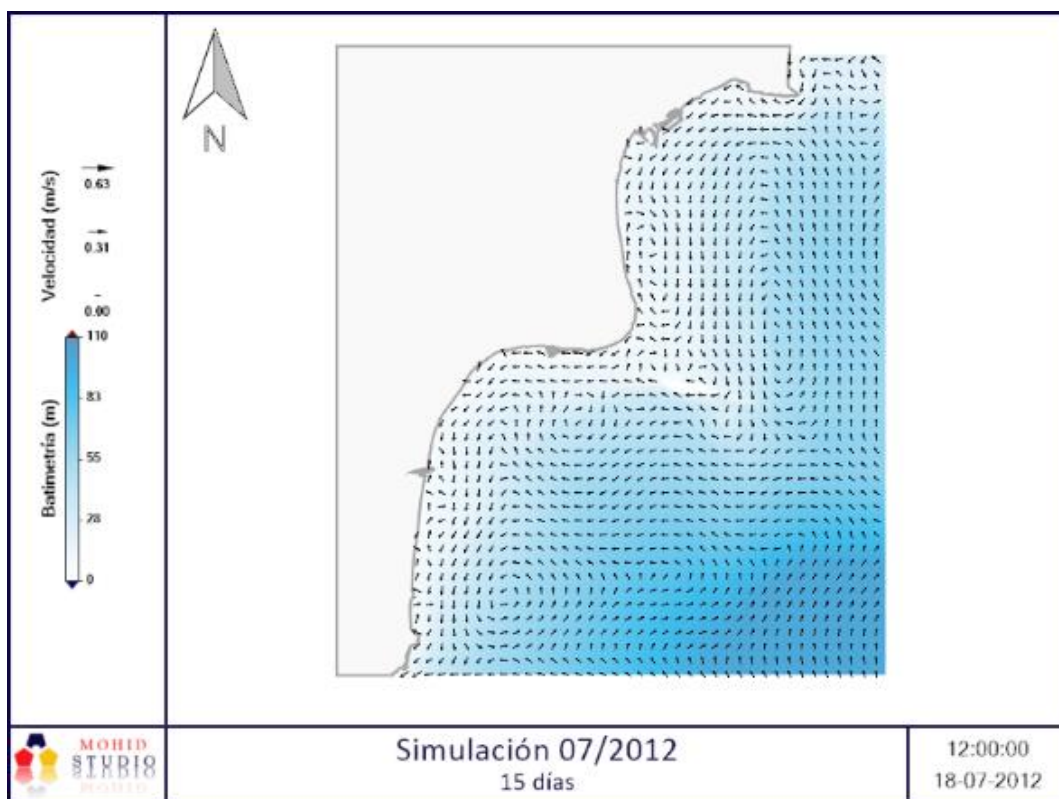


*Figura 25. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 23/07/2014.
[Elaboración propia]*

SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días



*Figura 26. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 17/07/2012.
[Elaboración propia]*



*Figura 27. Modelado del sistema de corrientes en el instante 12:00h 18/07/2012.
[Elaboración propia]*

5.2. SÍNTESIS DE RESULTADOS DE MODELACIÓN DE CORRIENTES

Las Figuras 22-27 muestran los resultados del modelado de corrientes de la zona de estudio, en el momento de recogida de muestras y 24 horas antes al momento de recogida de muestras.

Cabe destacar que, como se describe con mayor detalle en el apartado 5. Descripción de las simulaciones del Anejo nº4, las tres simulaciones realizadas corresponden a campañas de muestreo en las que se ha detectado un elevado nivel del indicador *Fitoplancton* en la estación DP115. Esta estación se ubica en la zona Sur del Cabo de Santa Pola como se indica en la Figura 1 de este anejo.

En base al sistema de corrientes modelado y partiendo de la ubicación de la estación DP115, se observa cómo, para los tres periodos de simulación mostrados anteriormente, se da la existencia de corrientes de Norte a Sur en la línea de costa de la zona de ubicación de la estación.

También destaca la influencia de la isla de Tabarca en el sistema de corrientes. Se observa como las corrientes de la zona Sur de la isla tienen una dirección Norte - Sur. Una vez estas corrientes alcanzan la isla, toman una dirección Este - Noroeste.

Cabe mencionar que las velocidades de corriente en todas las simulaciones tienen el mismo orden de magnitud: velocidades bajas en zonas de mar adentro (1-5 cm/s), alcanzando los mayores valores en la línea de costa (5-30cm/s).

6. CONCLUSIÓN

El presente anejo ha tratado el estudio de la dinámica litoral de las masas de agua costera C016, C017 y C018. En base a lo descrito en los Anejo nº1 y nº2 en relación a la caracterización del área de análisis, la definición del clima marítimo y la propagación del oleaje por toda la zona de estudio, se ha realizado el cálculo analítico del transporte de partículas para obtener una primera aproximación de la procedencia de las partículas contaminantes que alcanzan el área de estudio.

En base a los cálculos realizados y la representación gráfica de los mismos, se observa que la procedencia de las partículas en las 48 anteriores a la toma de muestras proceden de ubicaciones situadas a distancias de entre 1 y 3 km, con direcciones entre Este y Noreste de las estaciones. Estos cálculos ofrecen resultados aproximados, los cuales aportan una primera aproximación casuística estudiada.

Posteriormente se ha modelado el sistema de corrientes de la zona con la herramienta MOHID Water. Para ello, se han empleado los resultados de la propagación del oleaje obtenidos por el modelo SWAN. Los resultados del modelado de corrientes serán empleados como dato de entrada del modelo de dispersión de contaminantes, también realizado con la herramienta MOHID Water.

Los resultados obtenidos del modelado de corrientes indican la existencia de corrientes de Norte a Sur en la línea de costa de la zona de ubicación de la estación DP115 (lugar de recogida de muestra con altos niveles en el indicador *Fitoplancton*). Además, la Isla de Tabarca parece afectar al sistema de corrientes causando un cambio de dirección: corrientes con dirección Norte - Sur que, que una vez alcanzan la isla, toman una dirección Este - Noroeste.

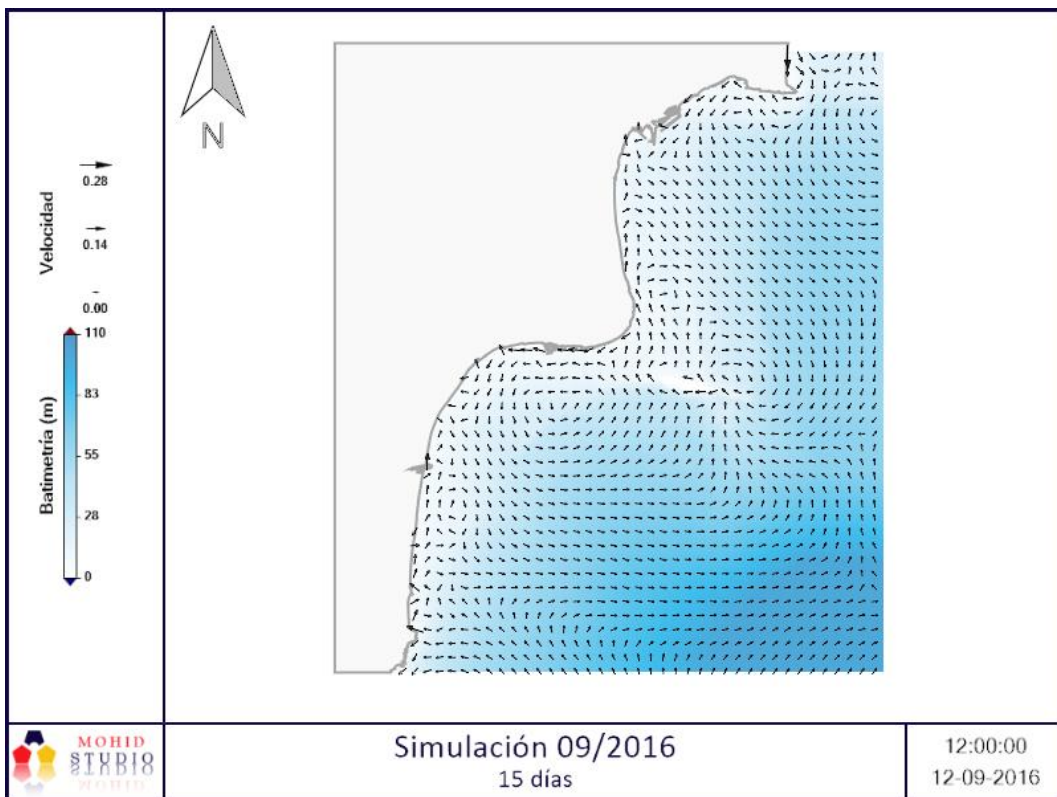
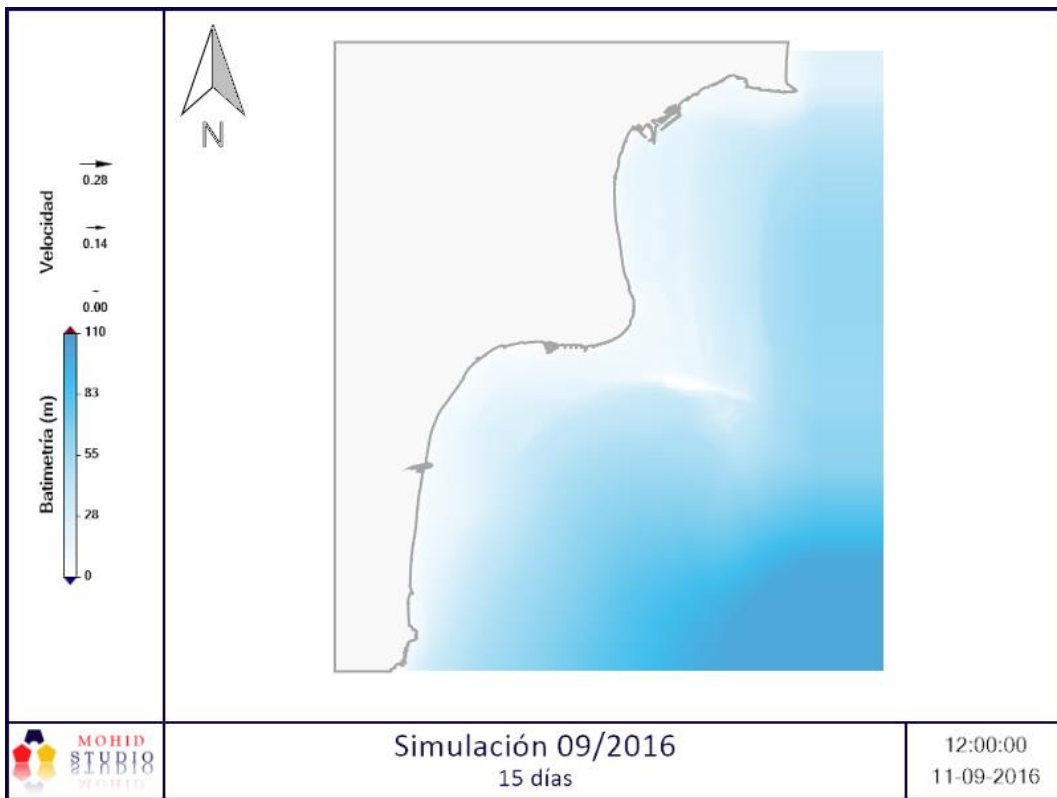
Teniendo en consideración los valores generales de las velocidades de corriente de las simulaciones realizadas, con velocidades bajas en zonas de mar adentro (1-5 cm/s), alcanzando los mayores valores en la línea de costa (5-30cm/s), se observa una gran similitud con los resultados obtenidos para la trayectoria de las partículas en 48h por cálculo analítico, tanto en la dirección de procedencia como en la distancia recorrida por las partículas.

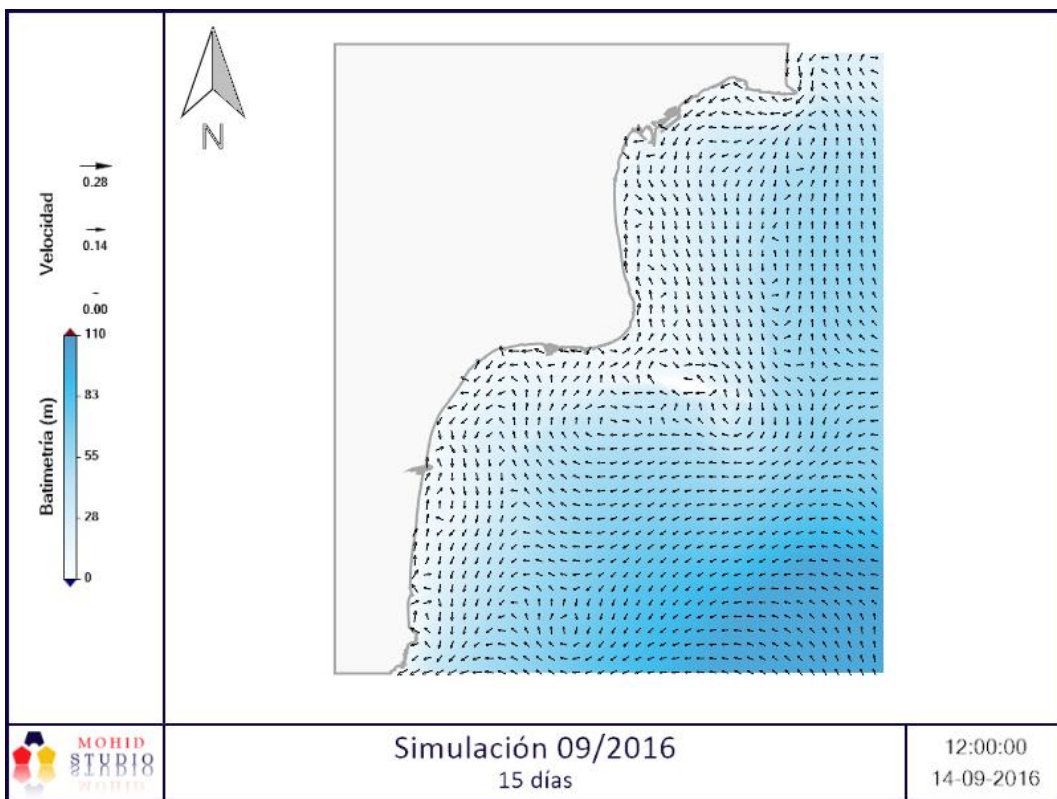
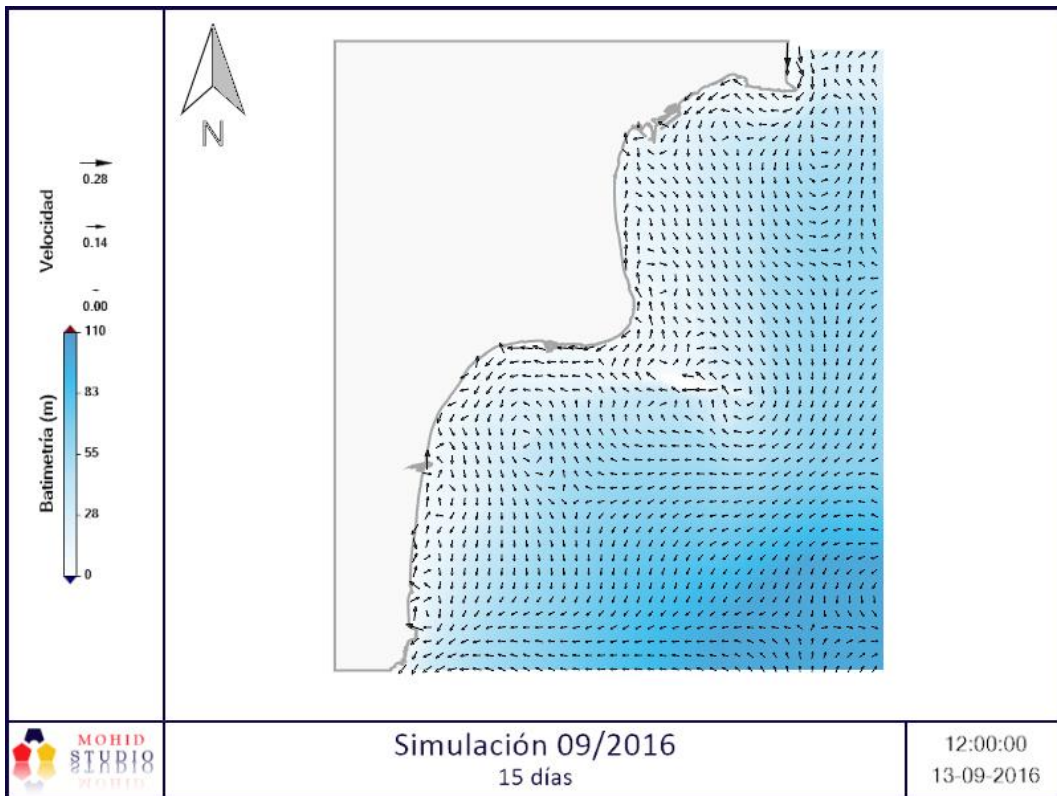
APÉNDICE 1.

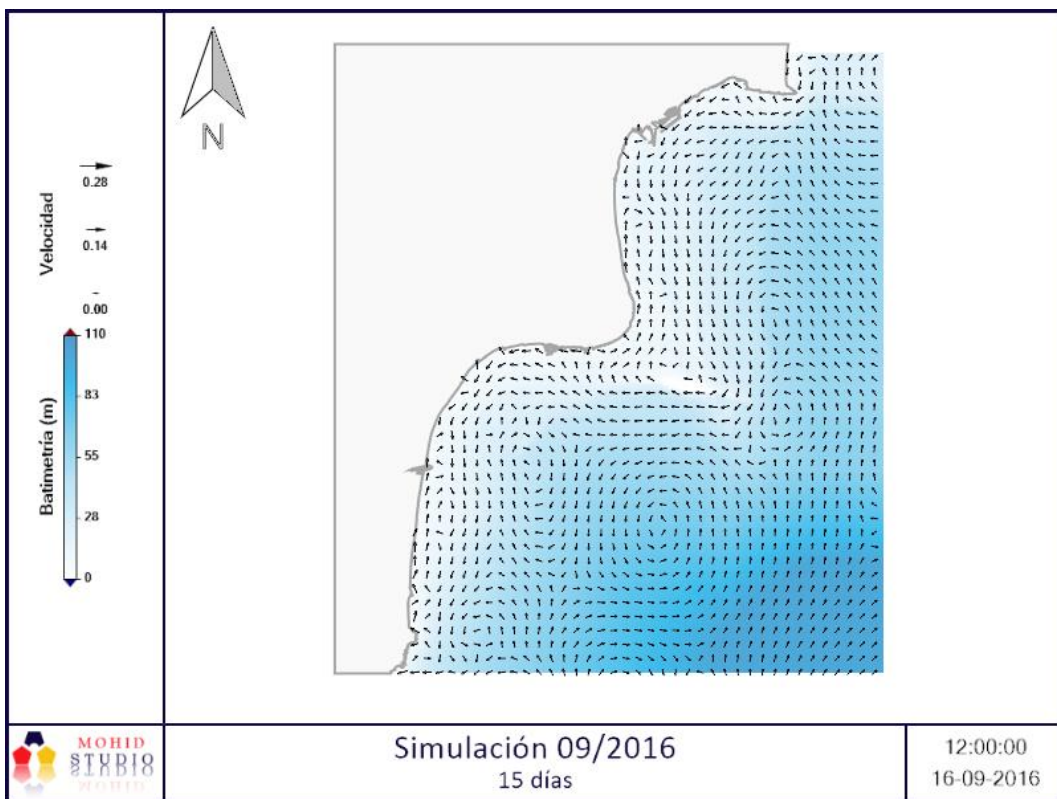
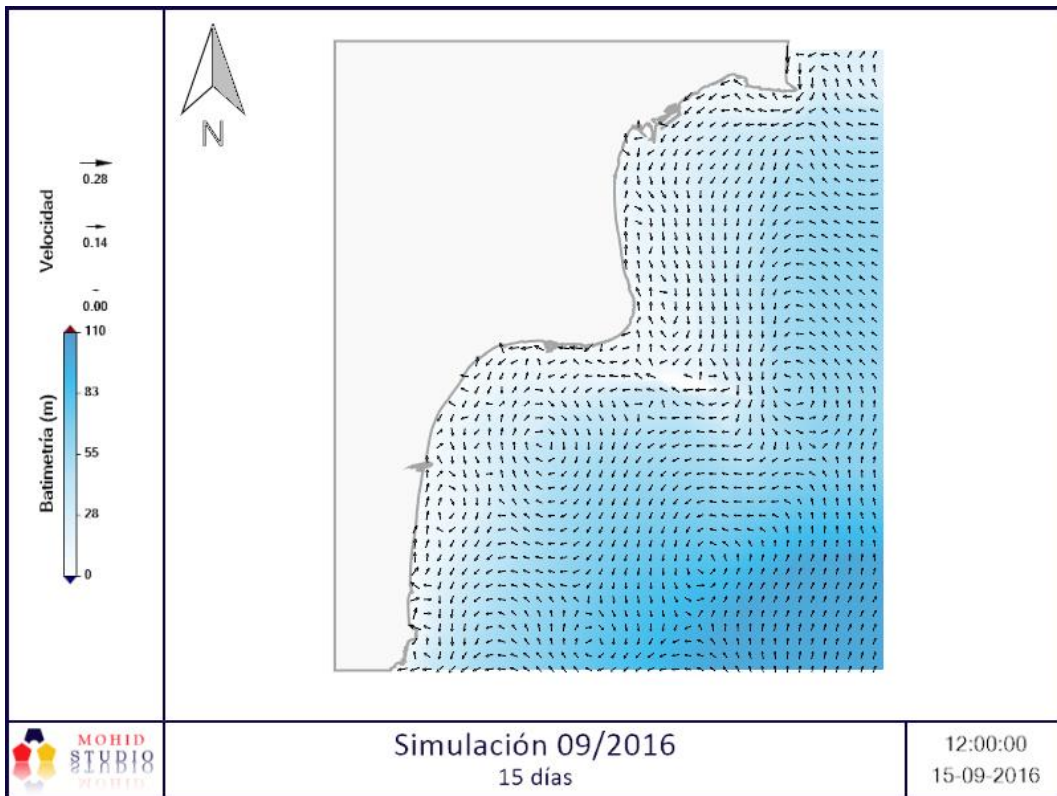
CONJUNTO DE RESULTADOS GRÁFICOS DEL SISTEMAS DE CORRIENTES

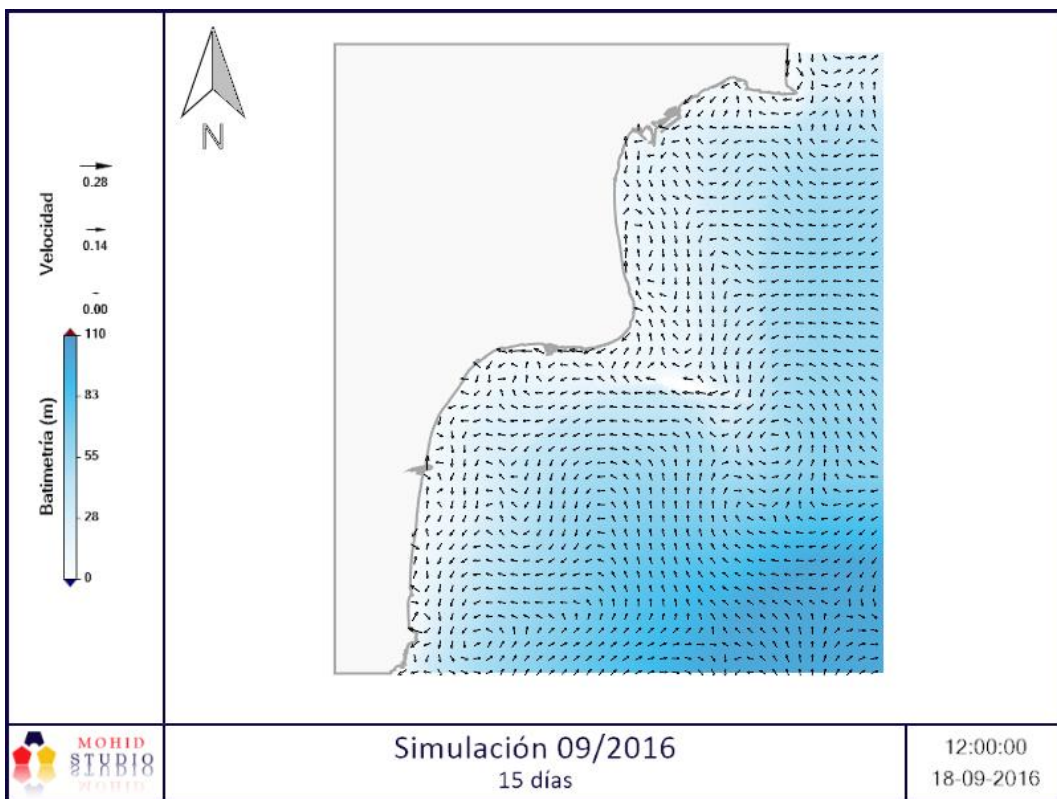
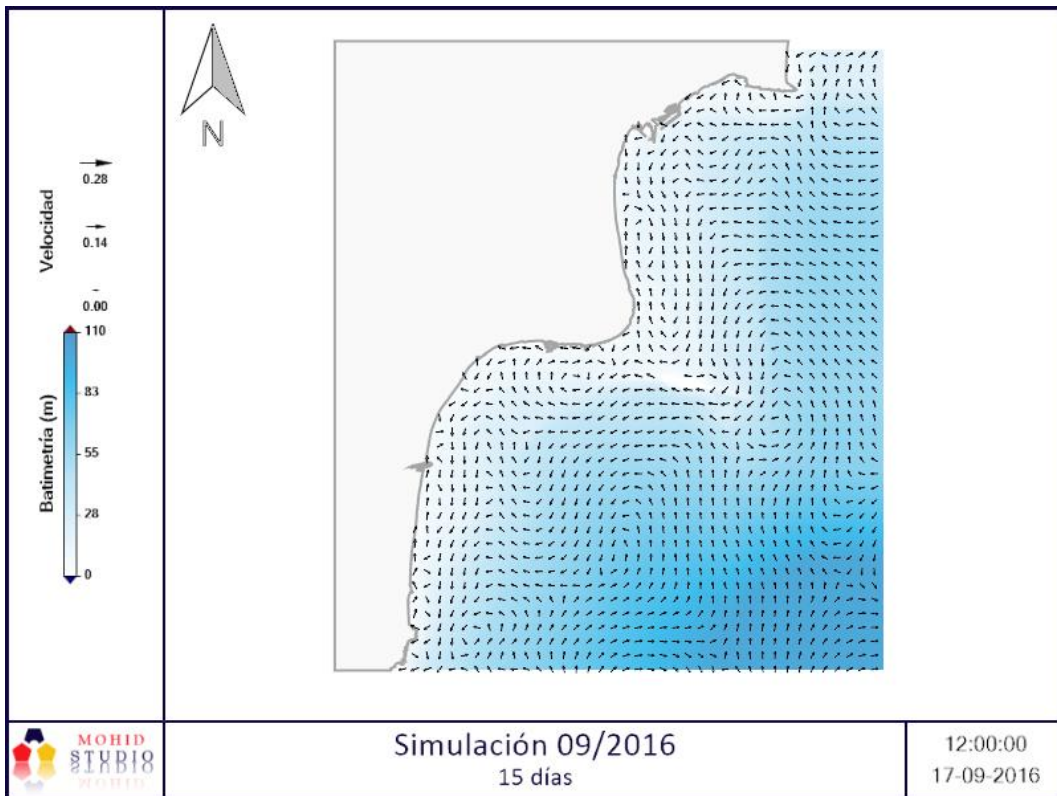
| | |
|---------------------------------------|----|
| SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días | 2 |
| SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días | 10 |
| SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días | 22 |
| SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días | 30 |
| SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días | 42 |
| SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días | 50 |

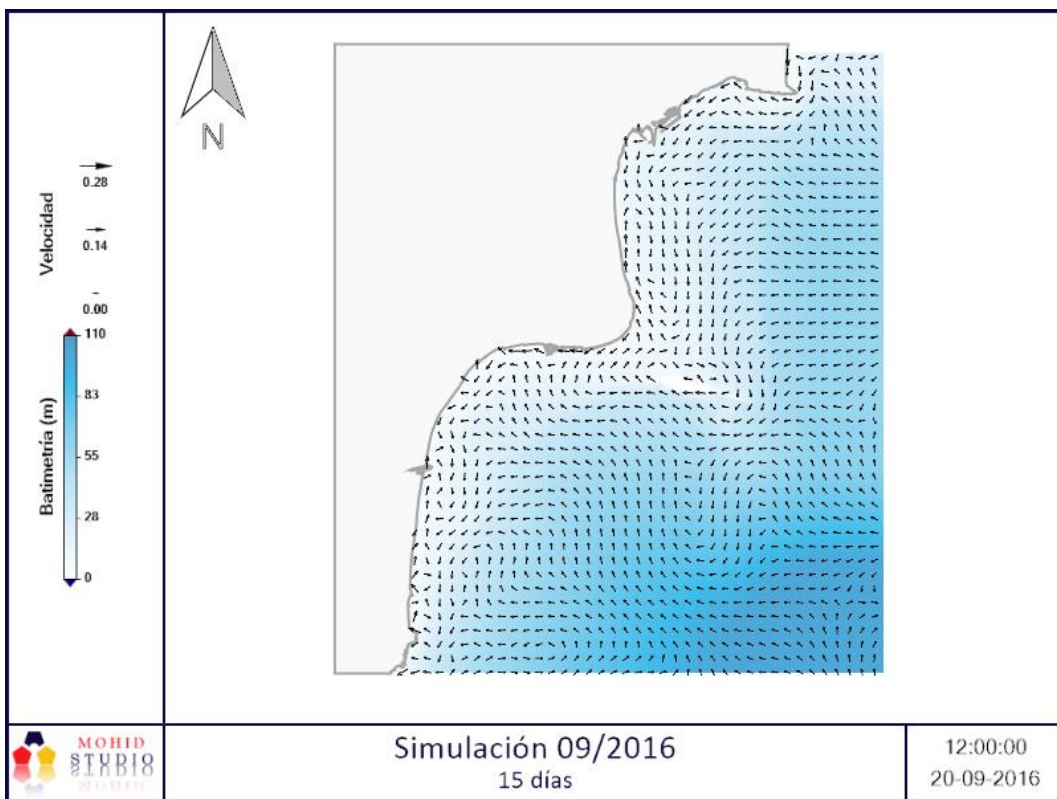
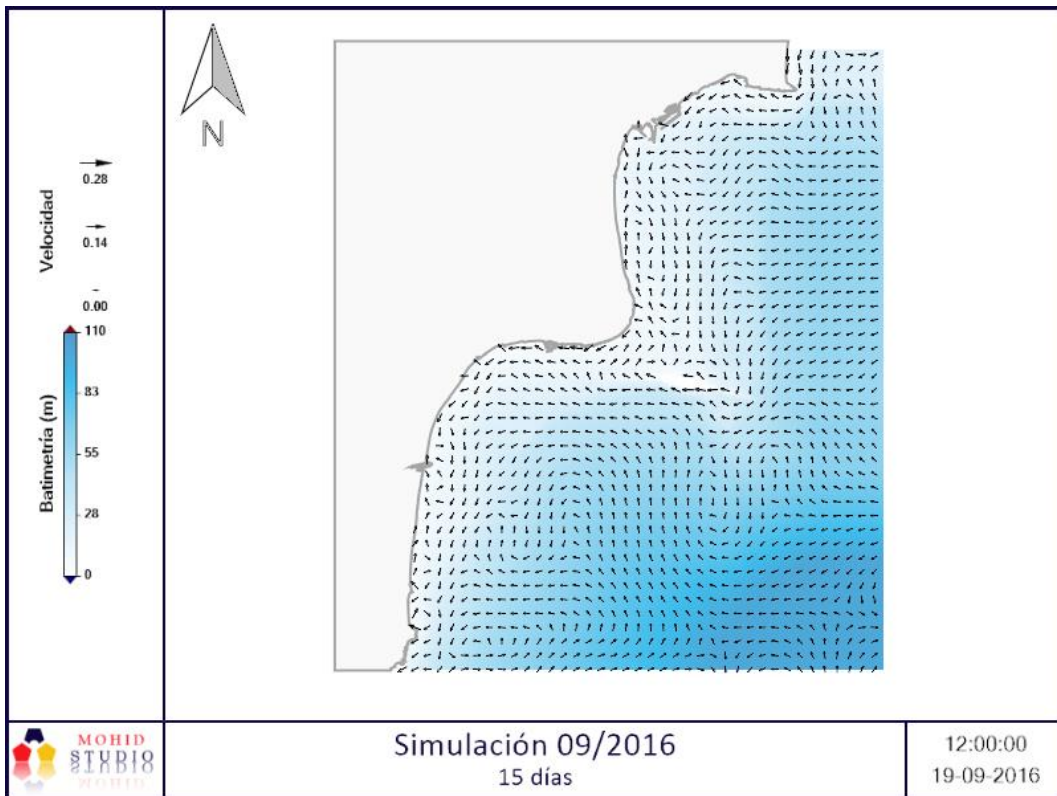
SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días

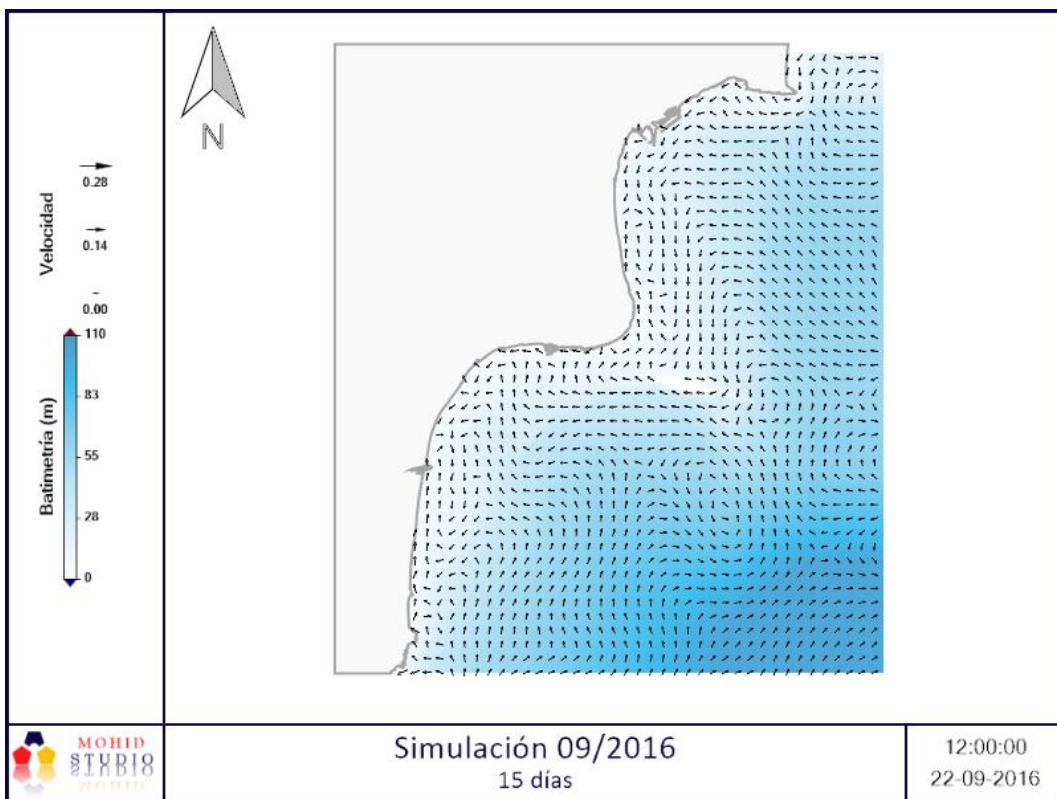
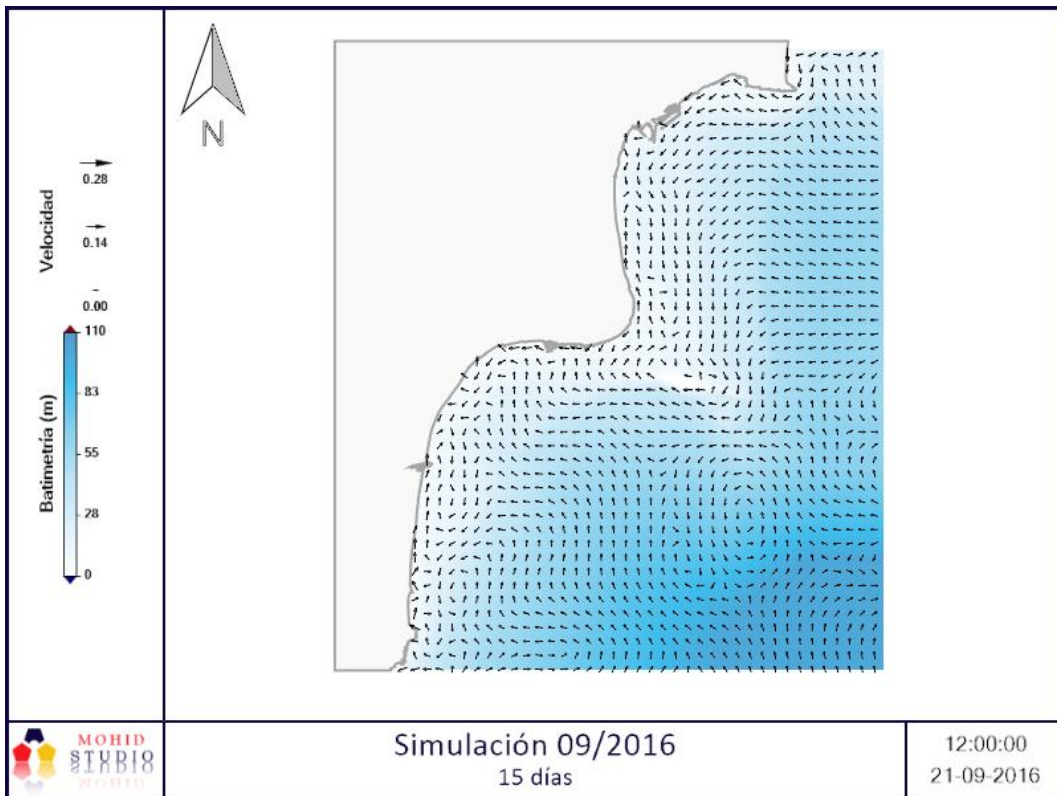


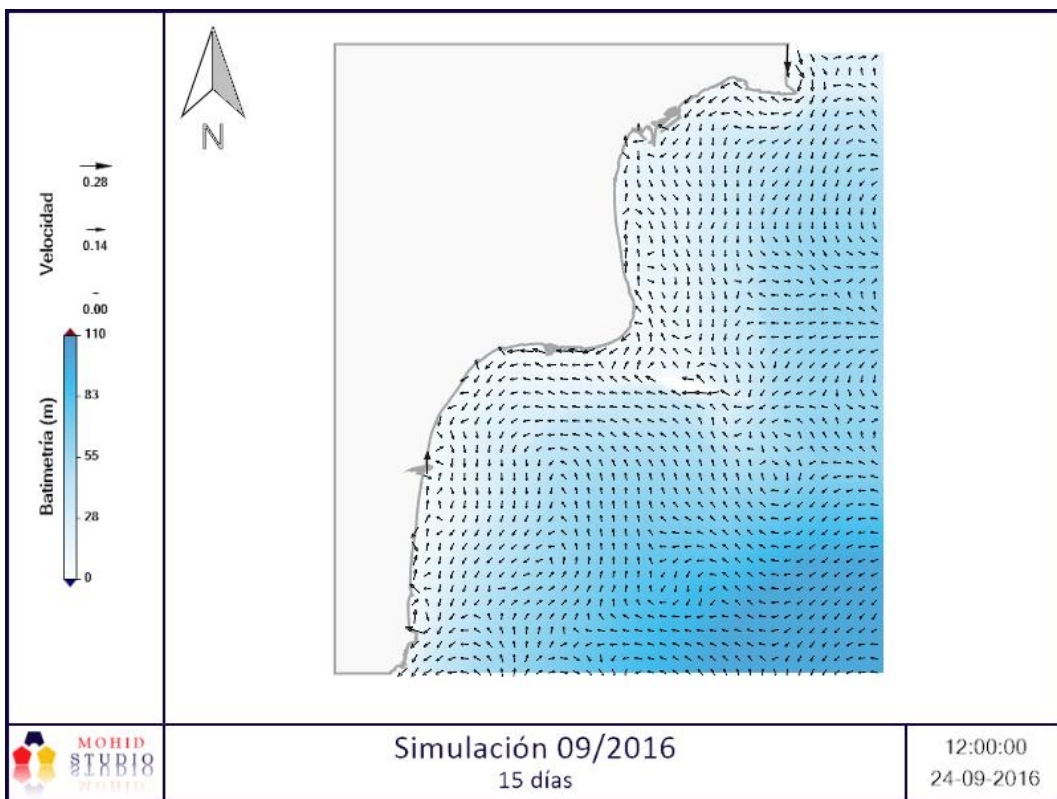
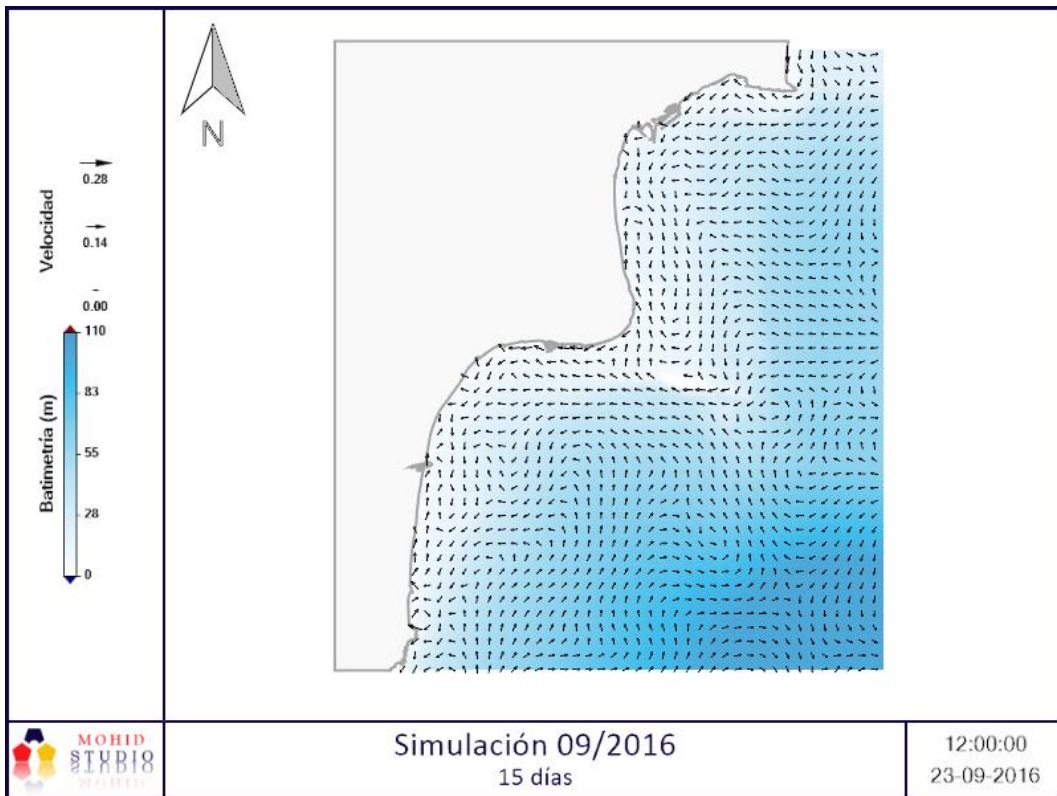


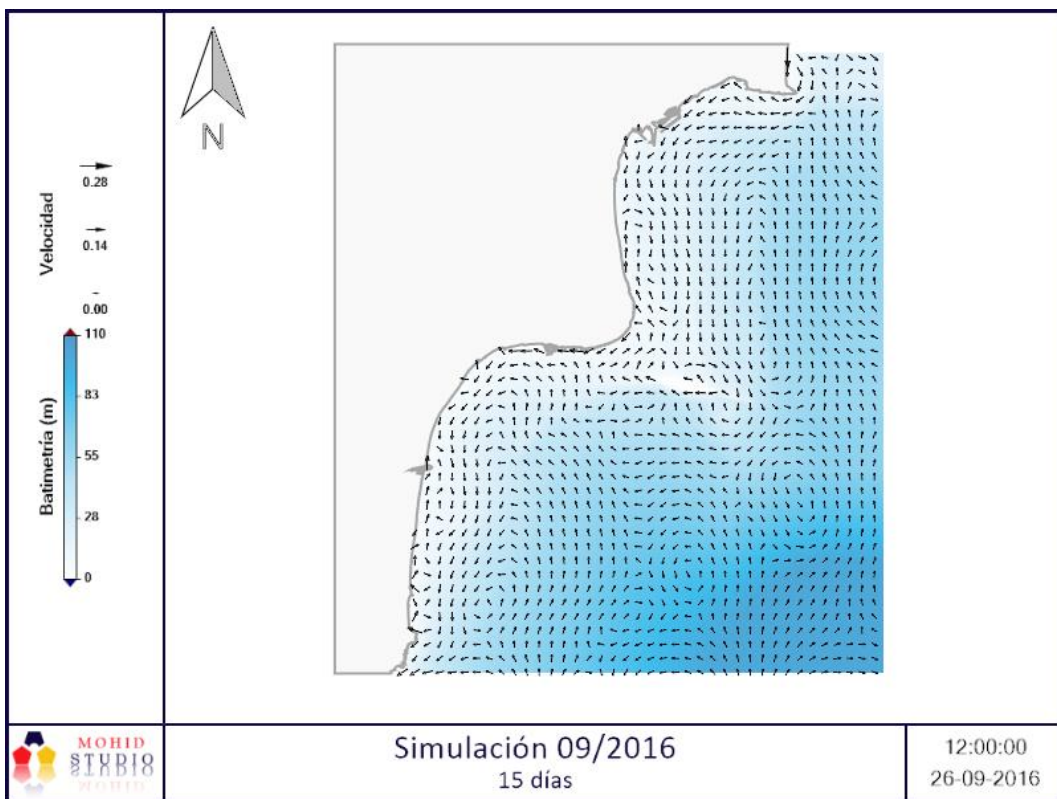
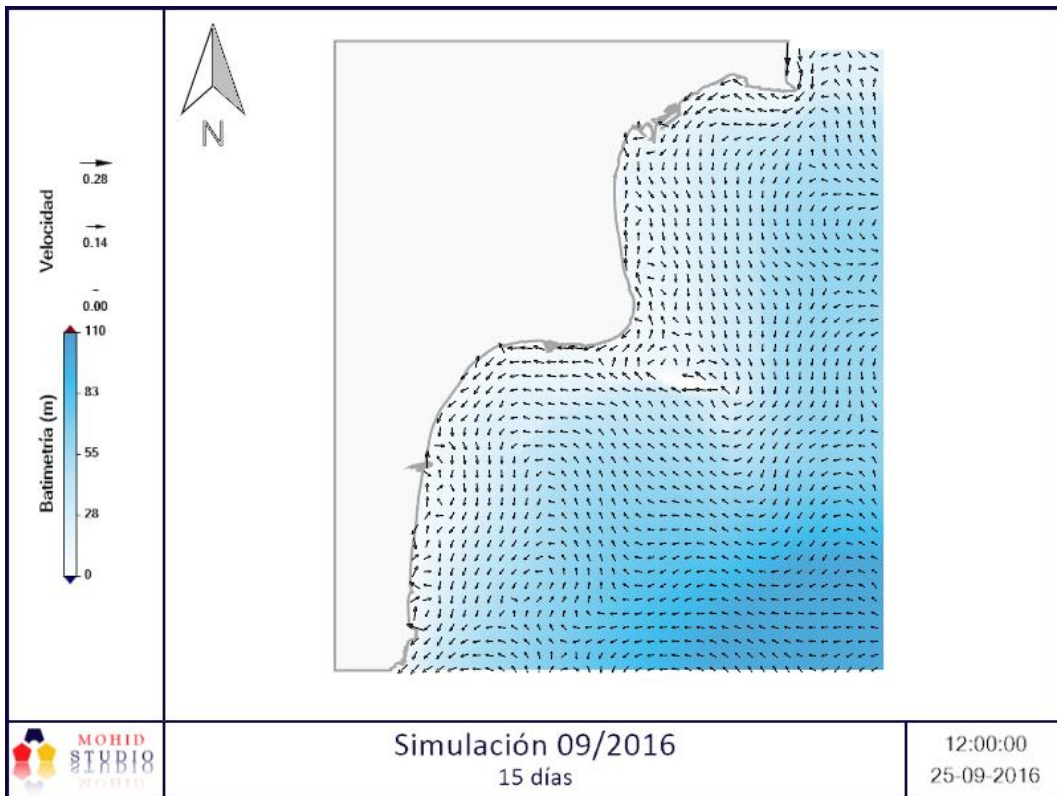




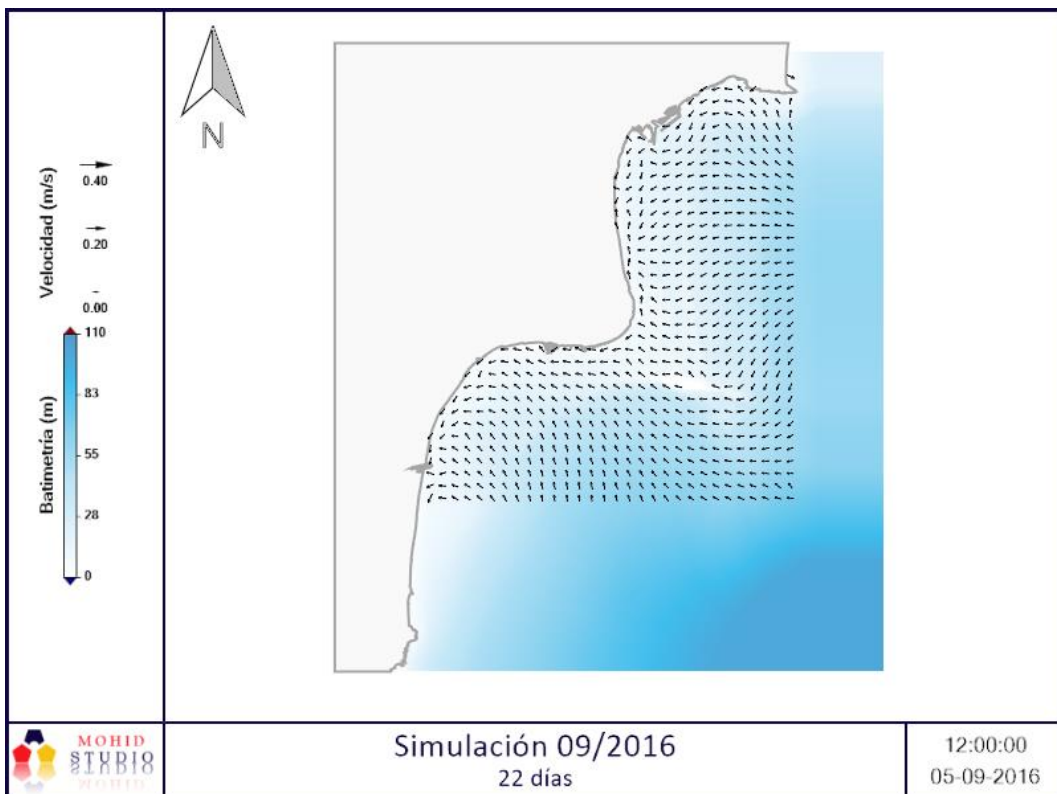
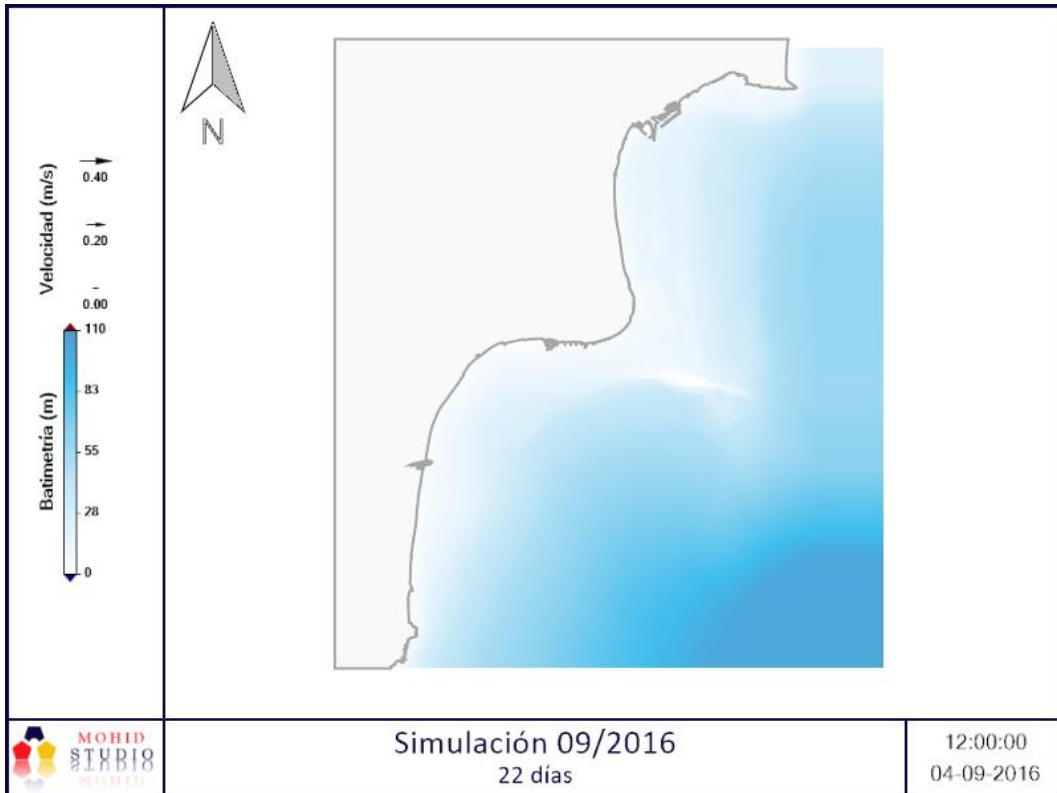


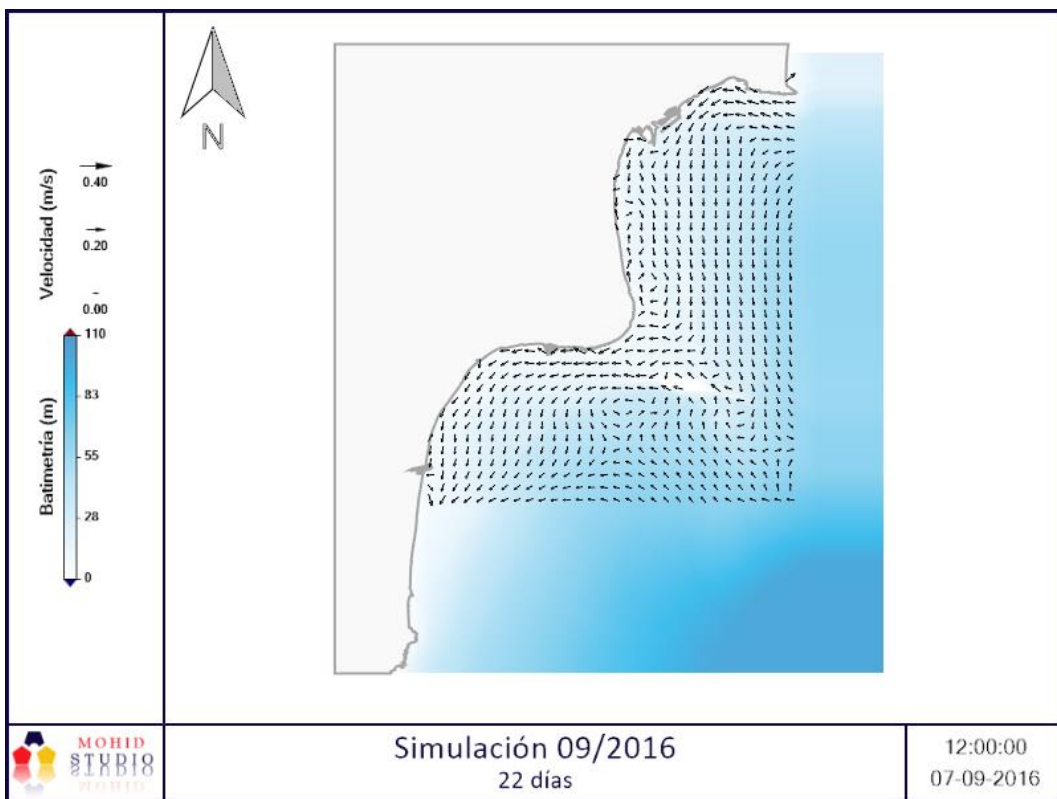
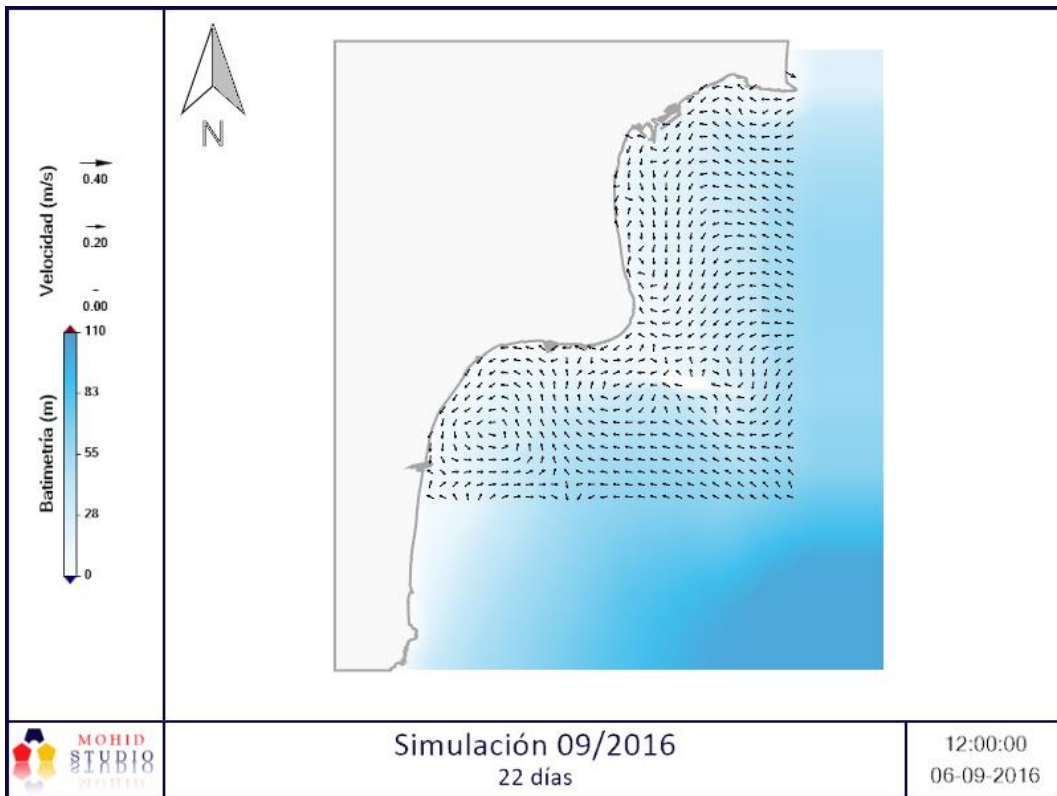


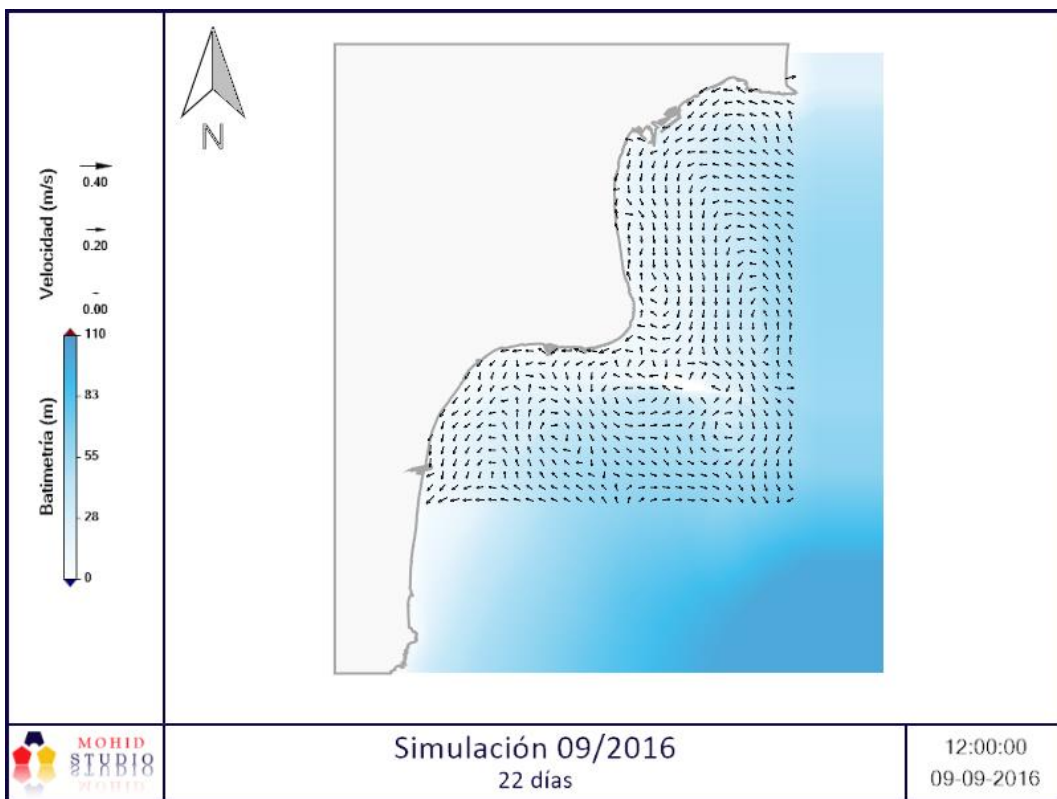
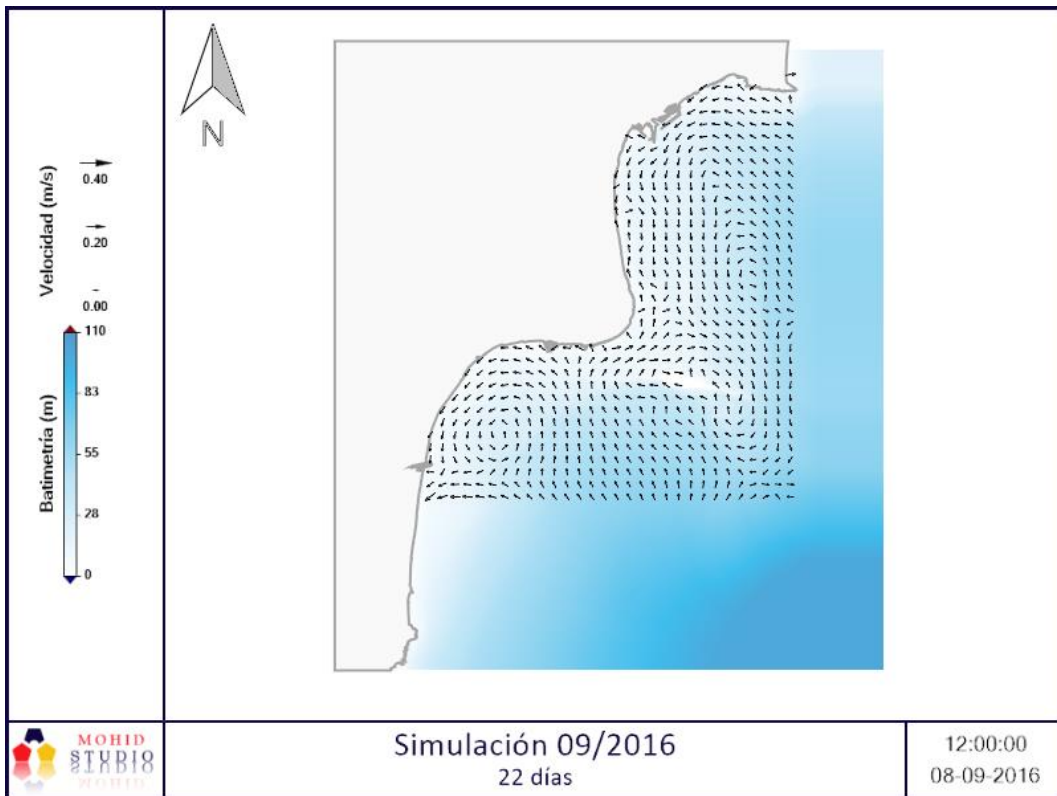


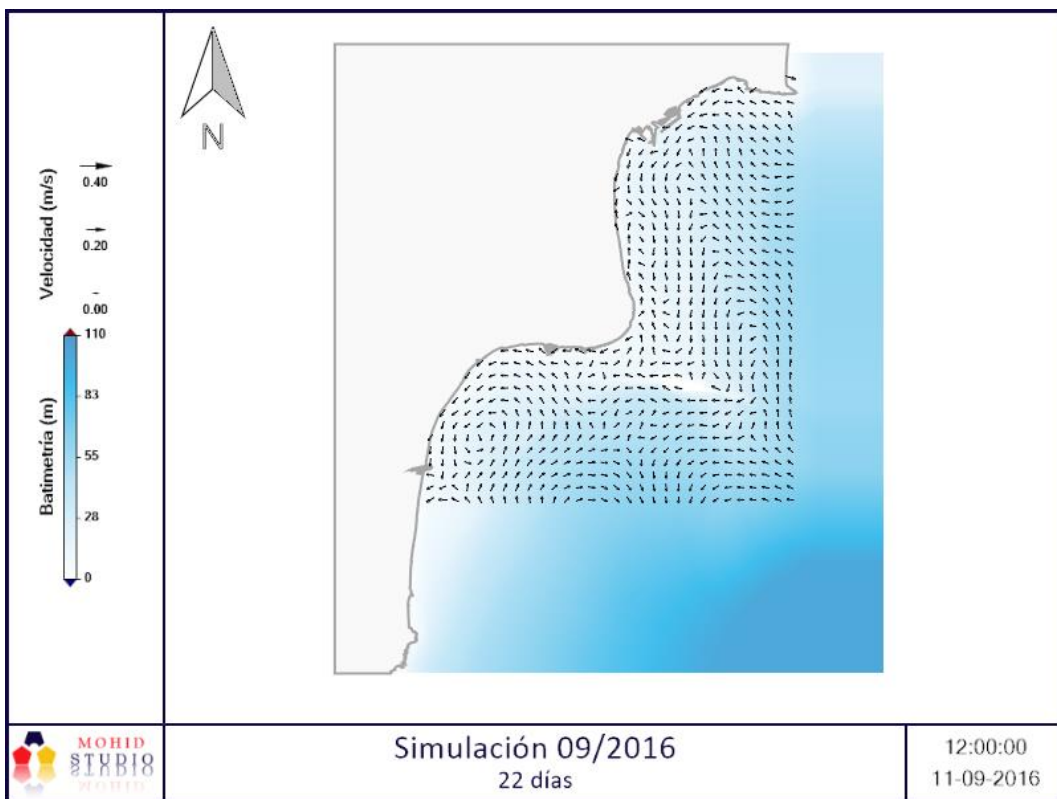
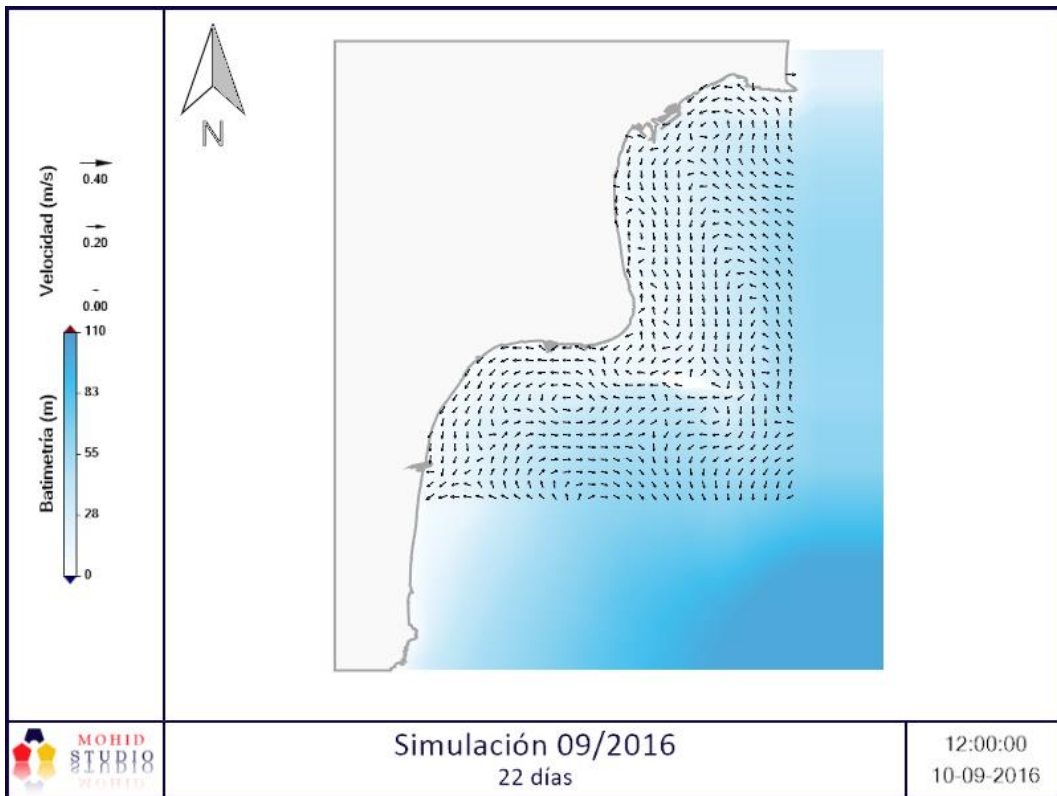


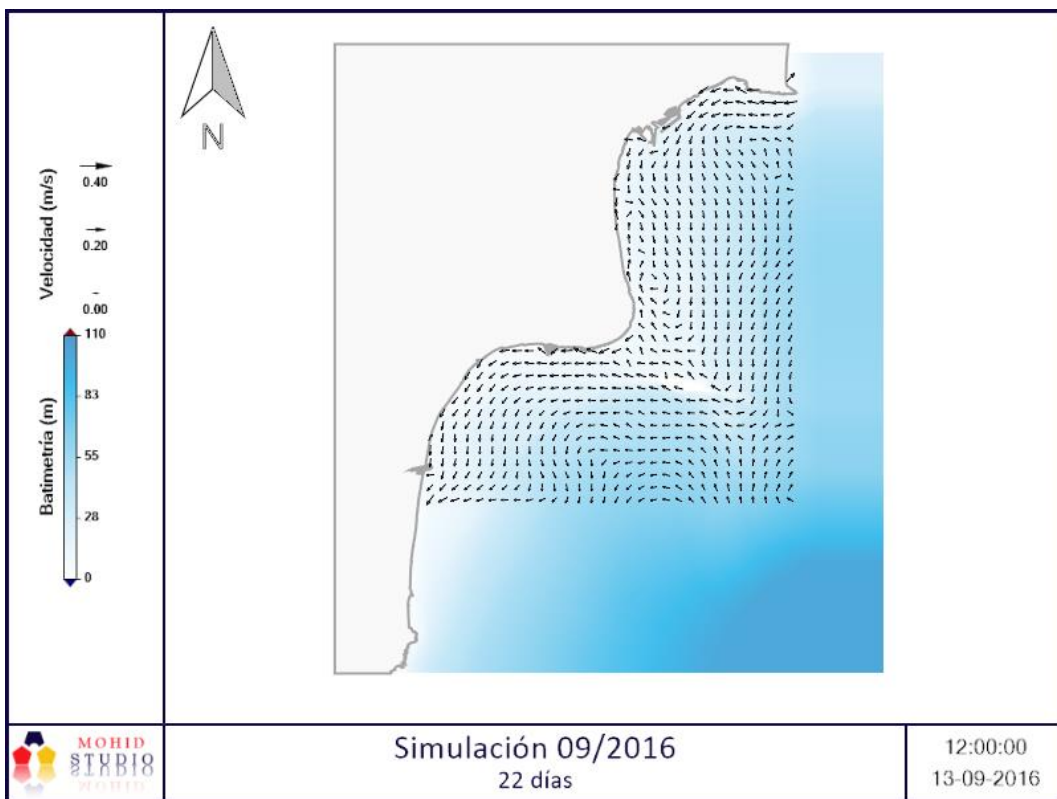
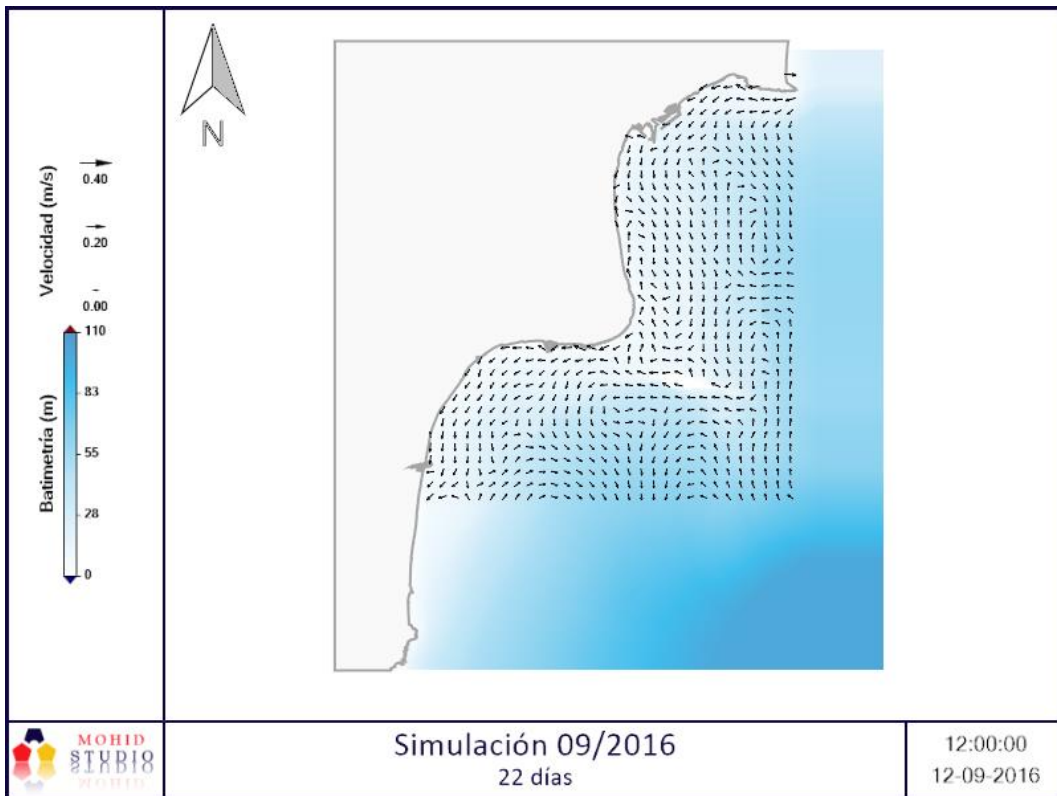
SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días

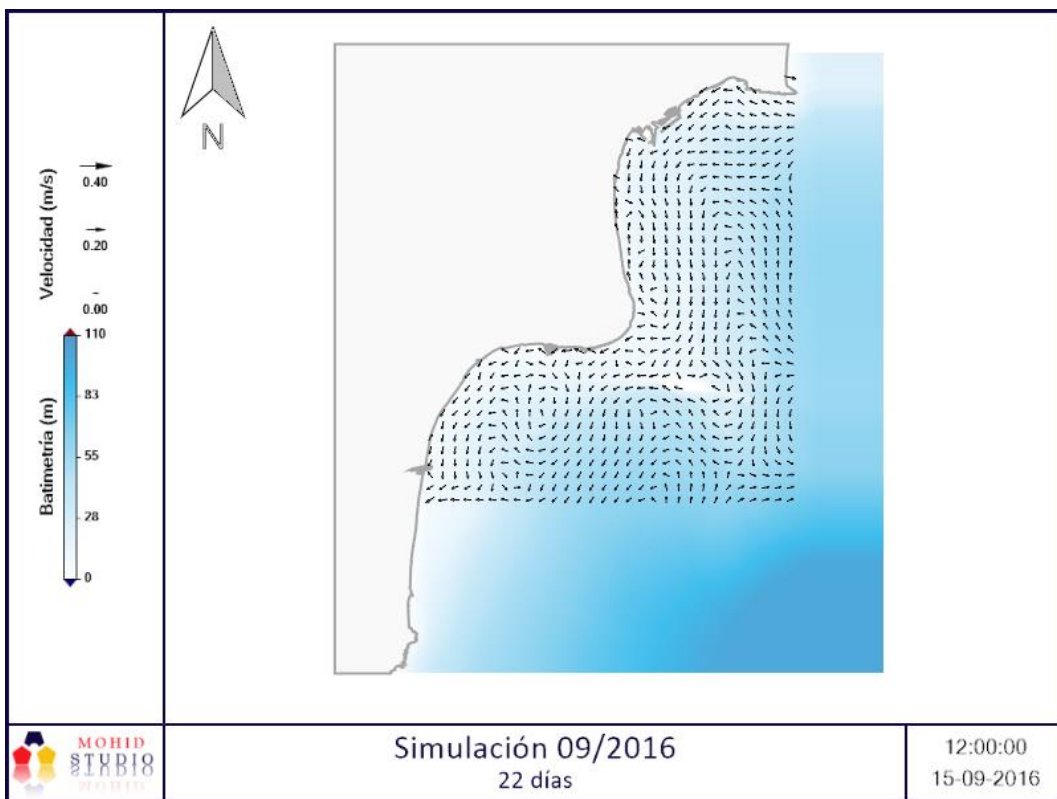
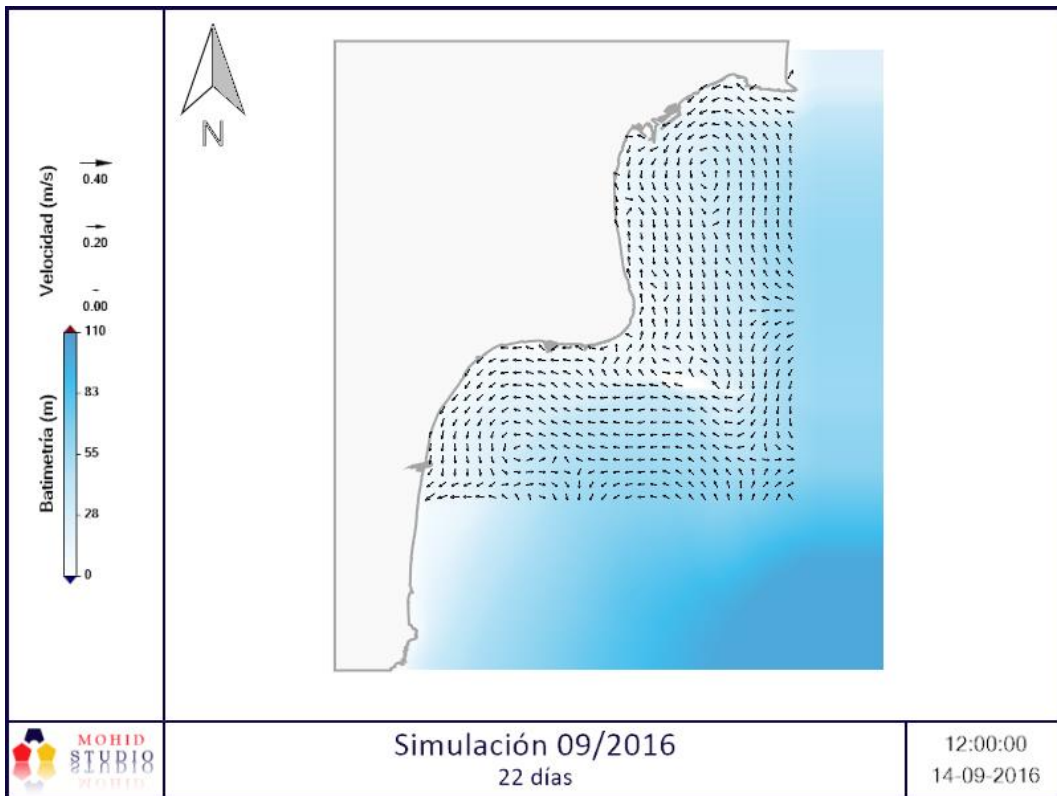


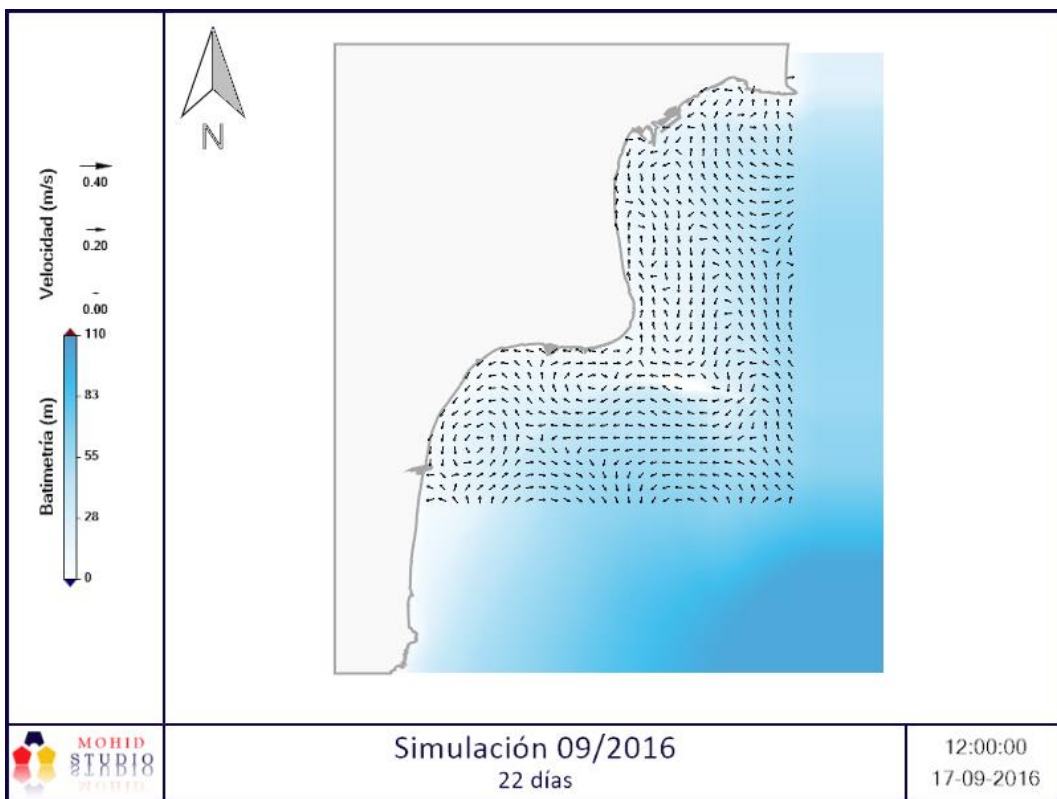
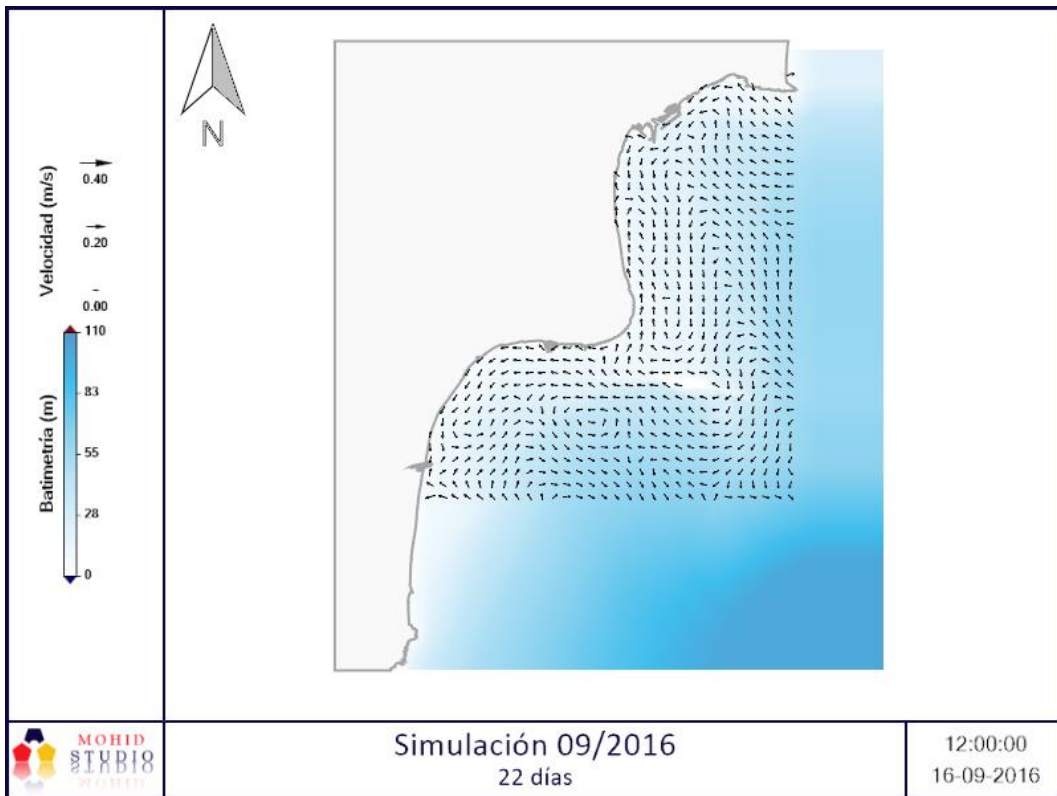


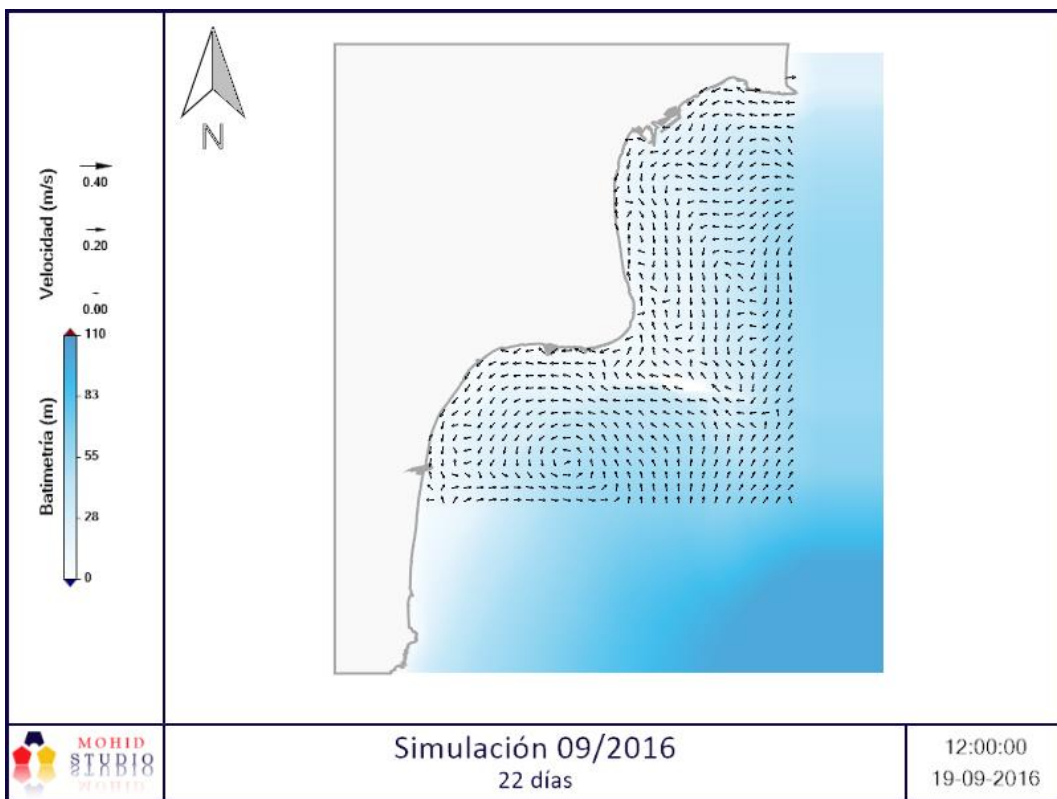
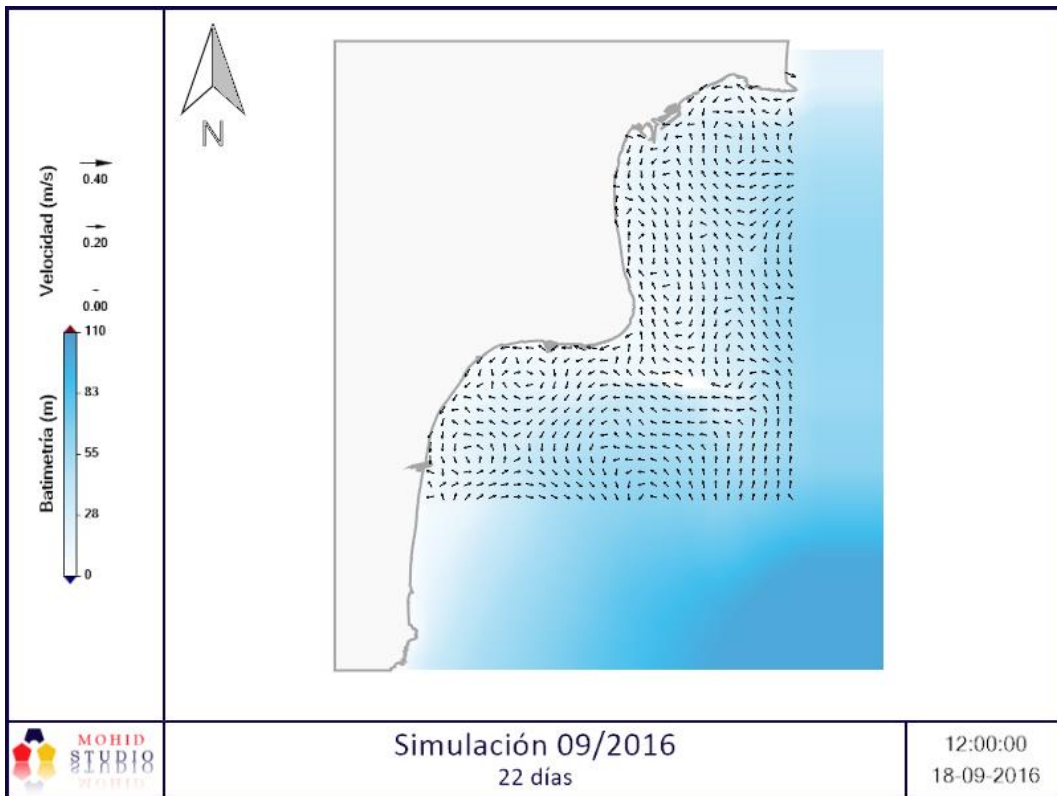


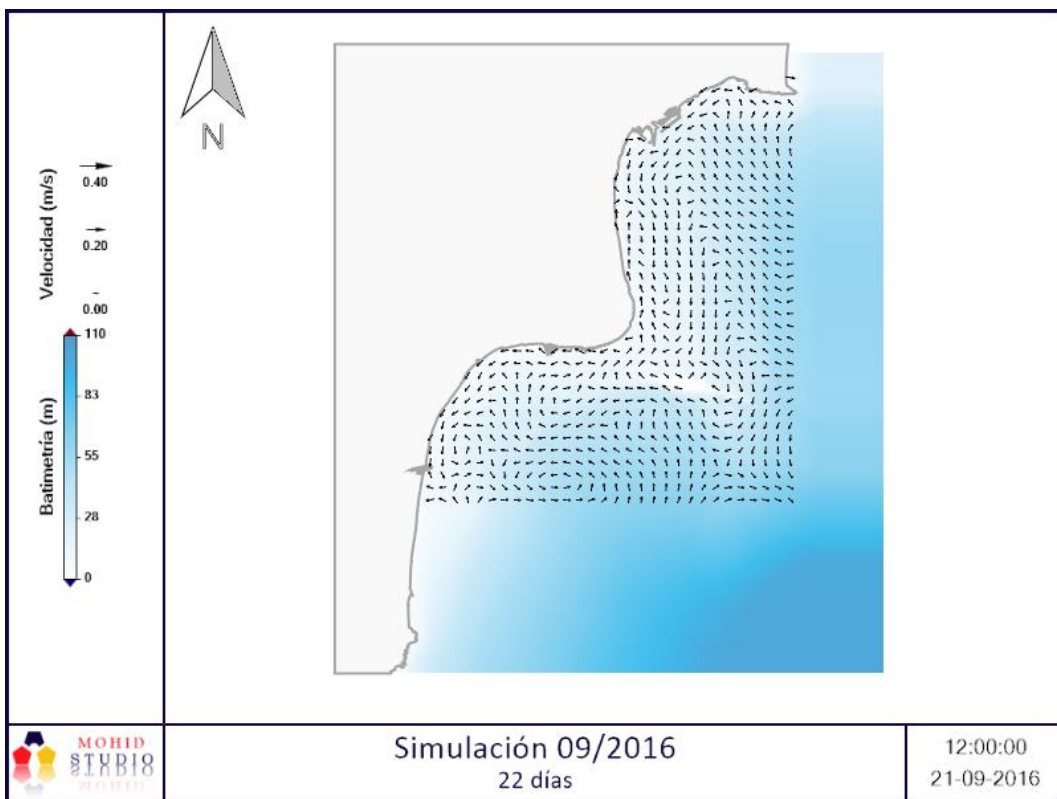
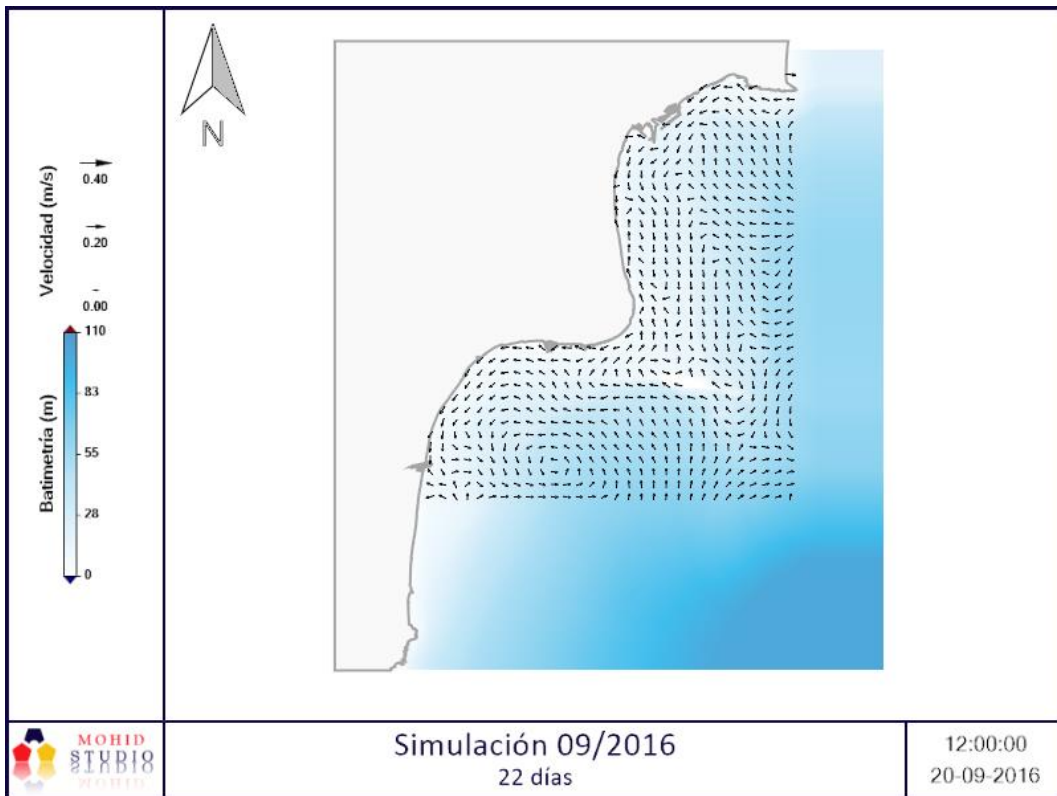


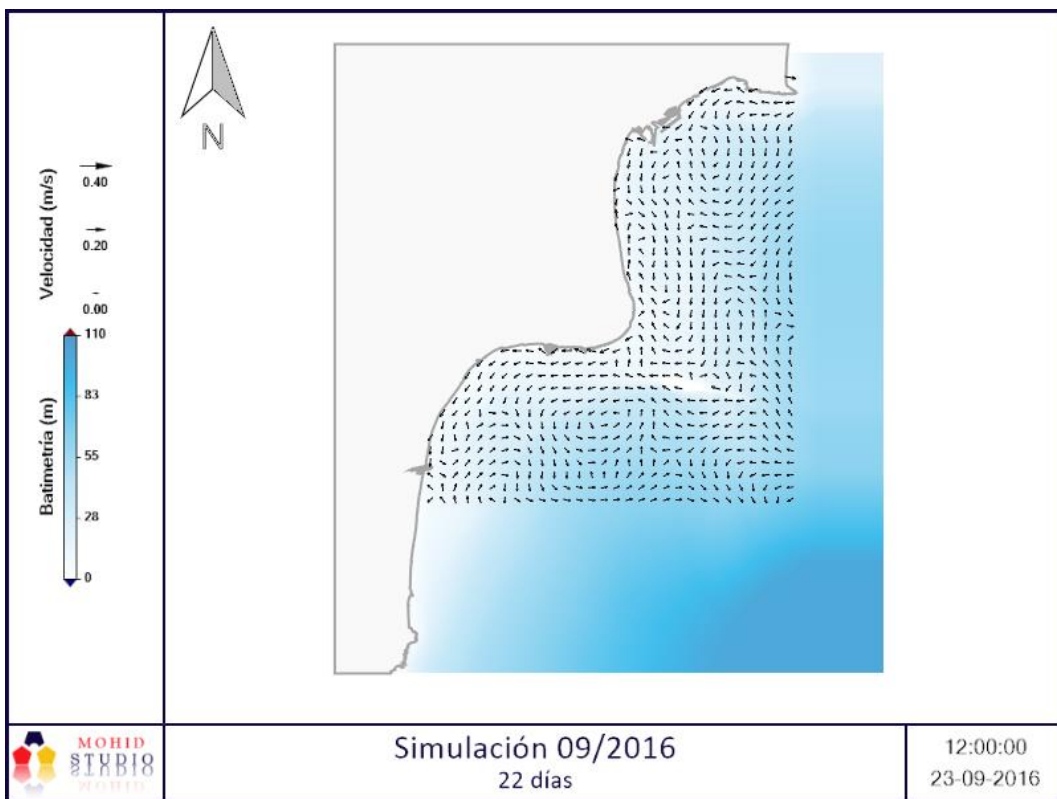
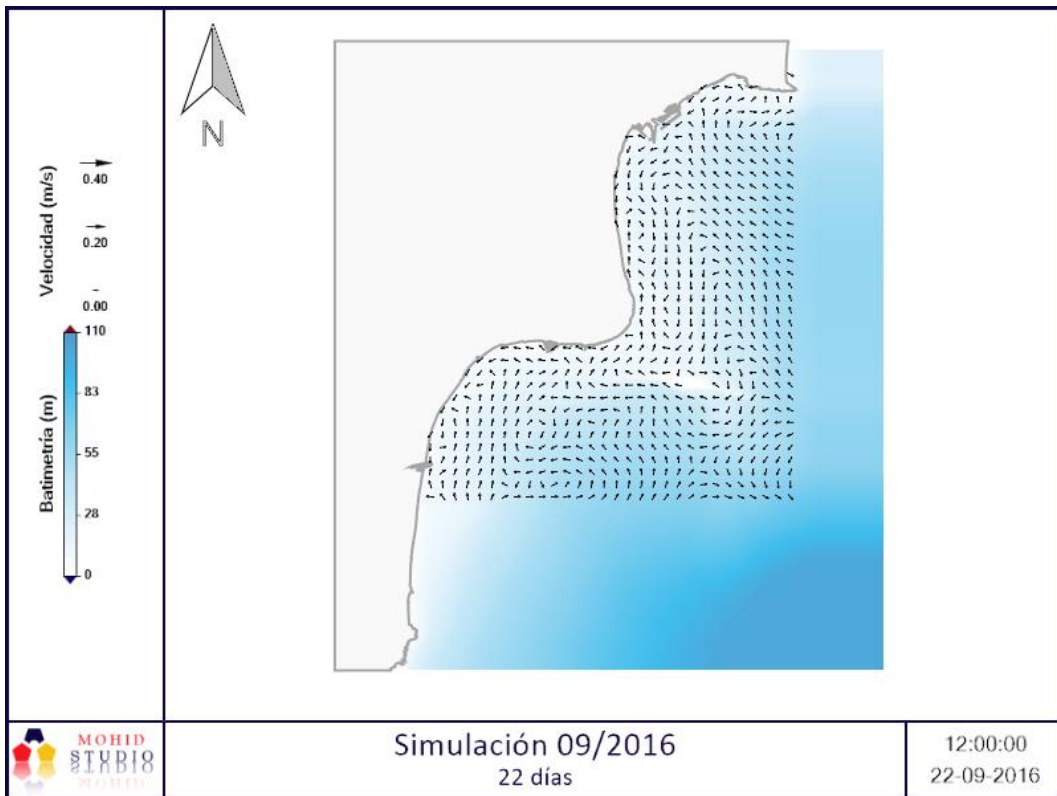


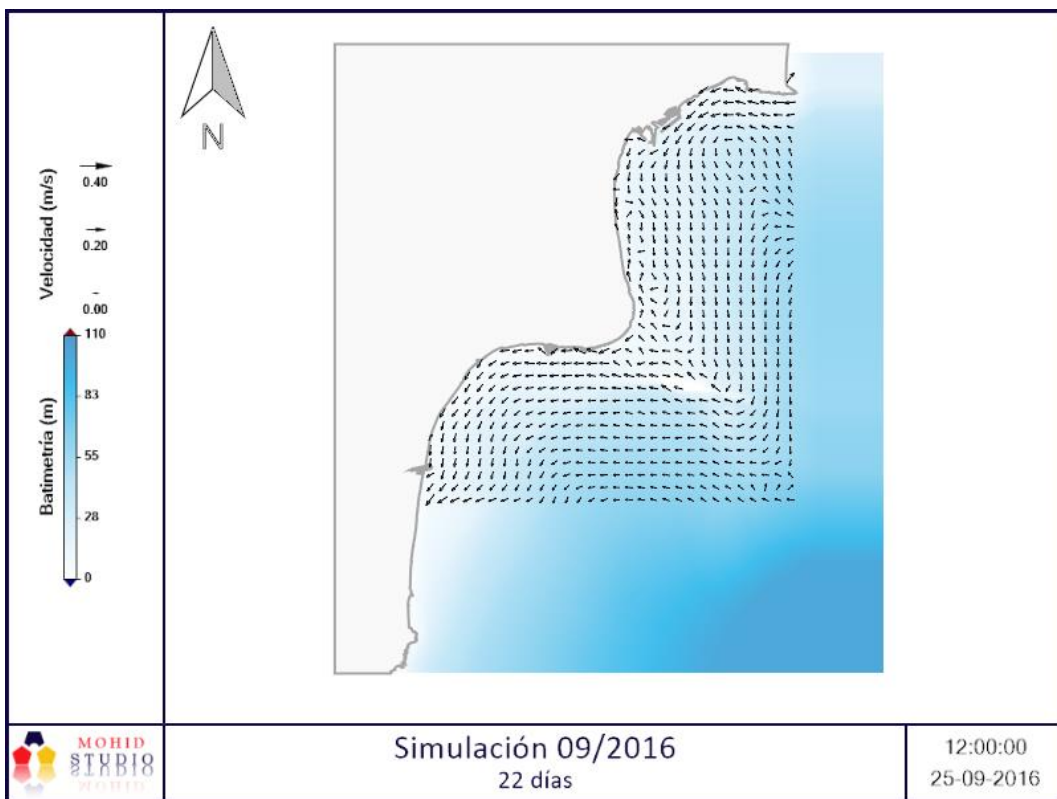
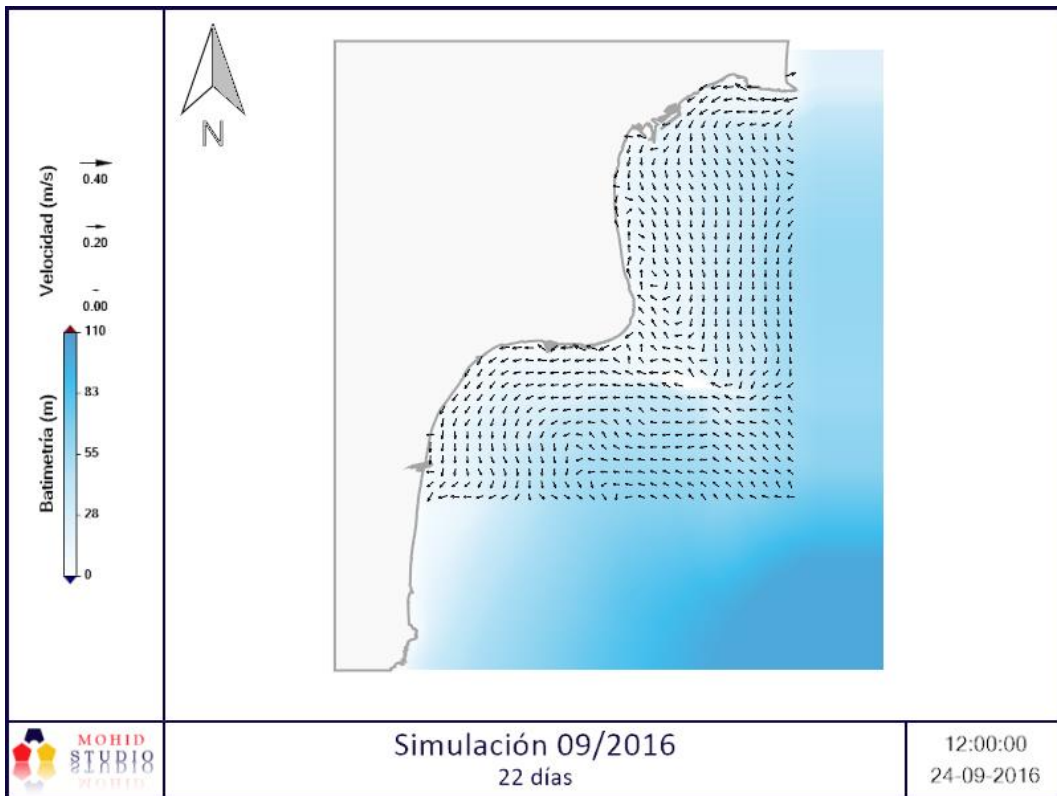


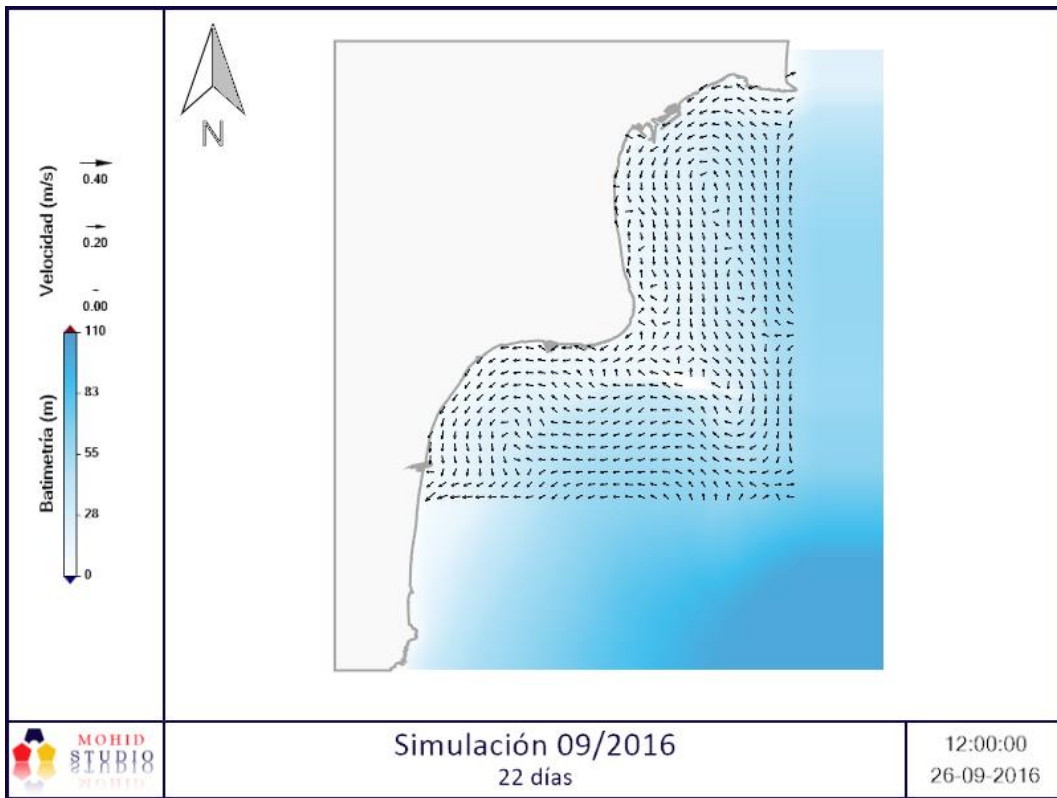




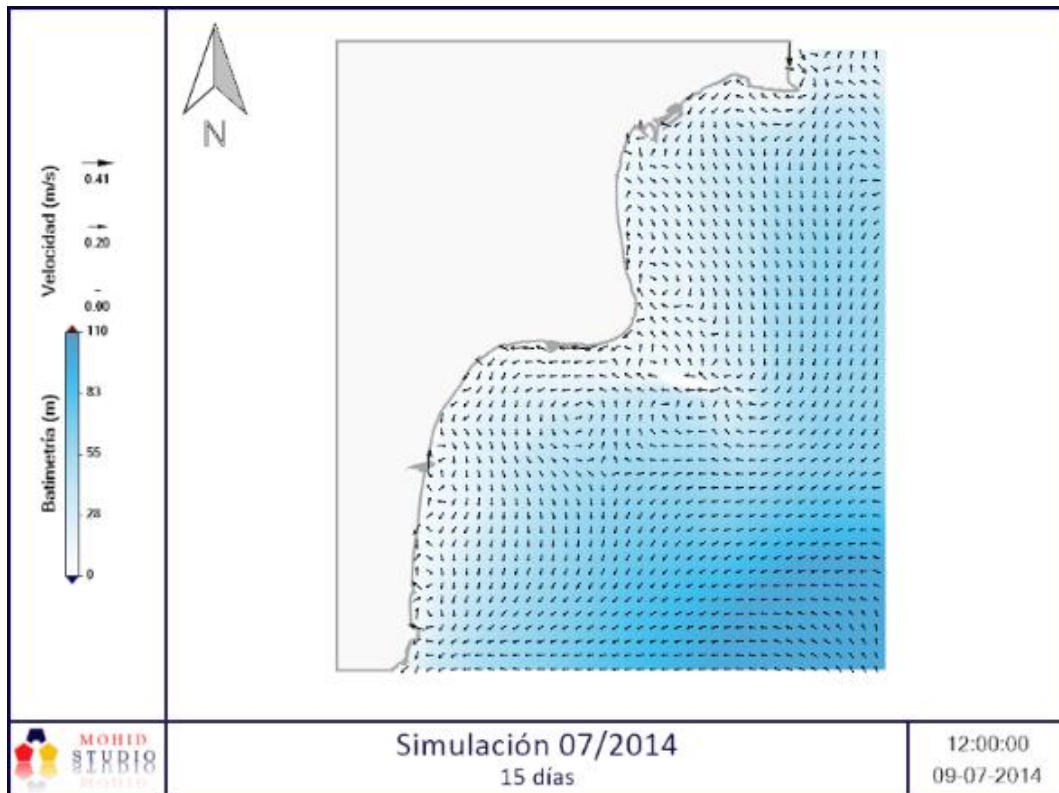
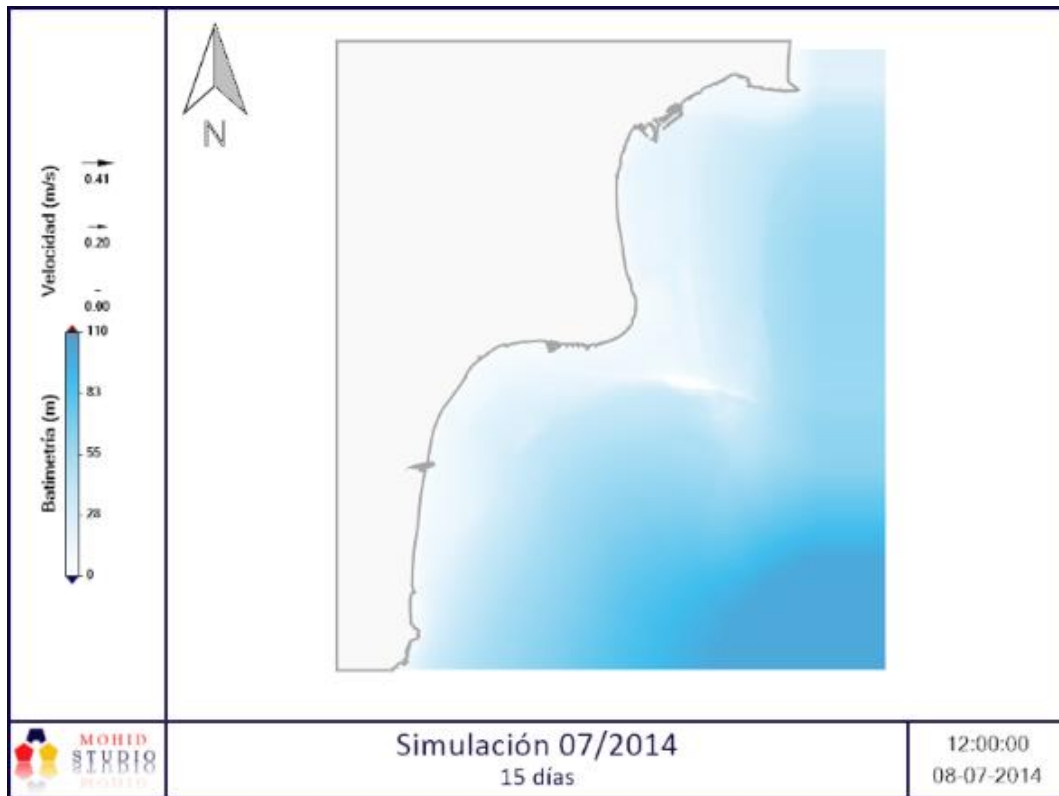


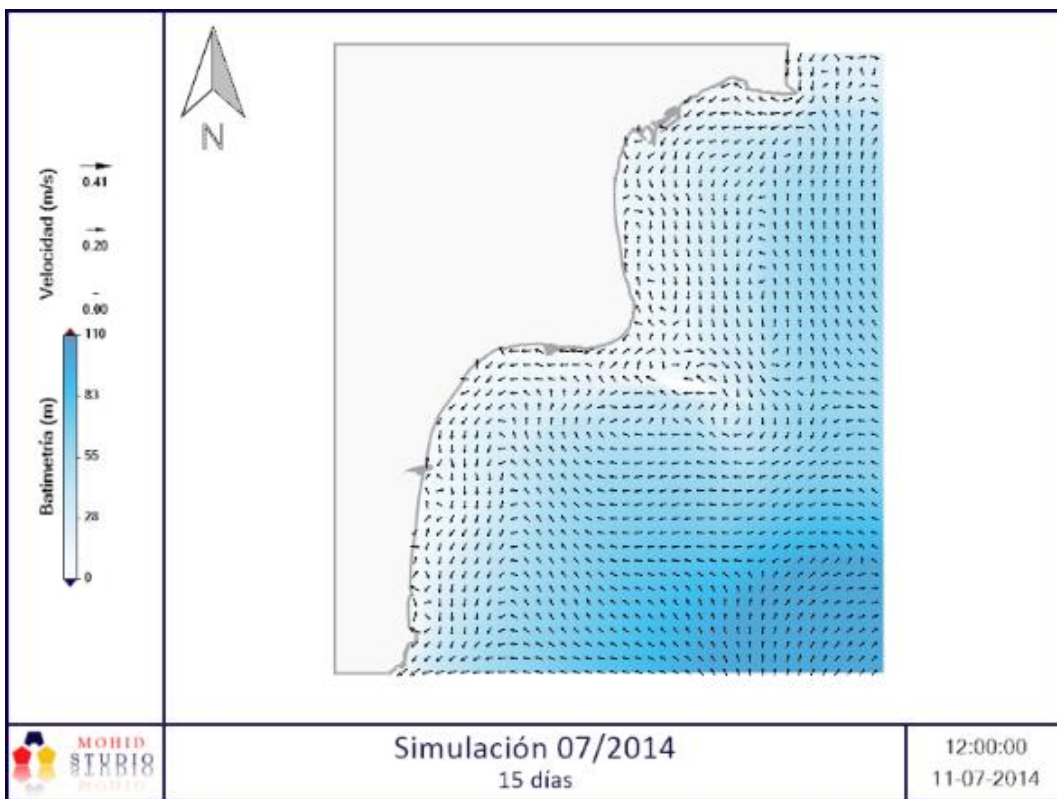
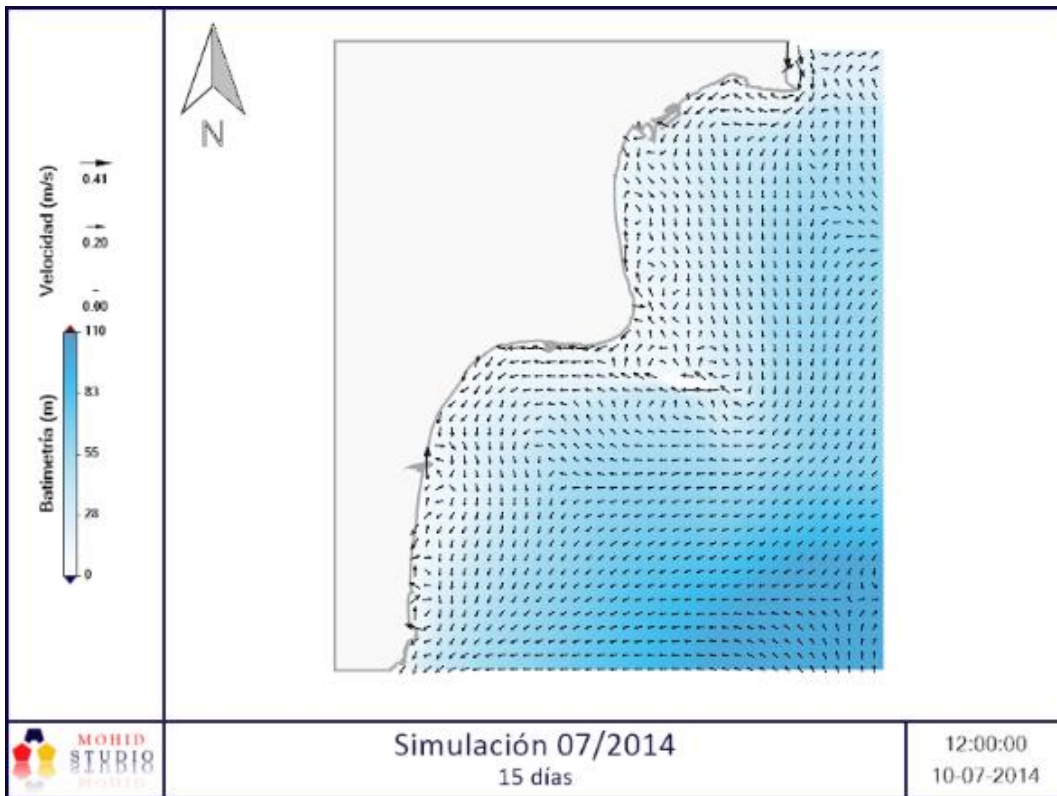


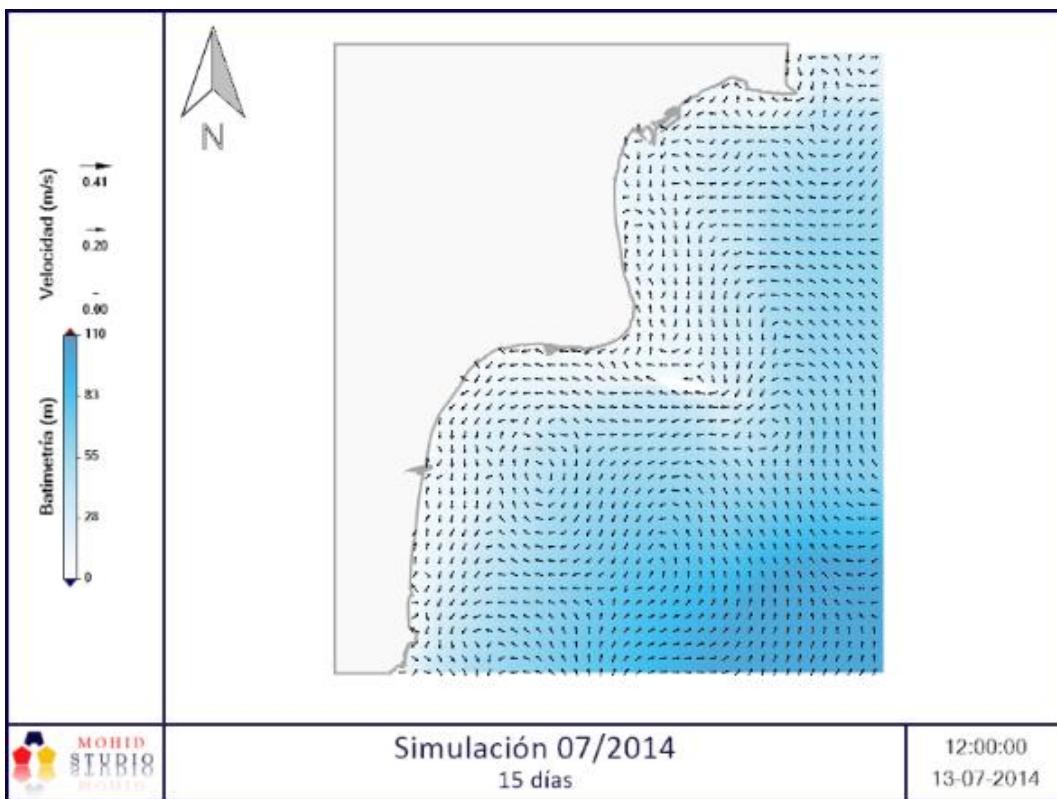
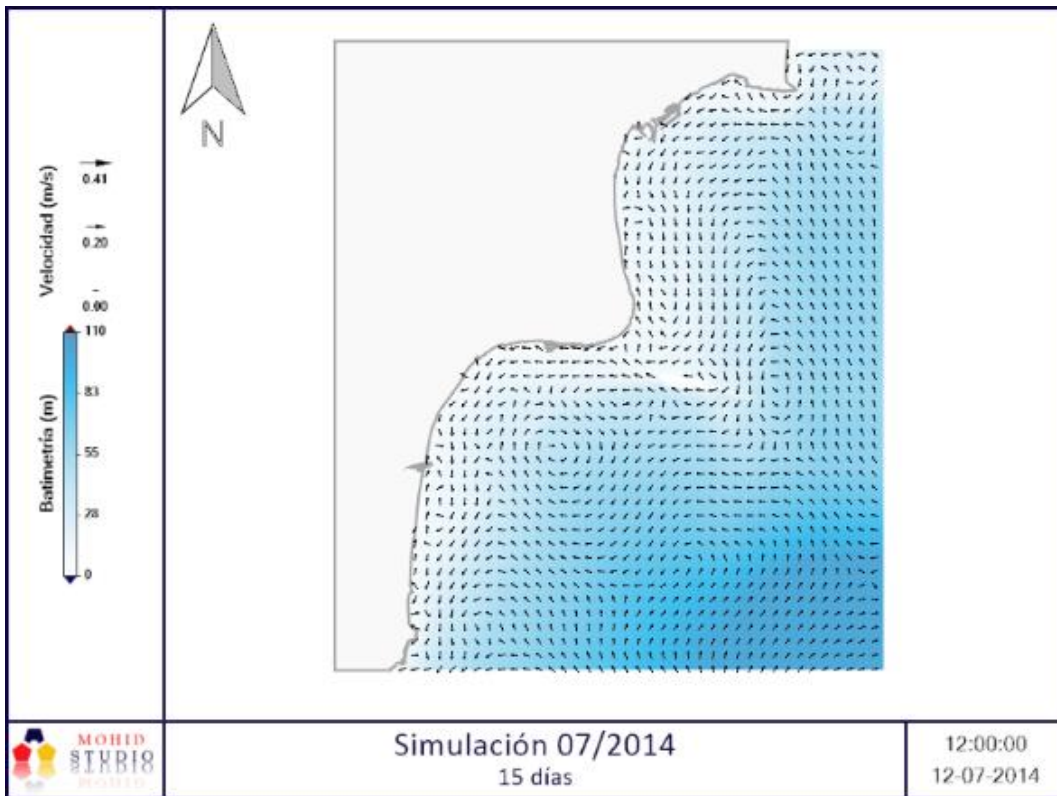


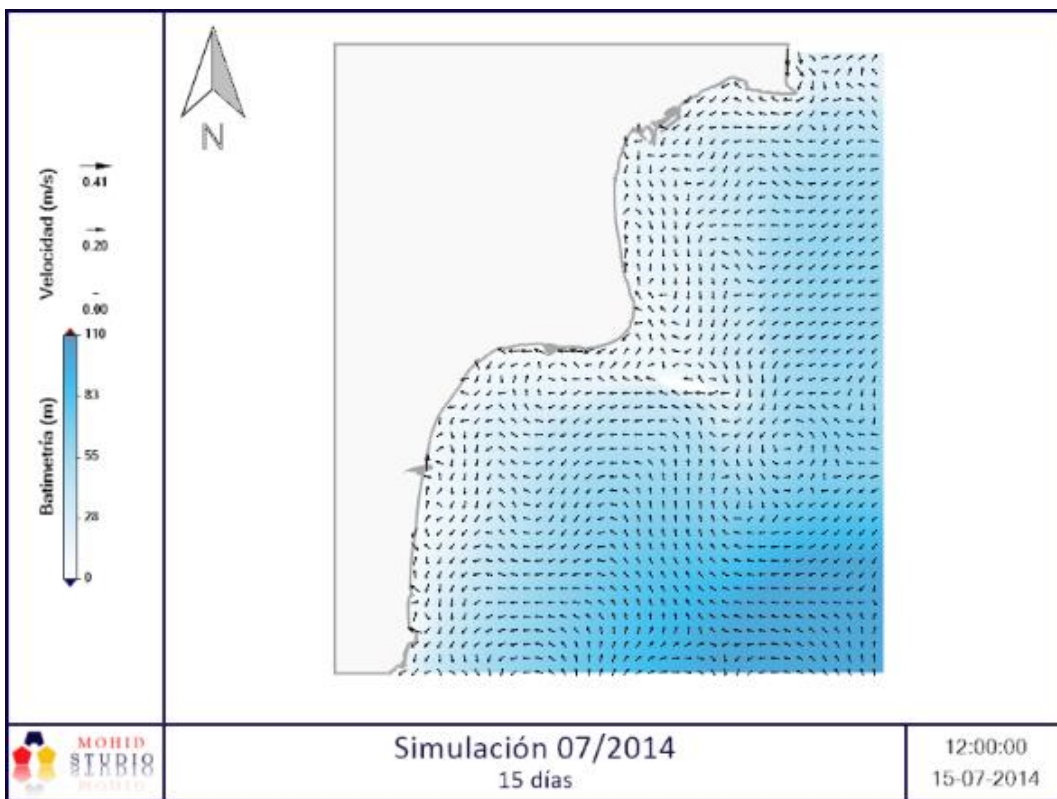
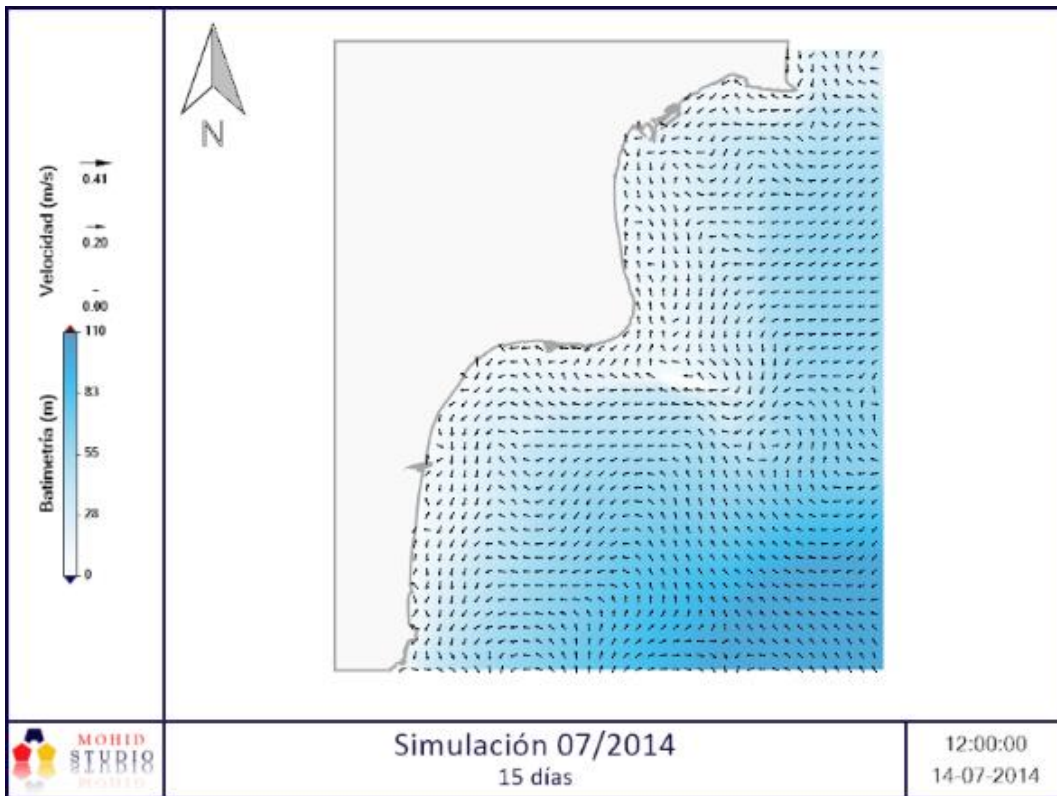


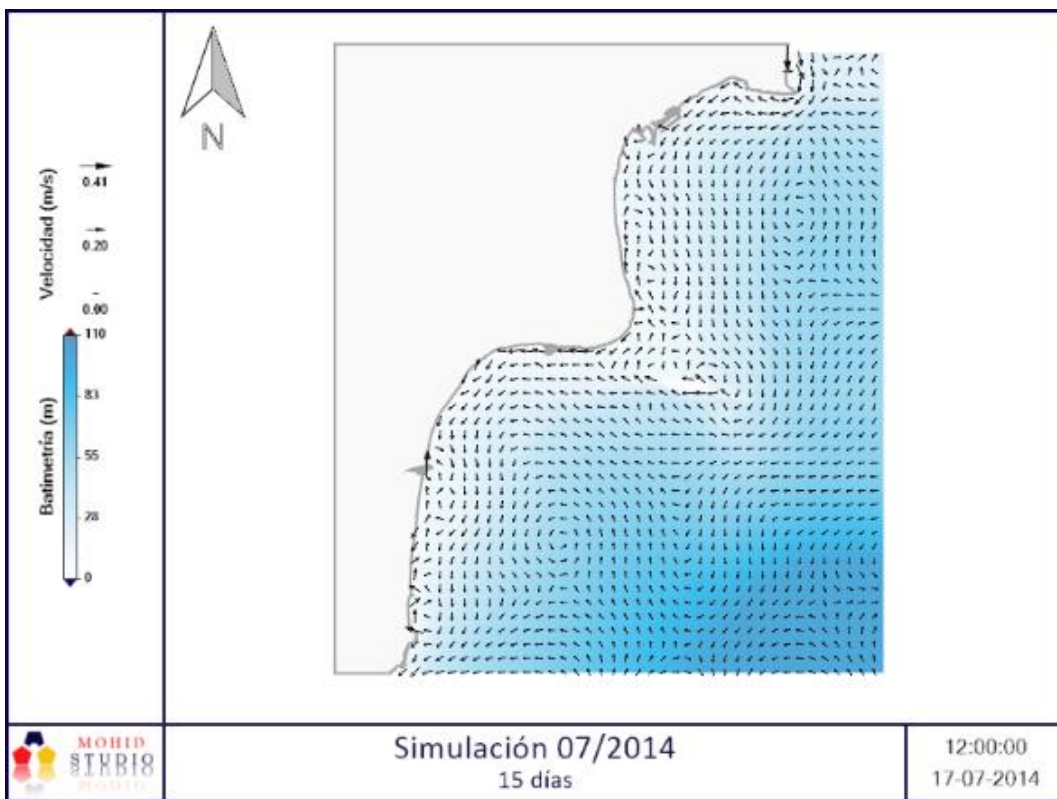
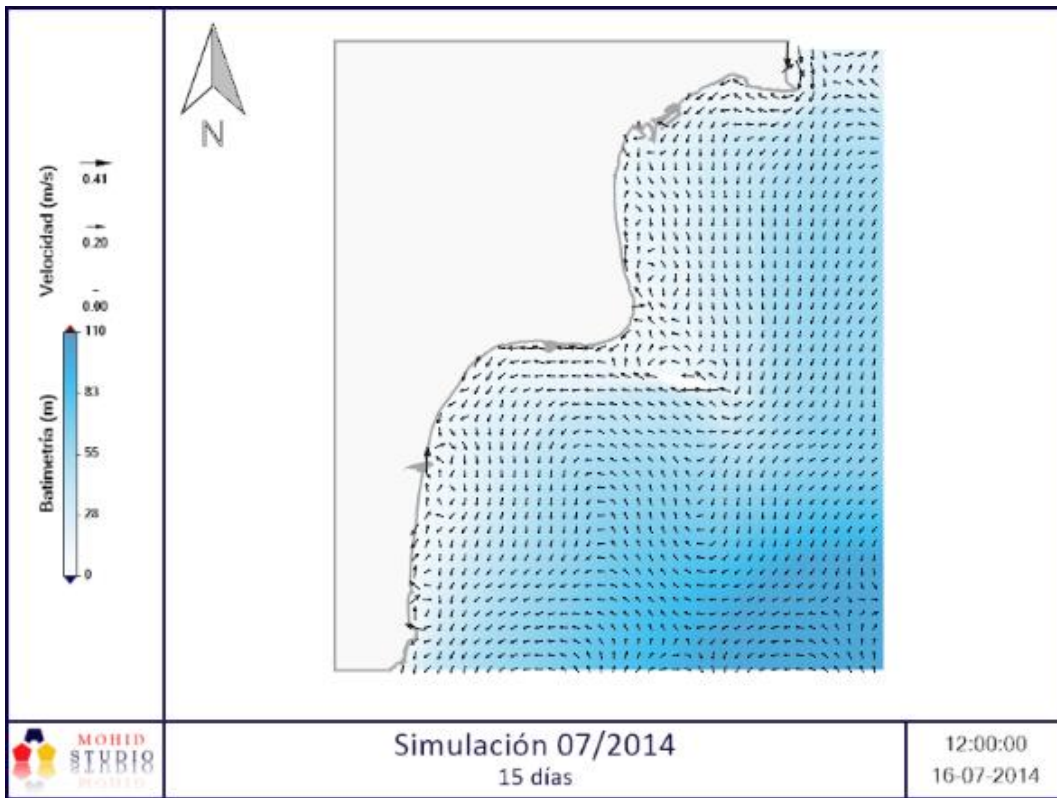
SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días

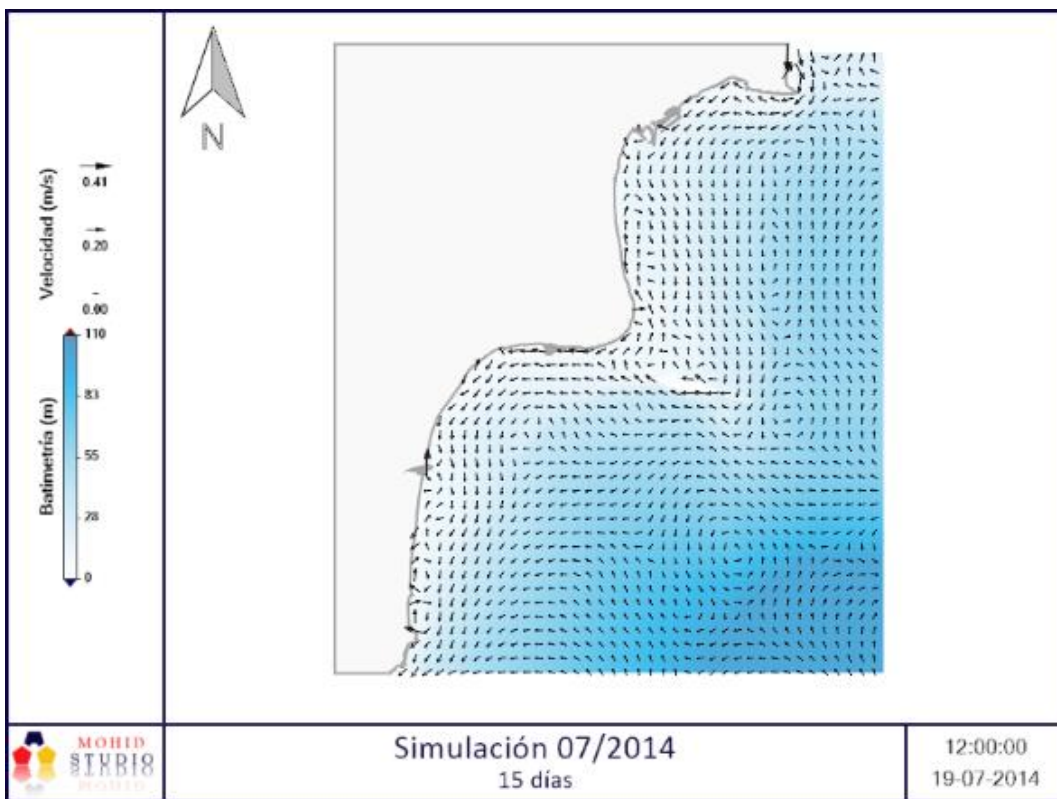
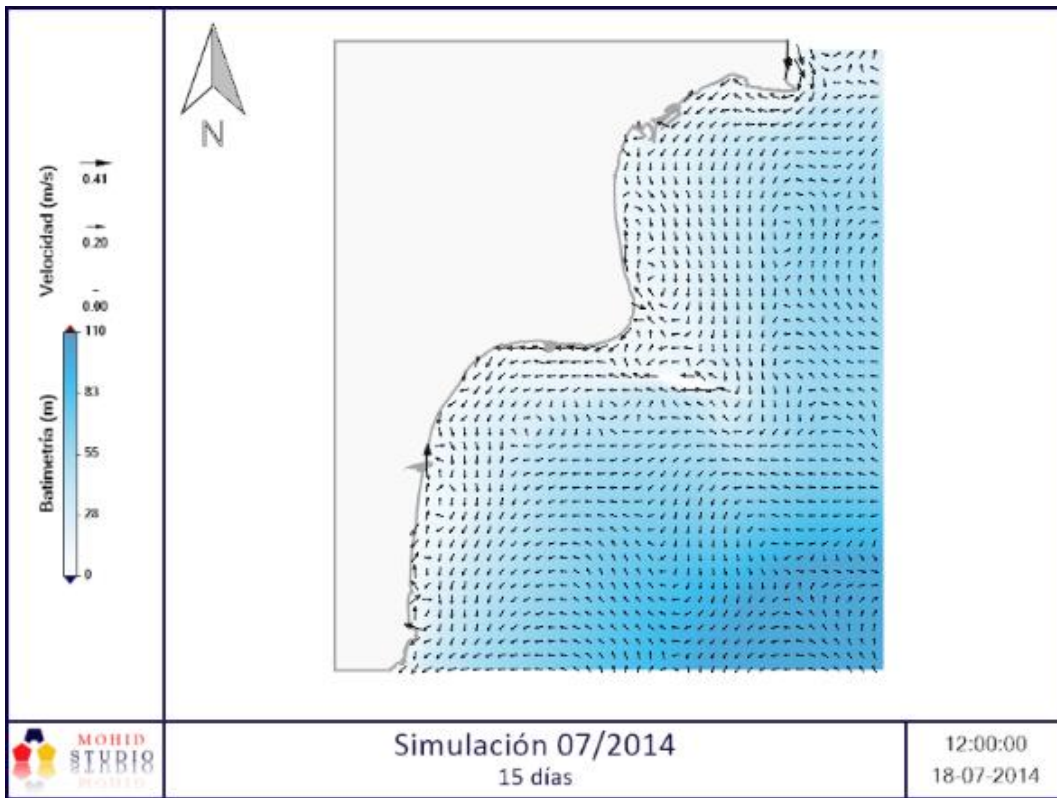


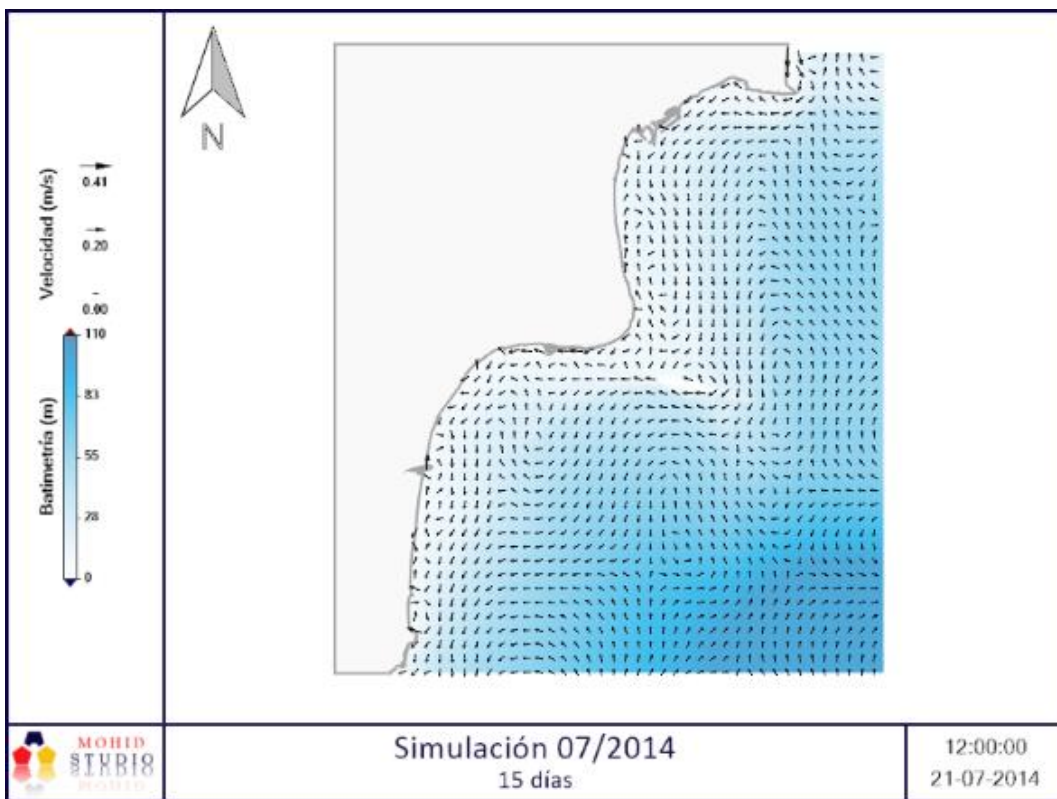
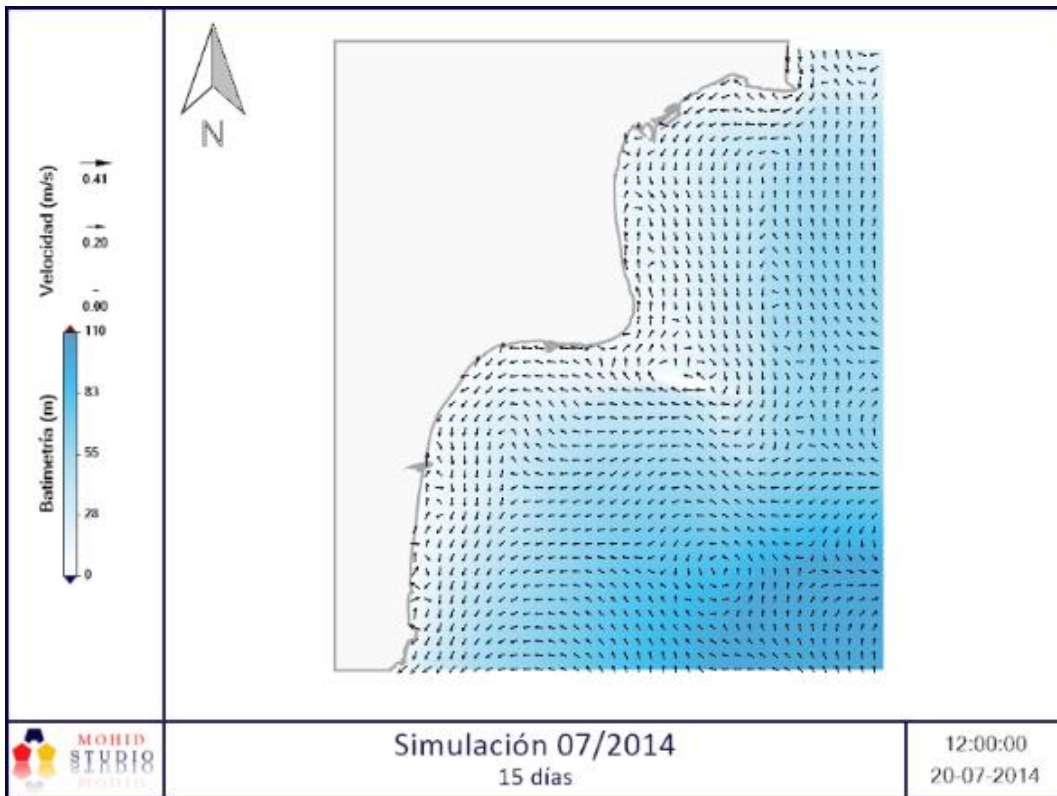


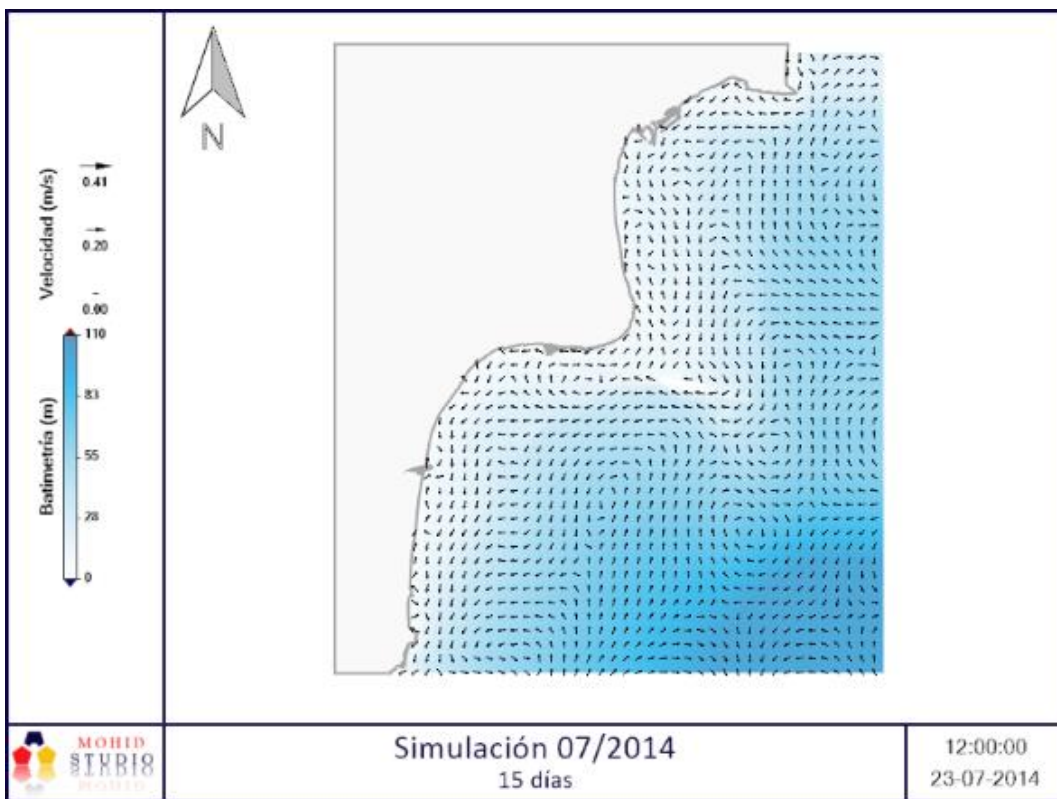
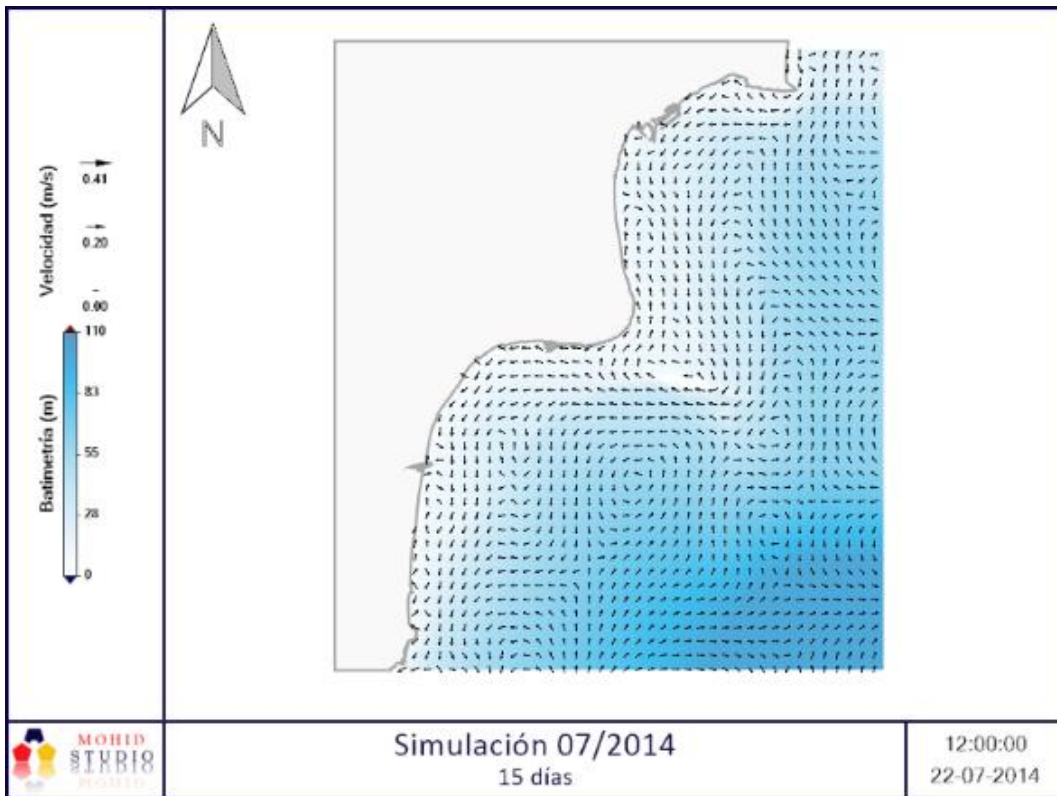




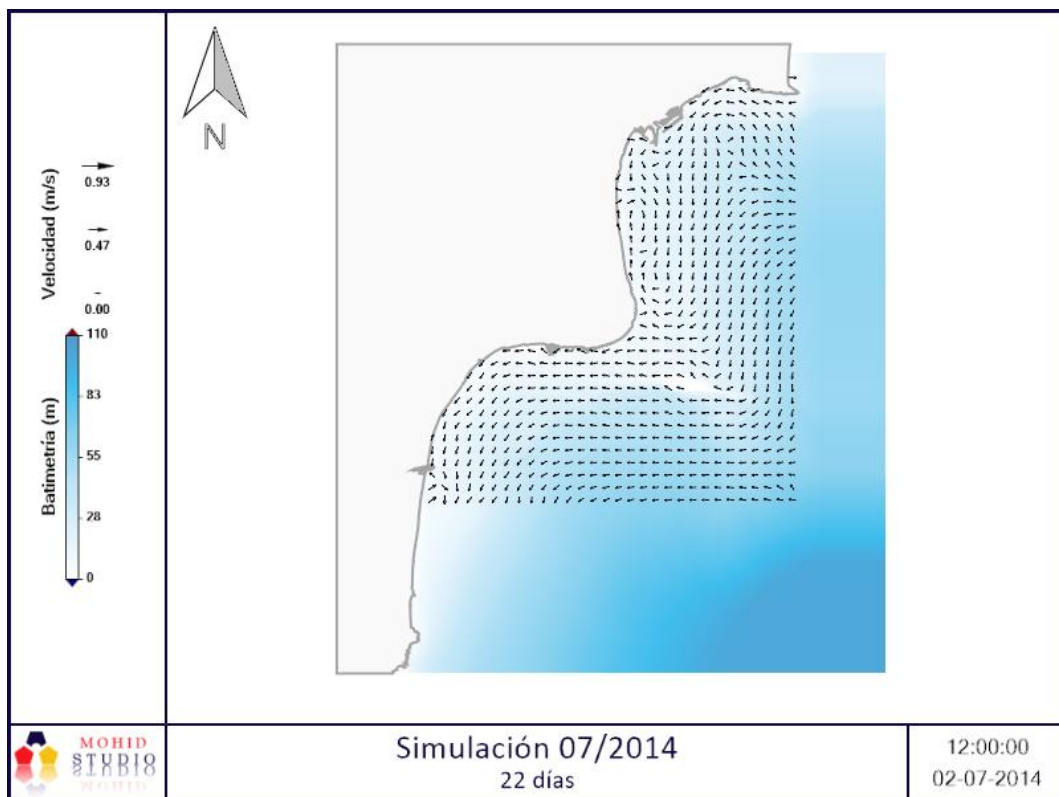
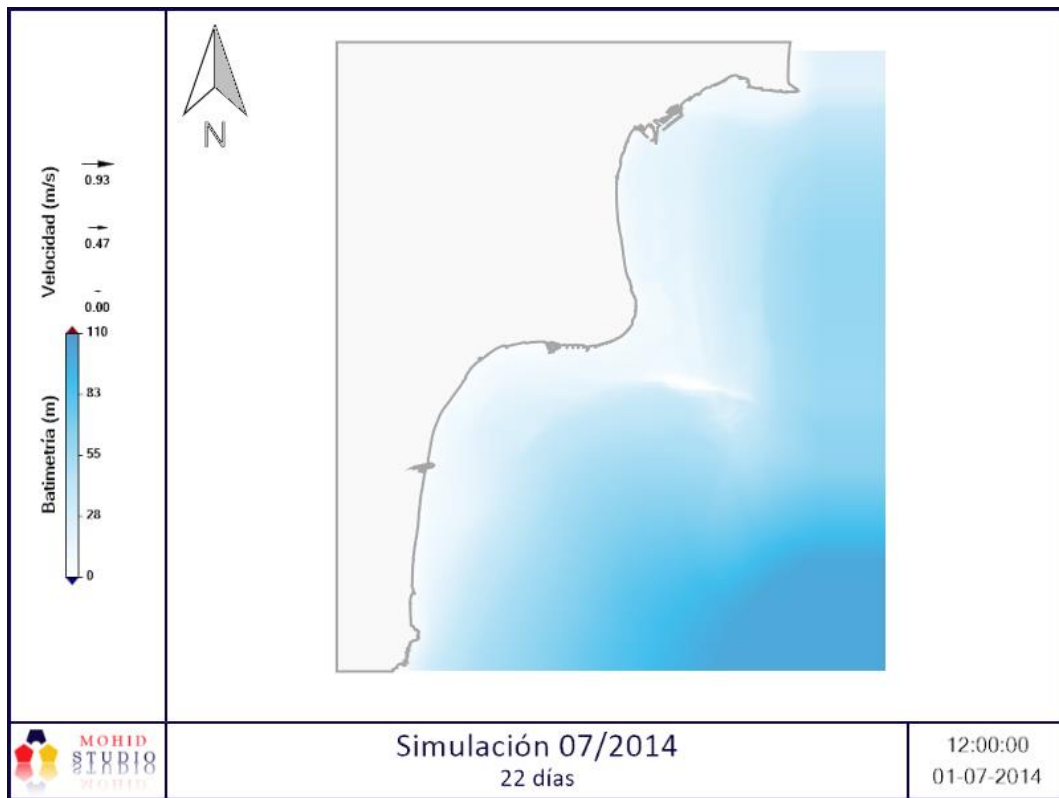


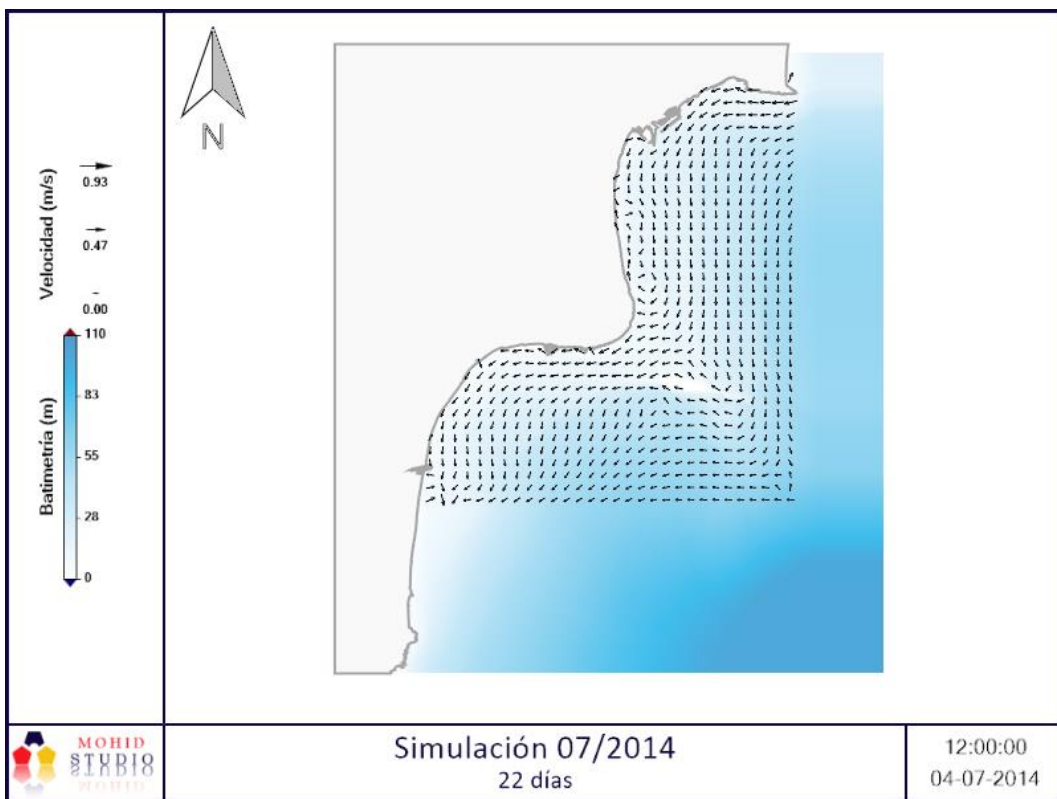
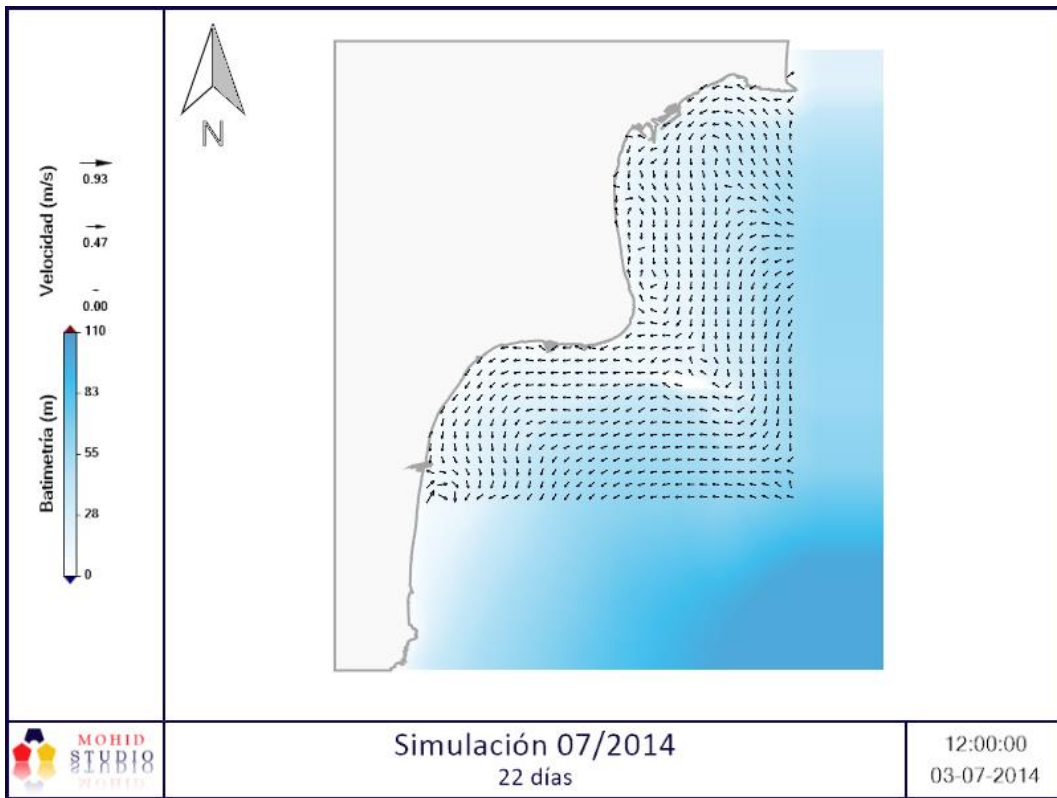


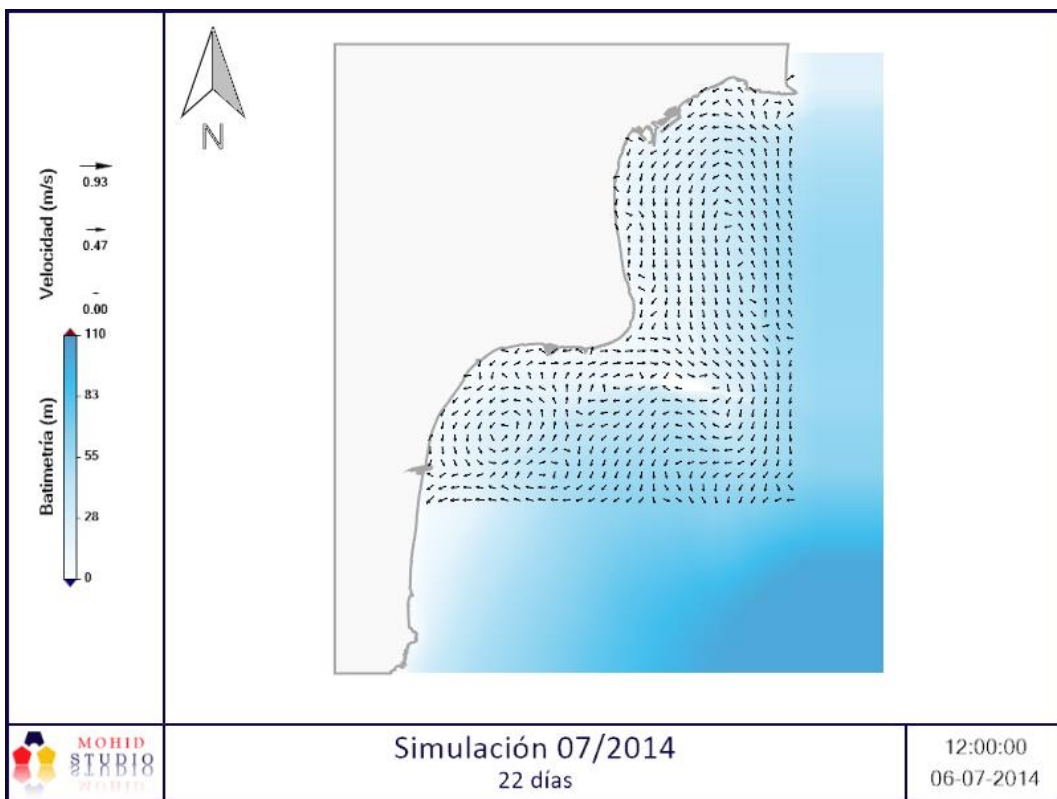
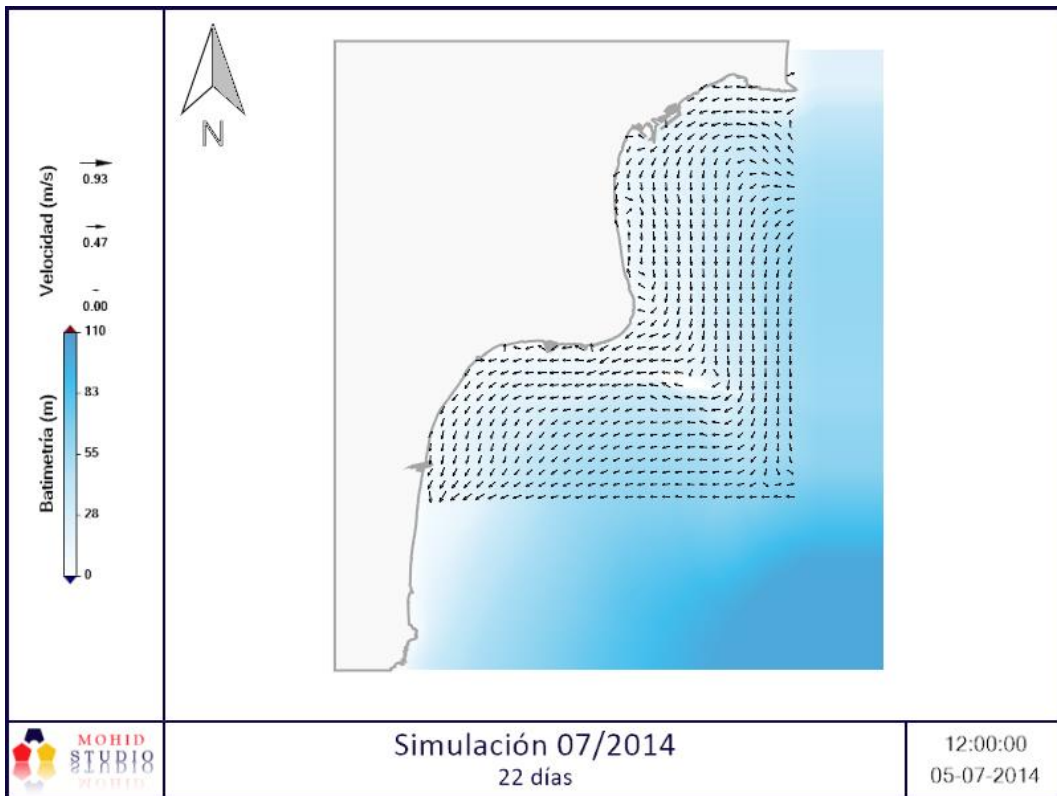


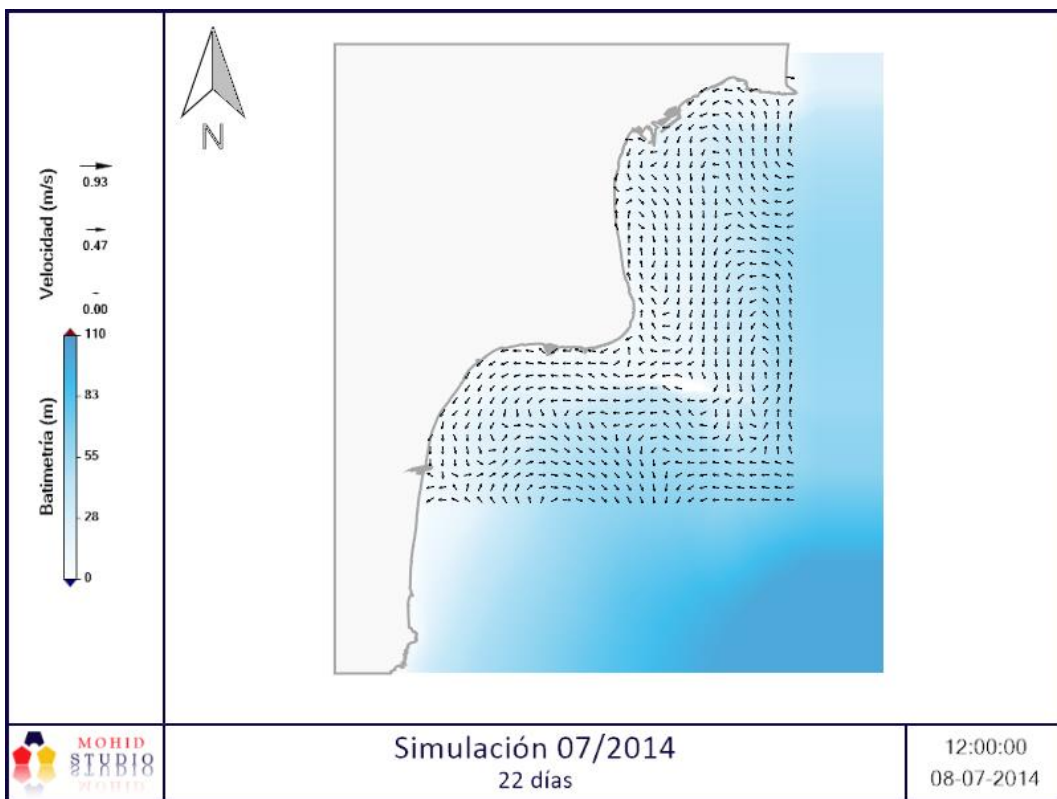
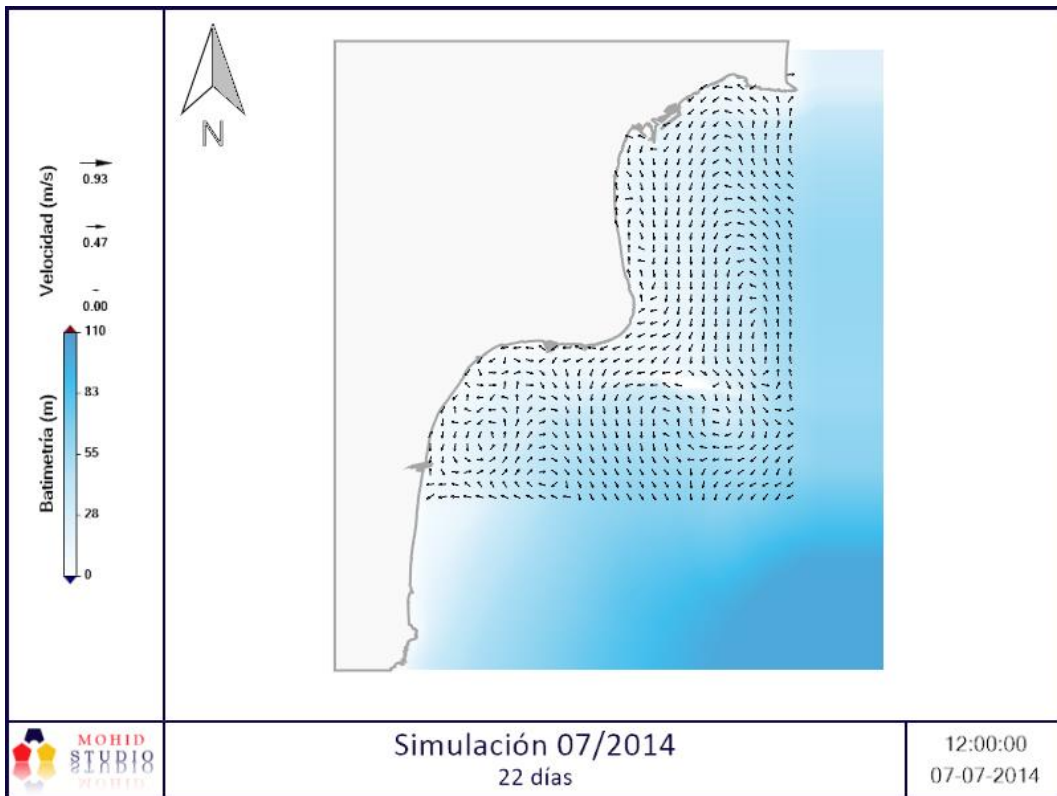


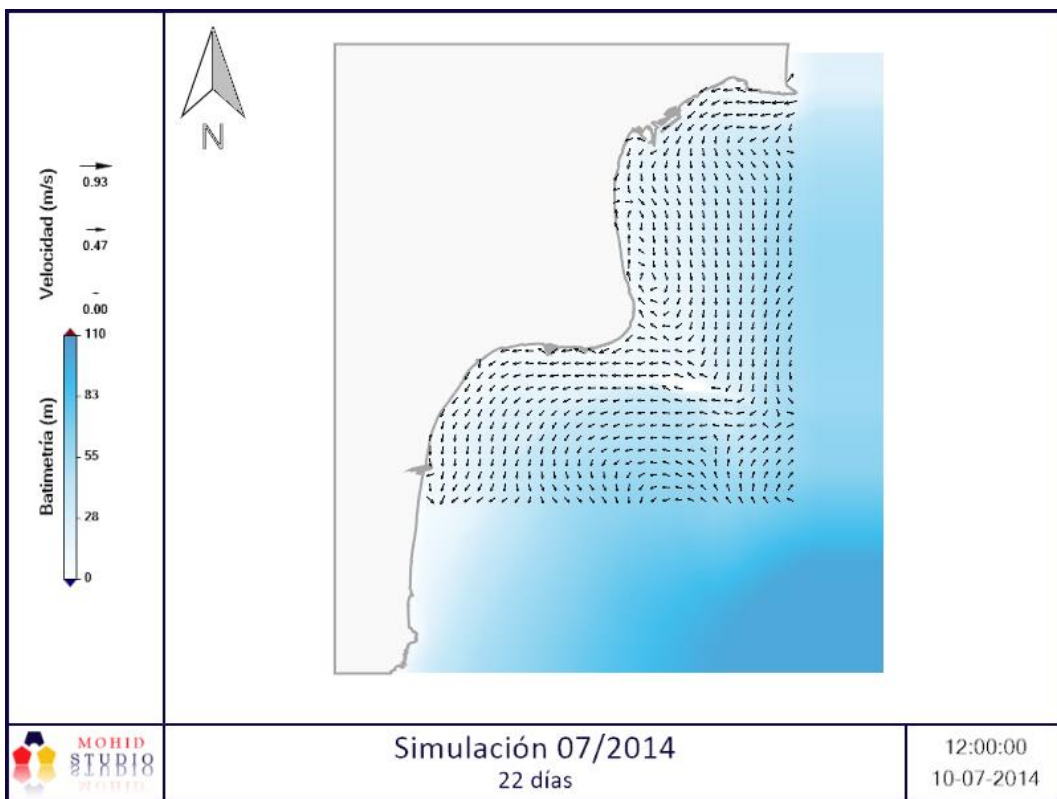
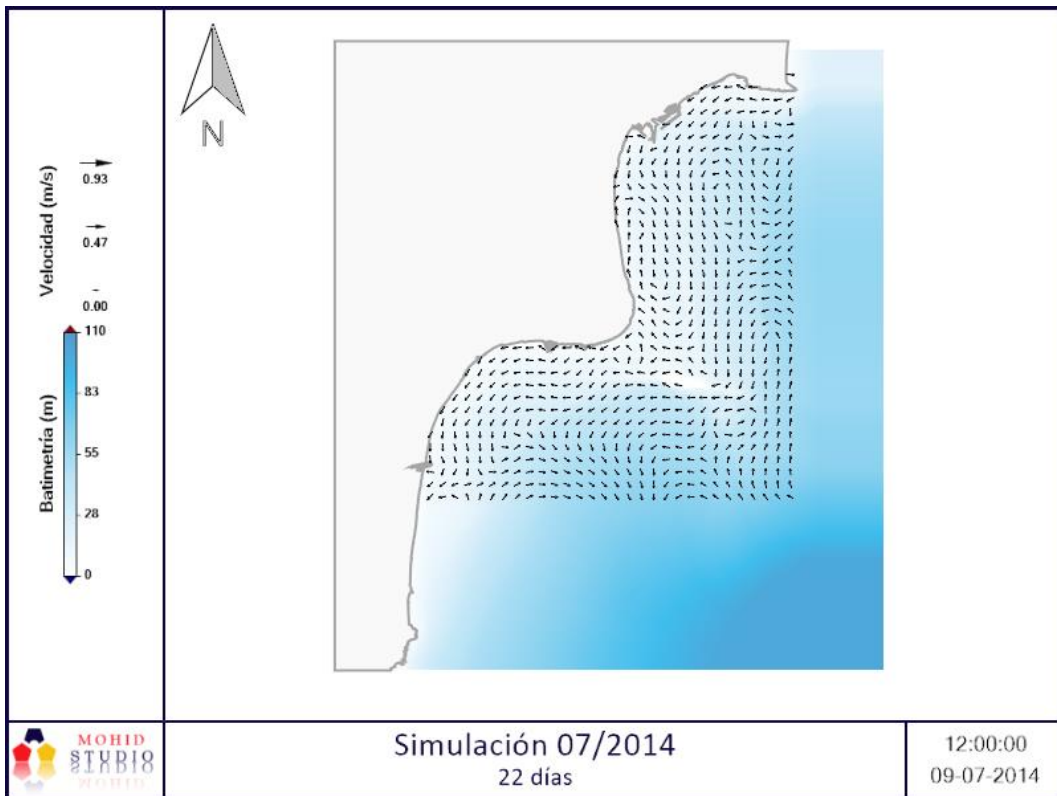
SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días

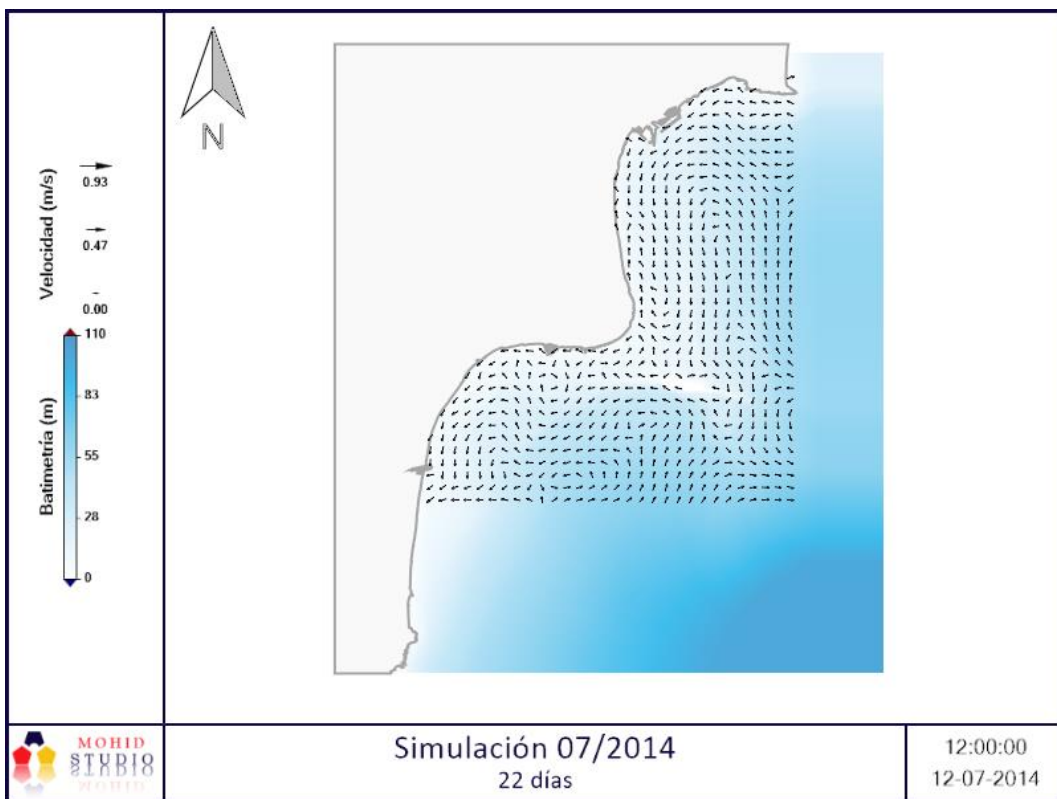
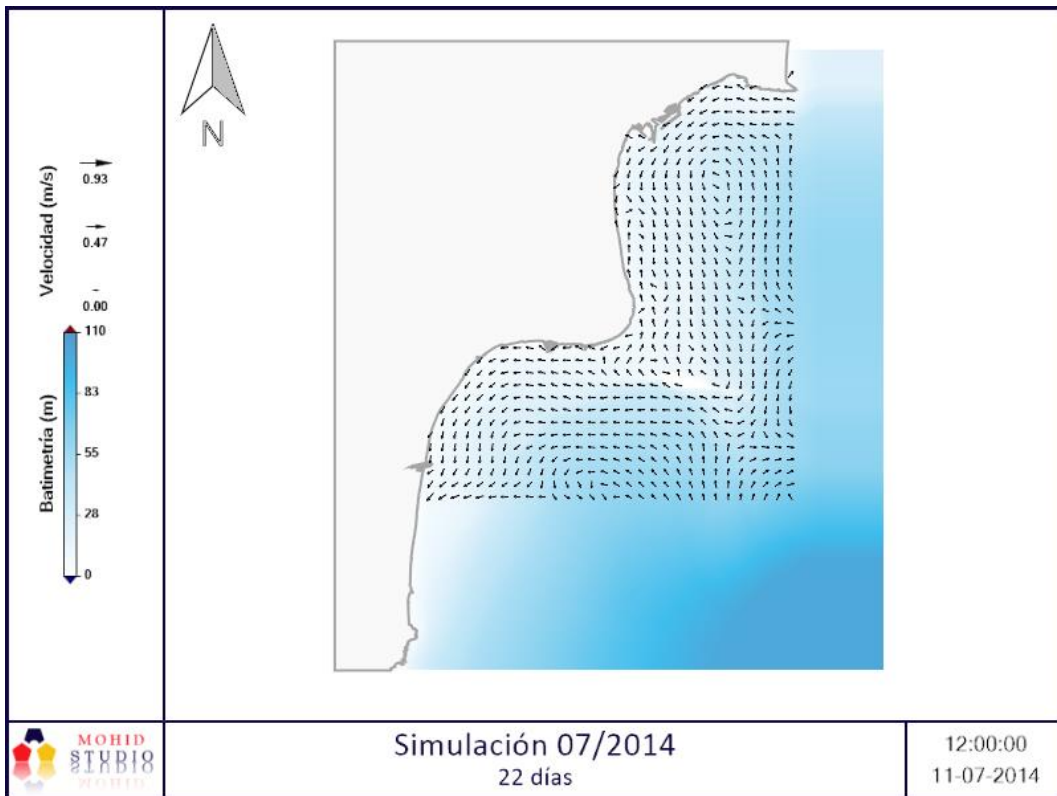


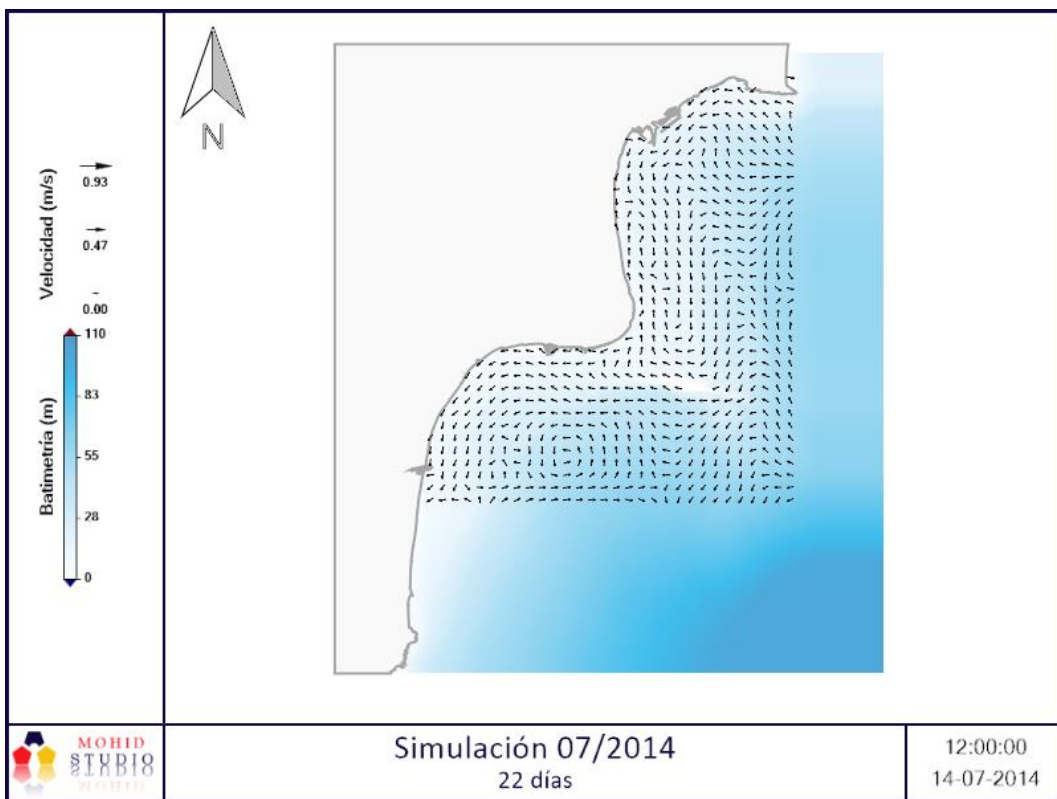
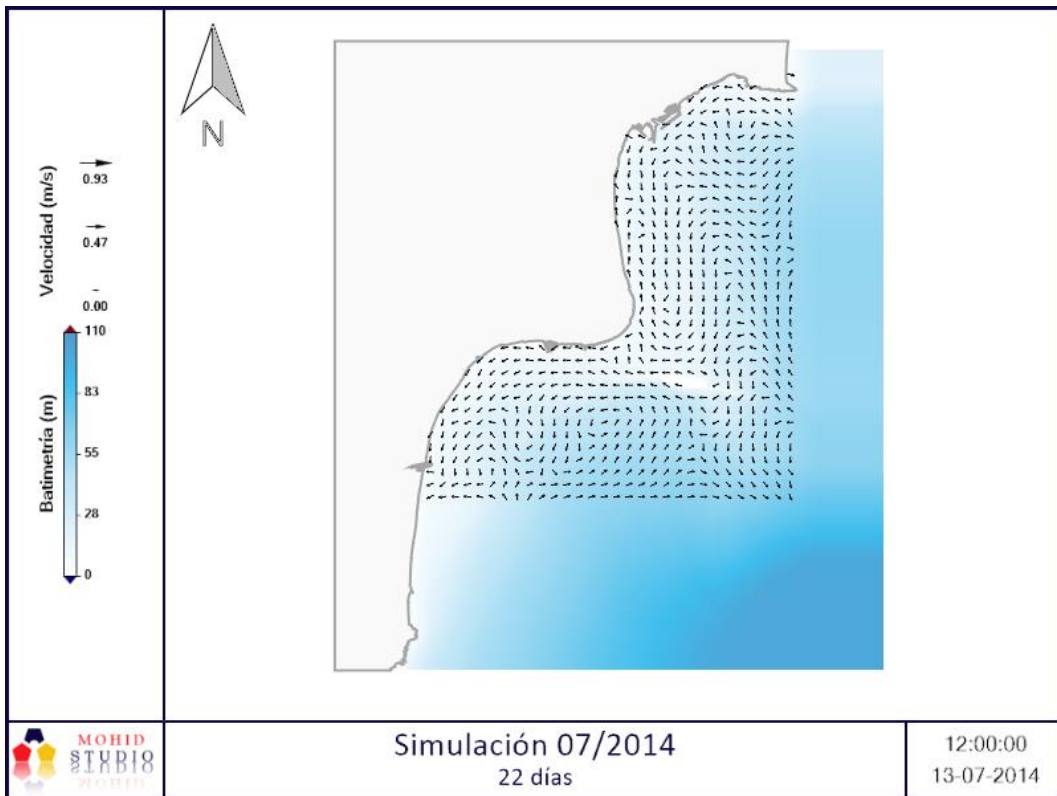


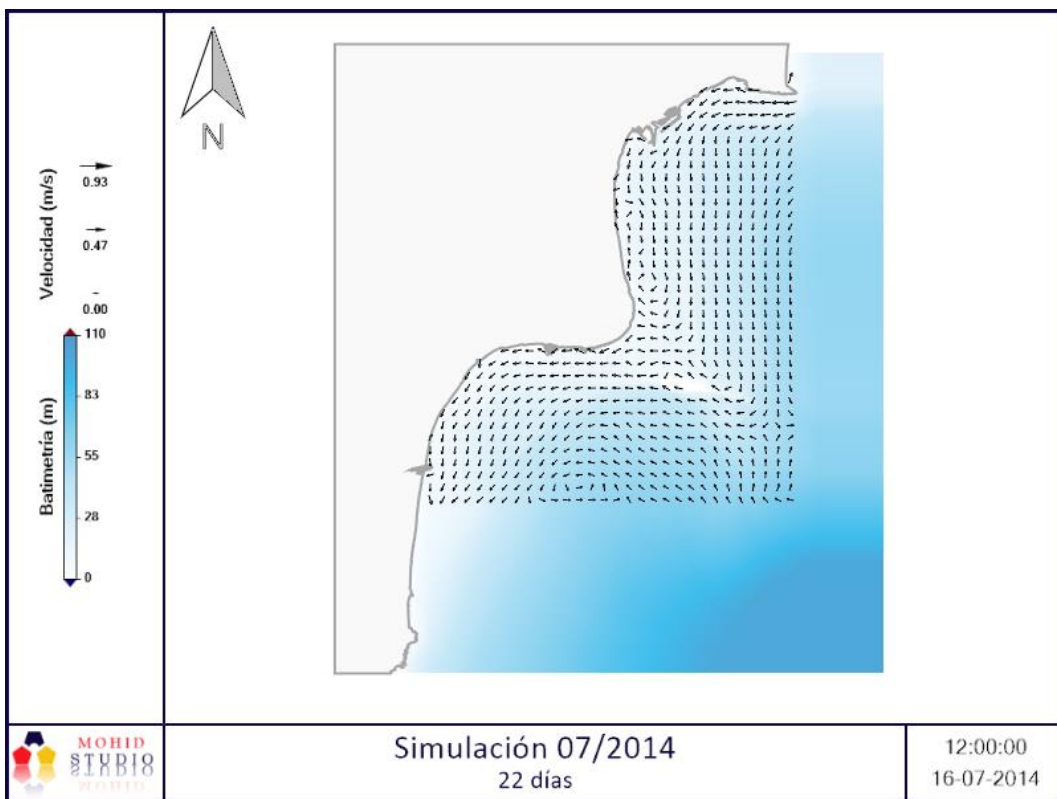
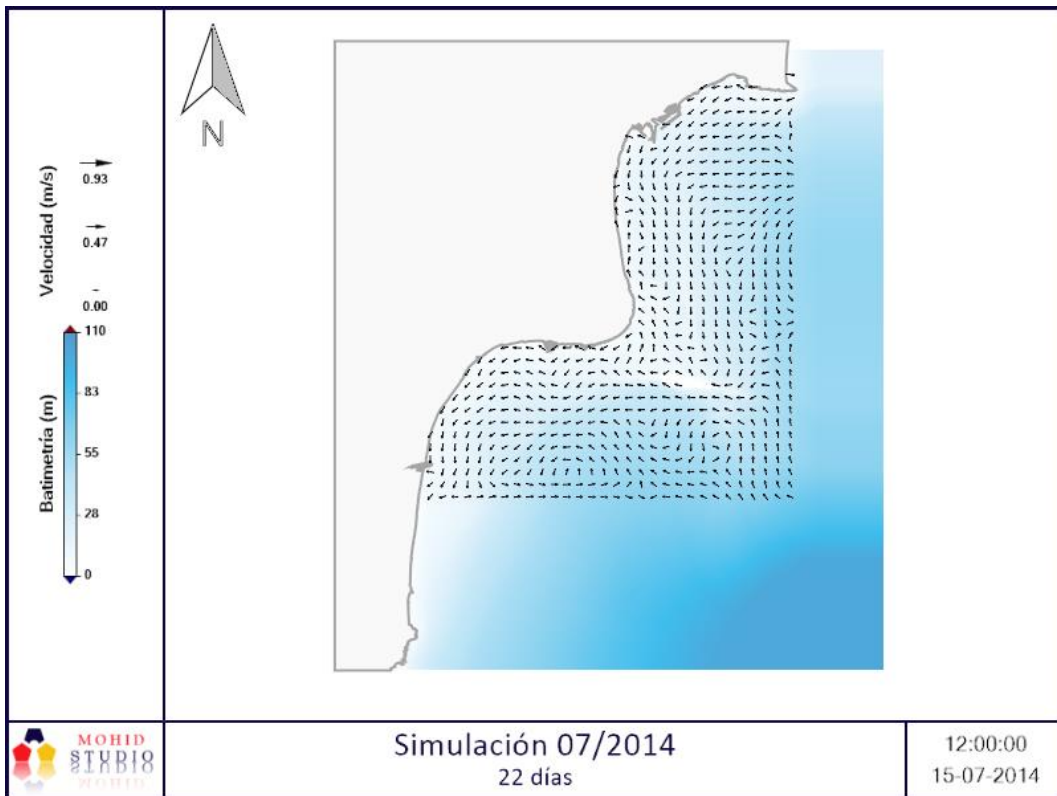


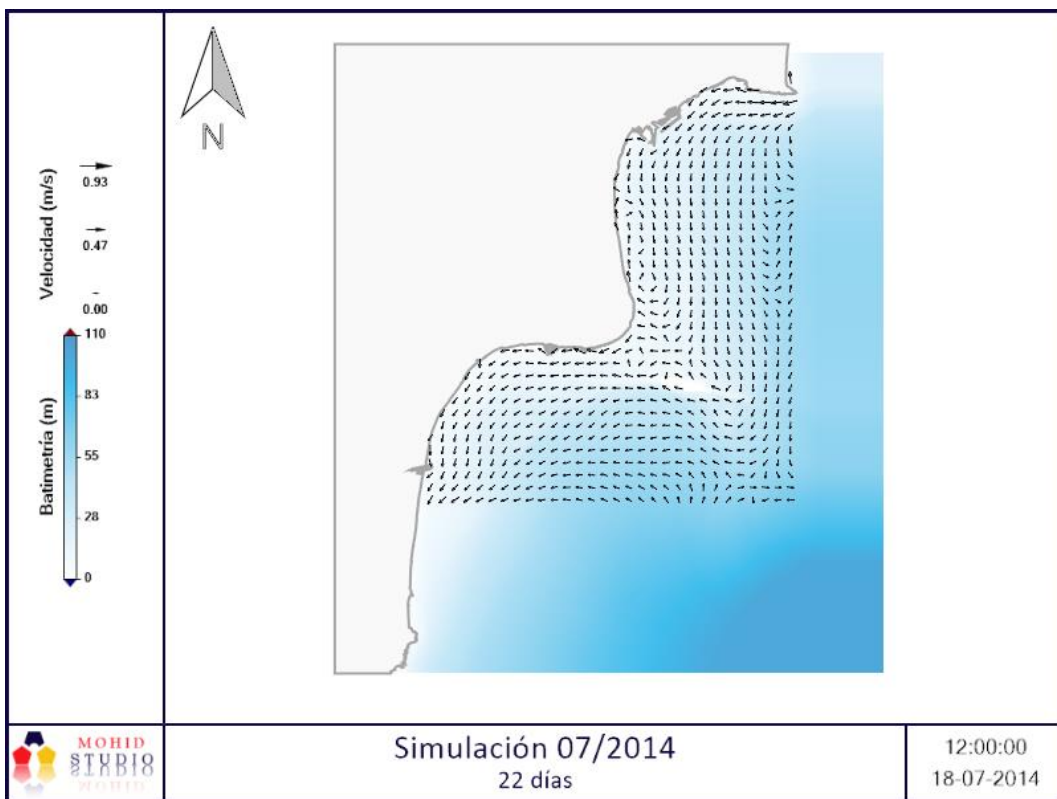
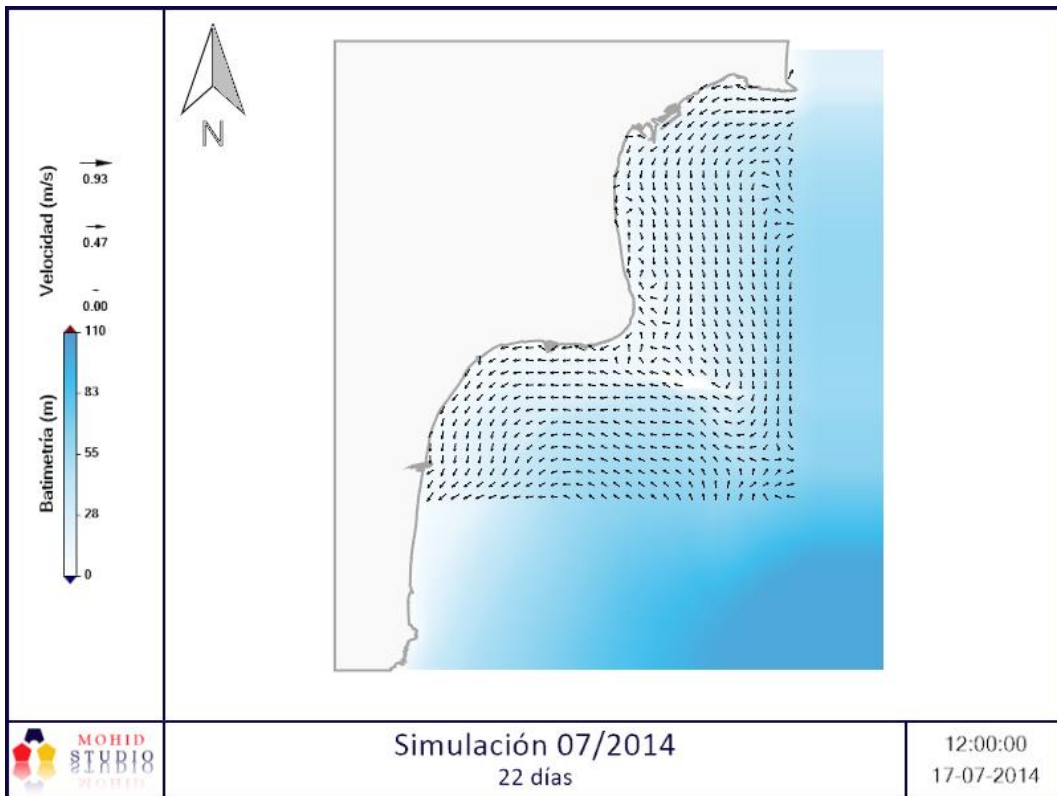


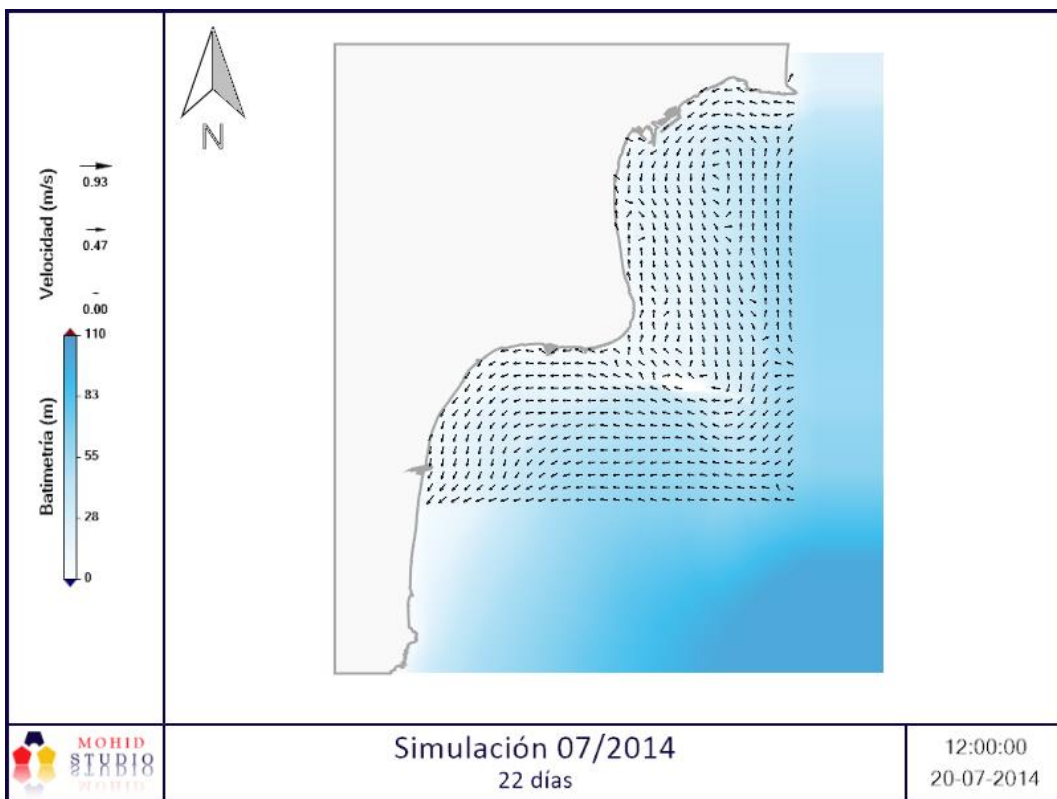
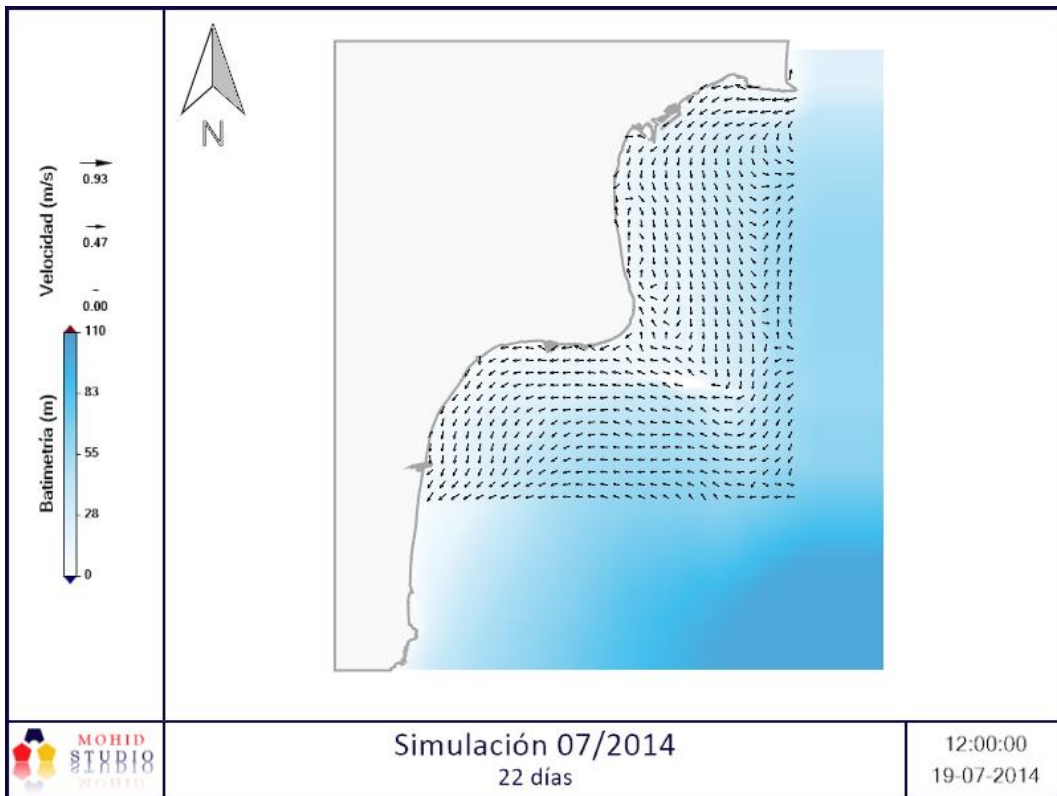


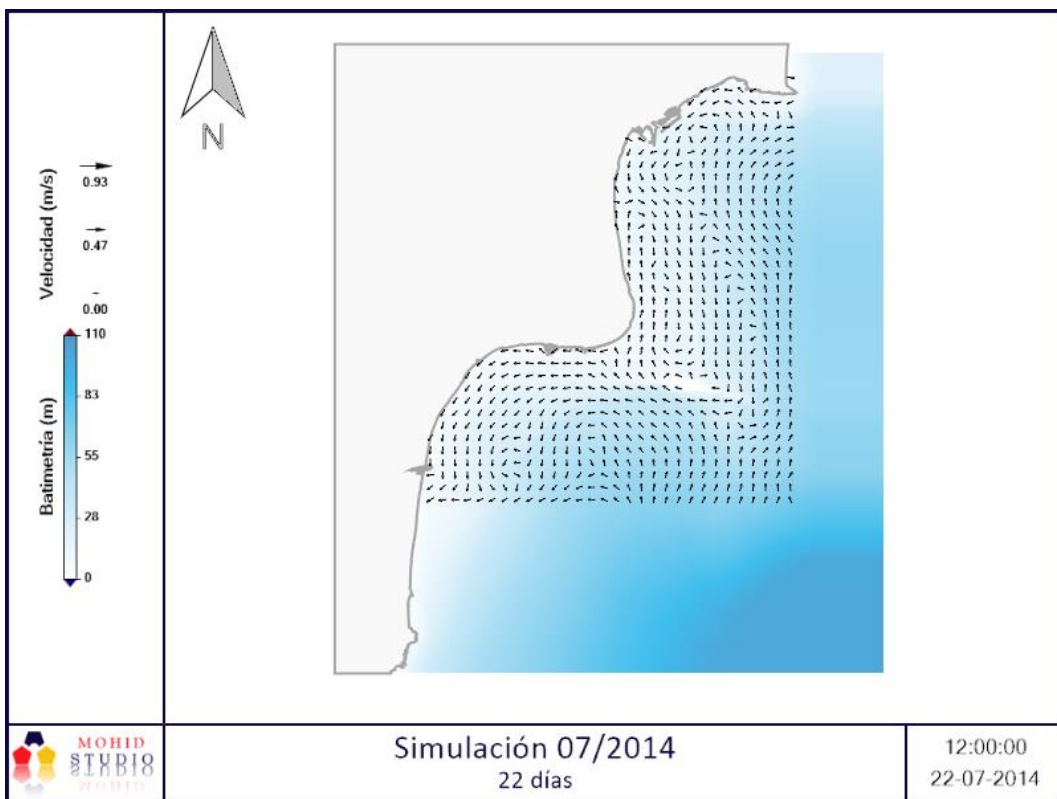
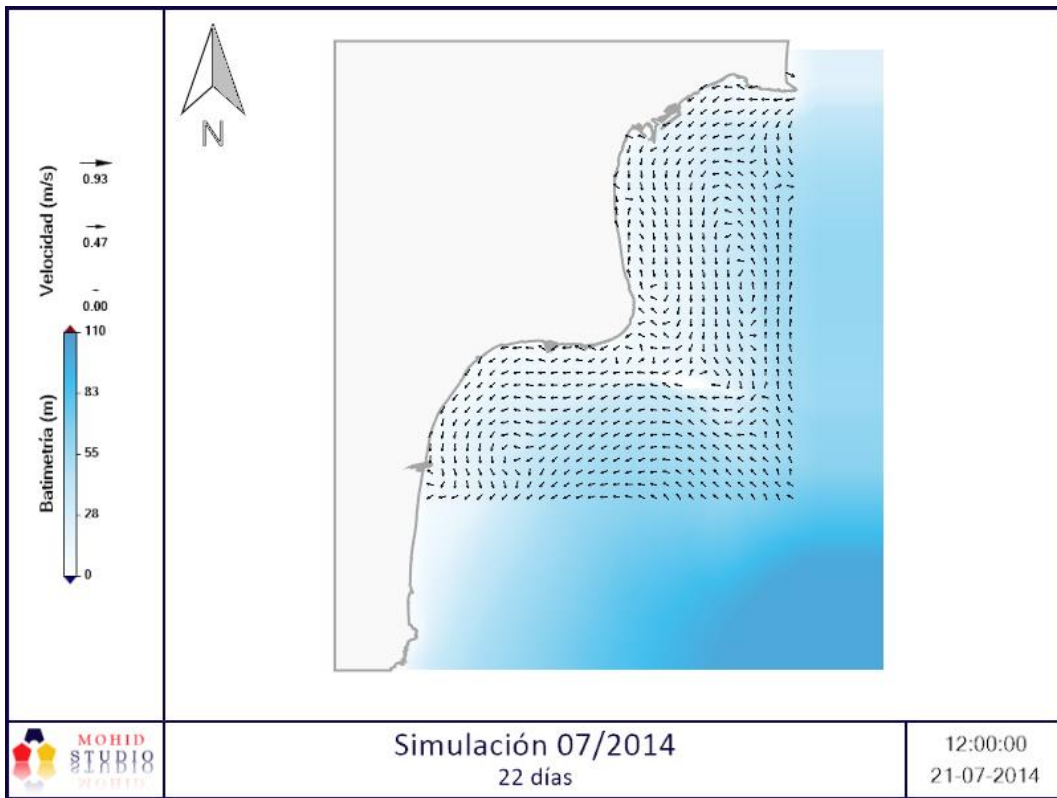


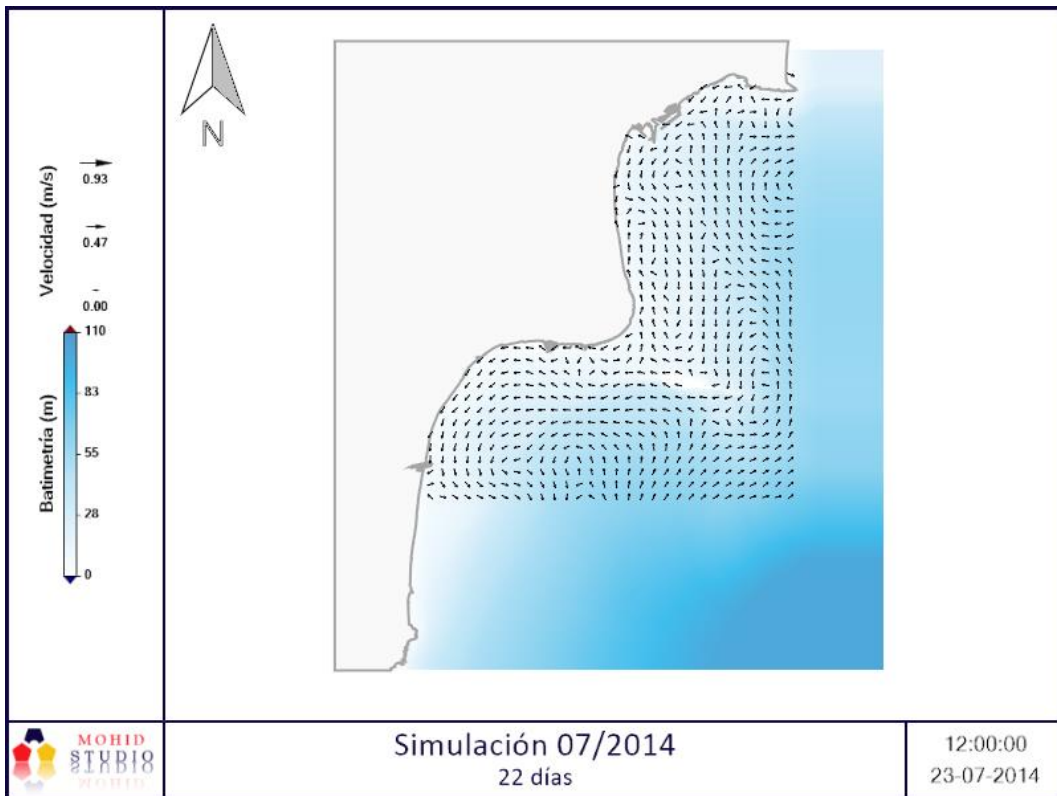




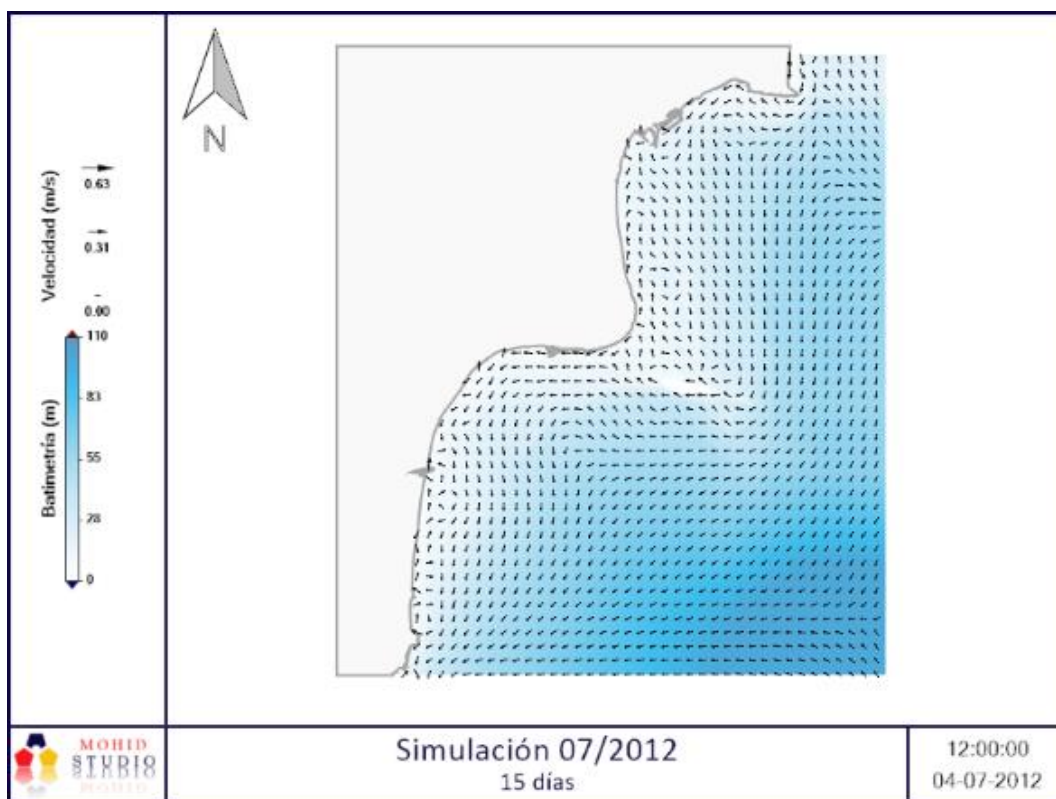
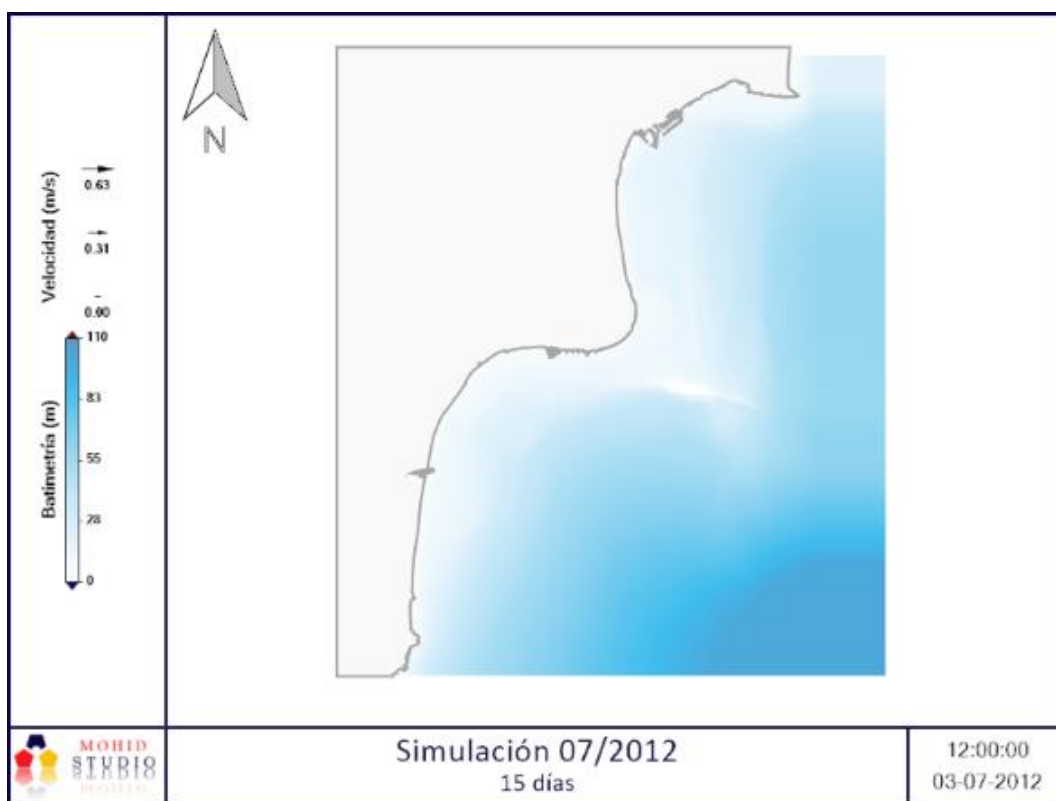


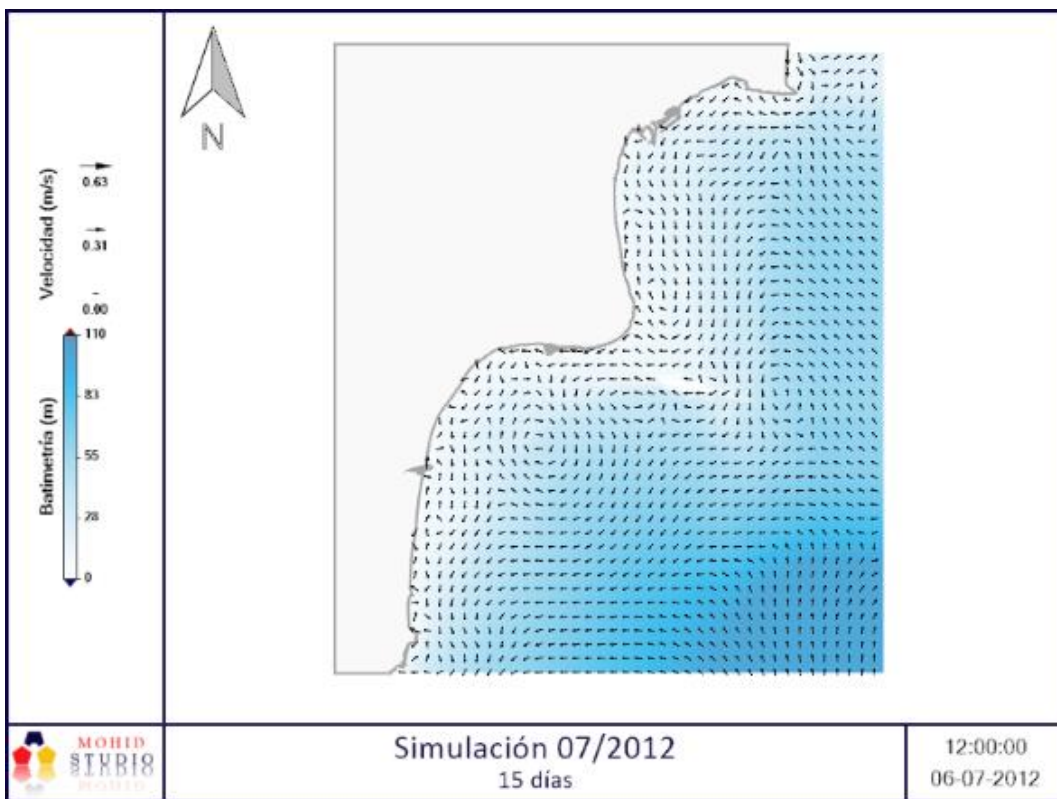
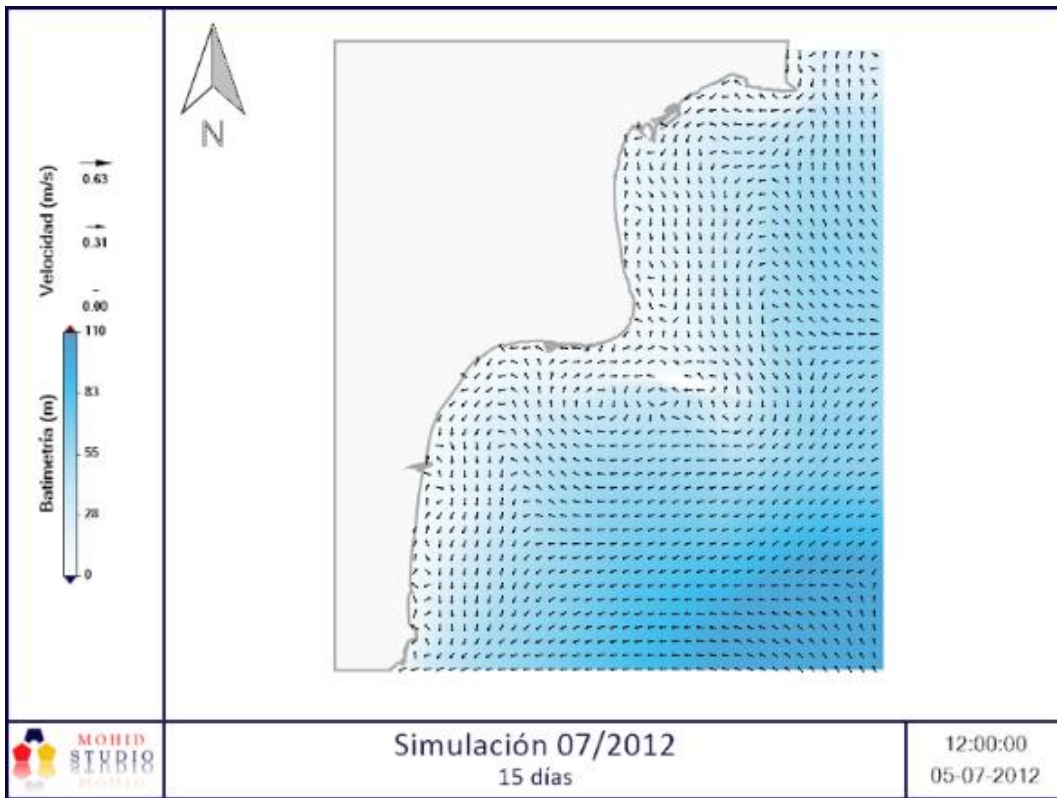


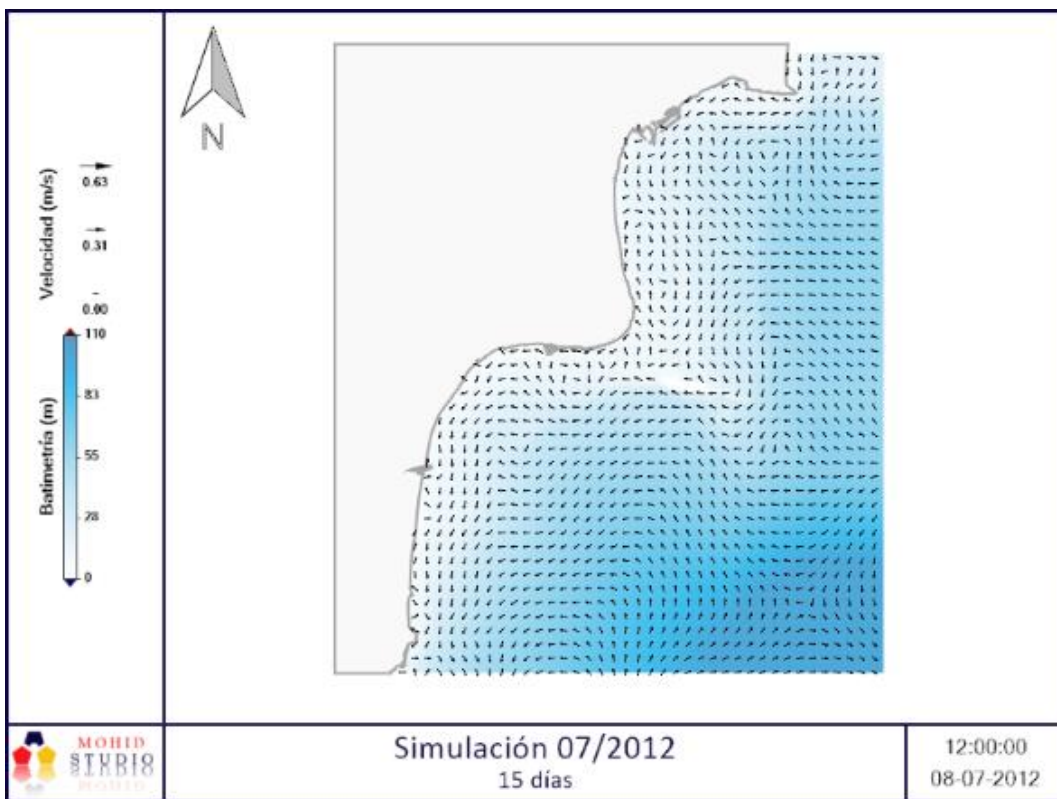
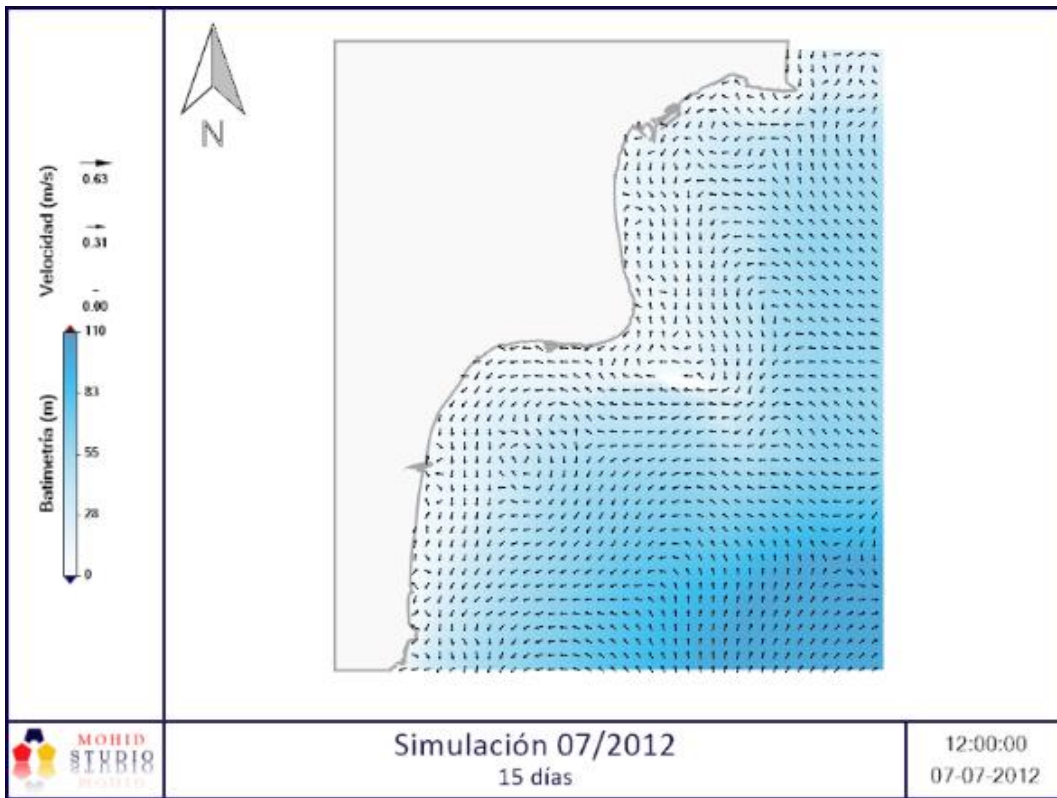


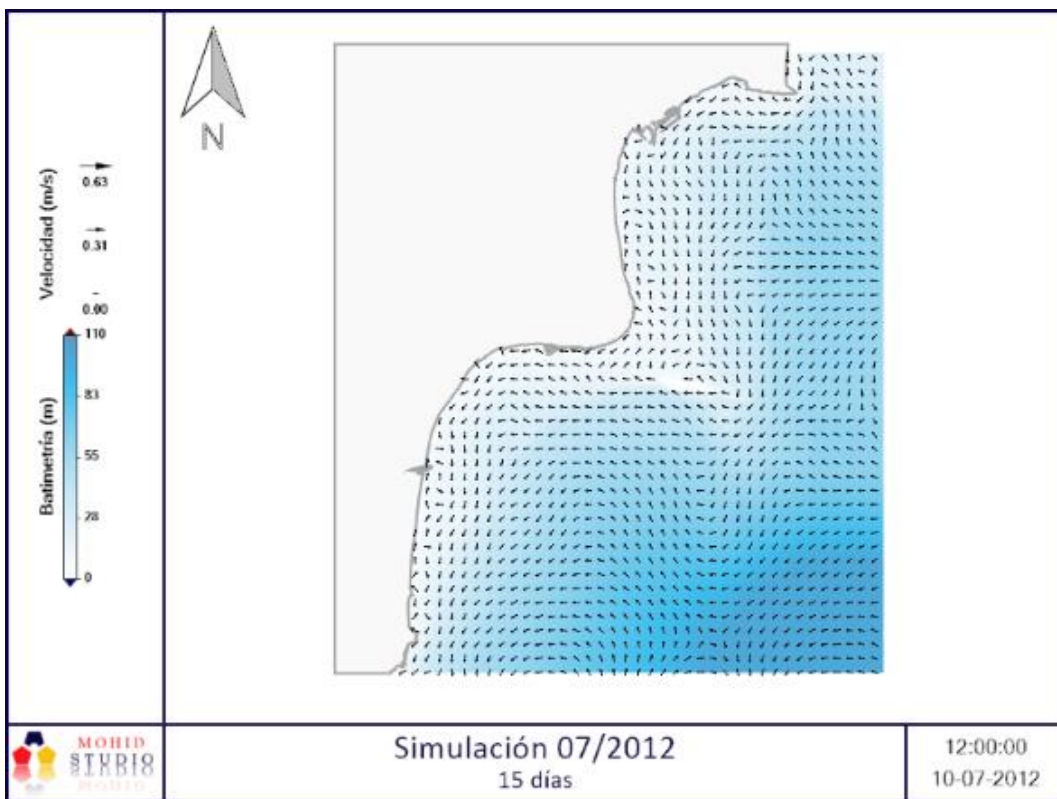
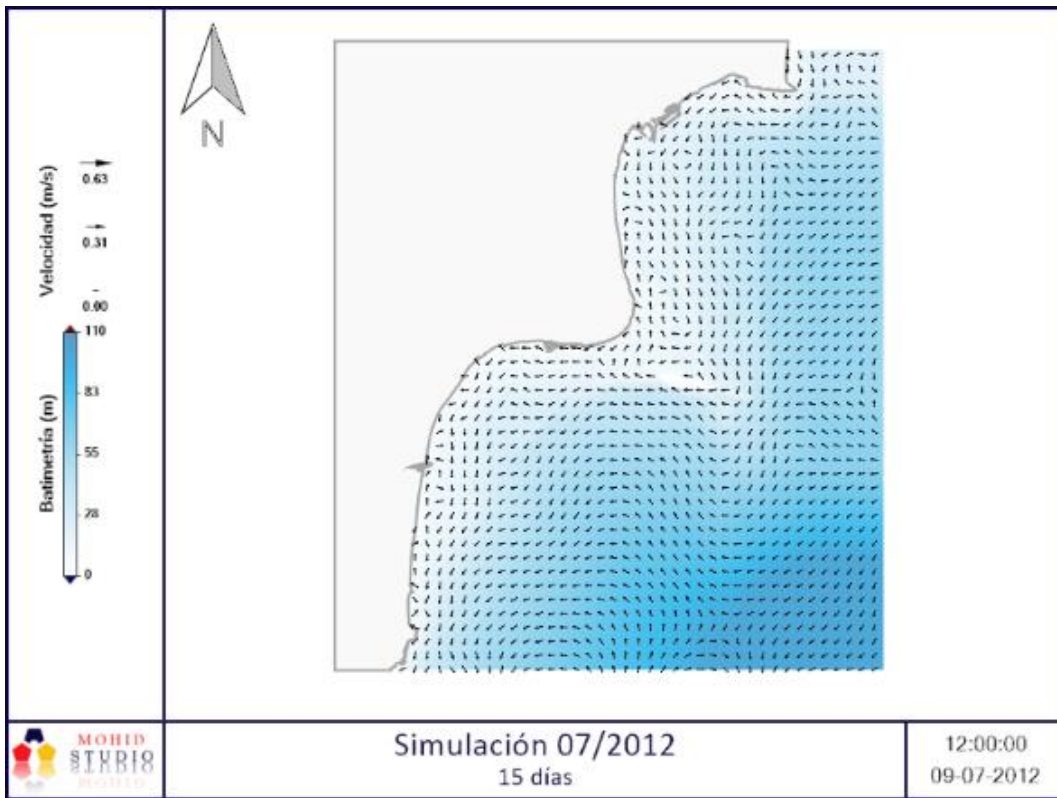


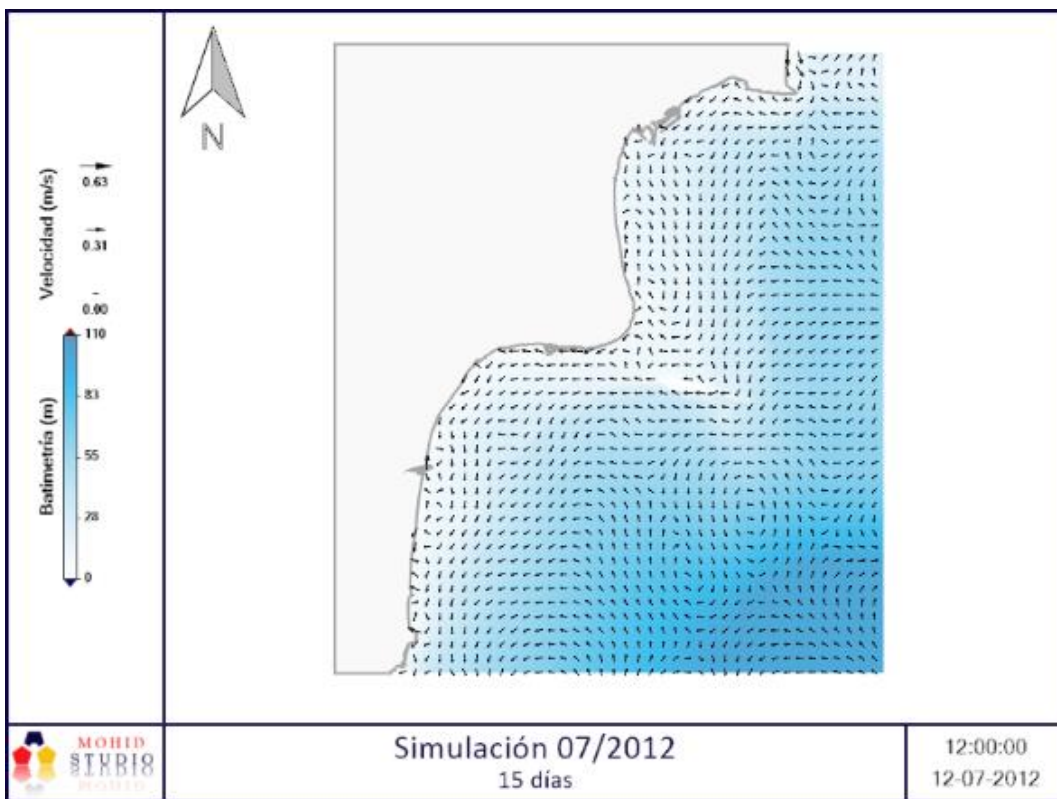
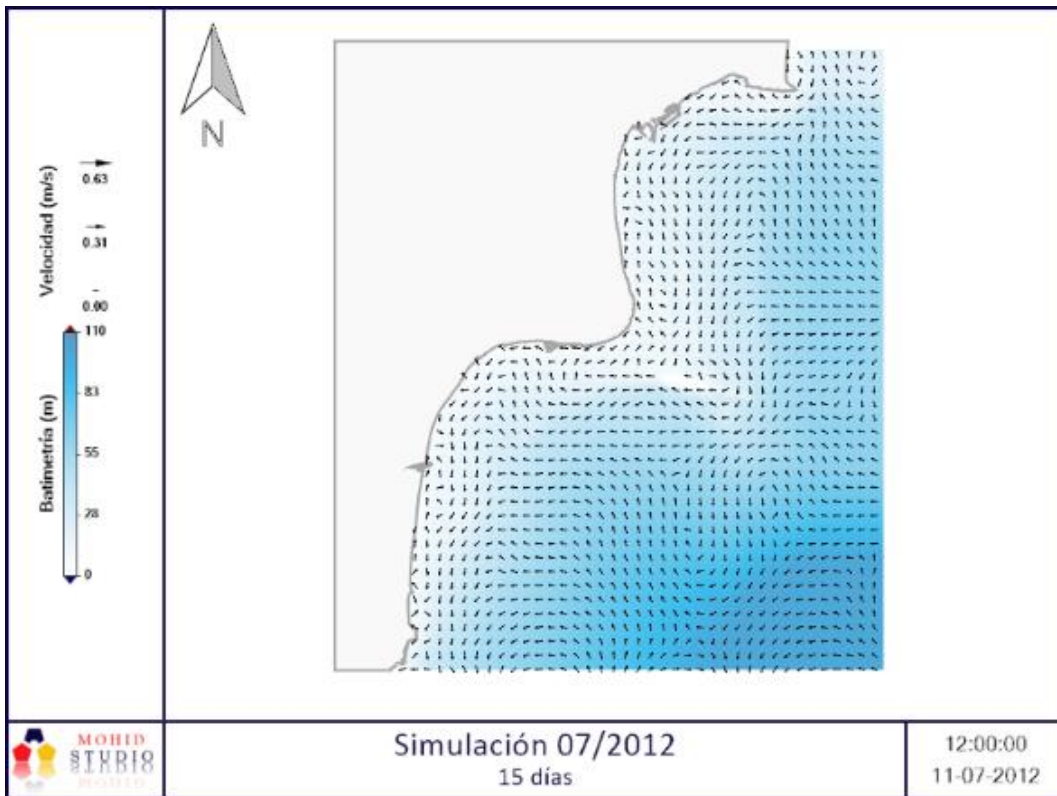
SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días

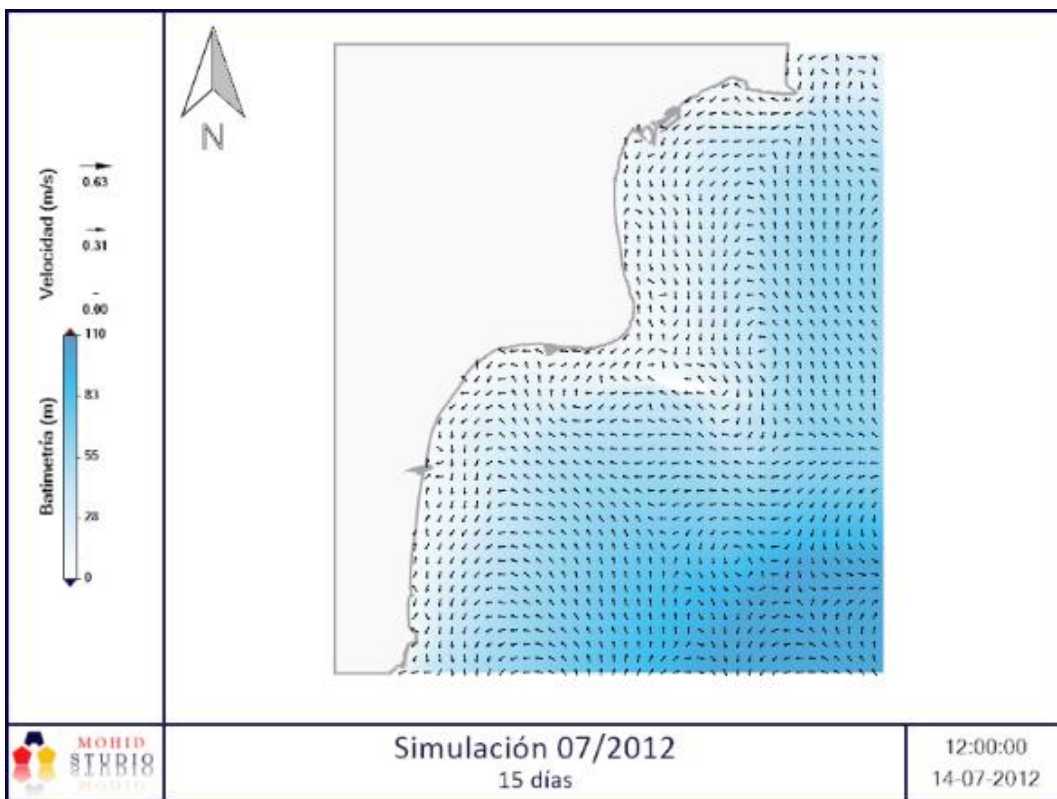
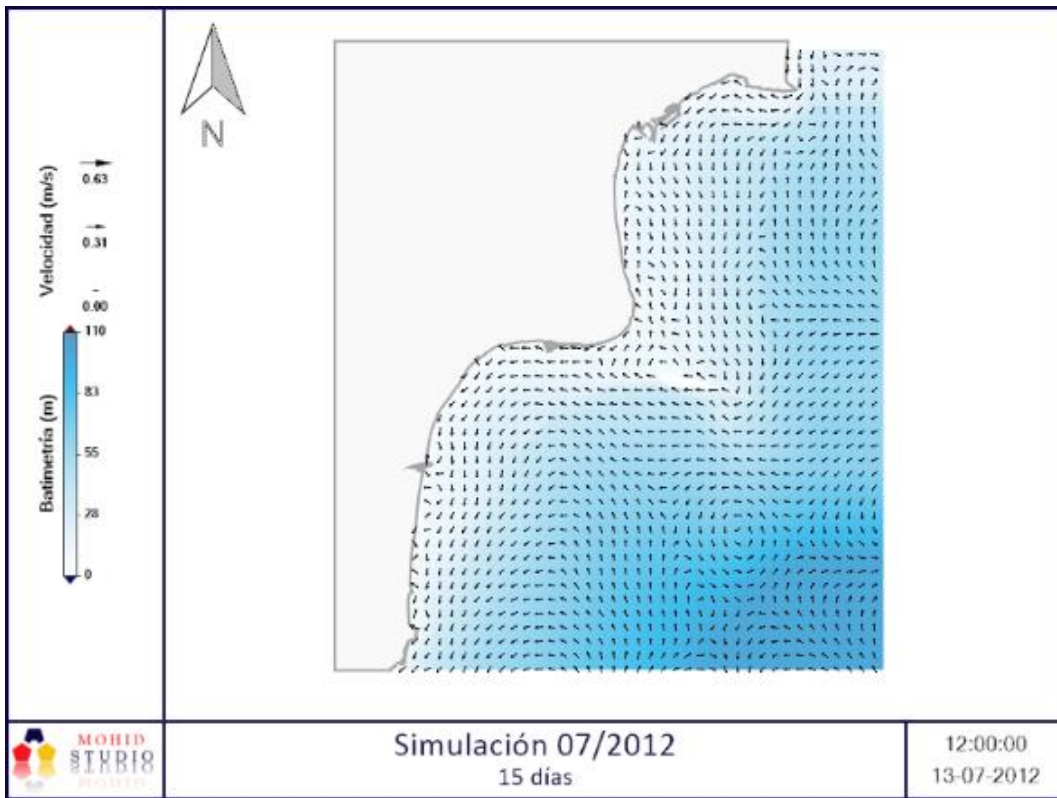


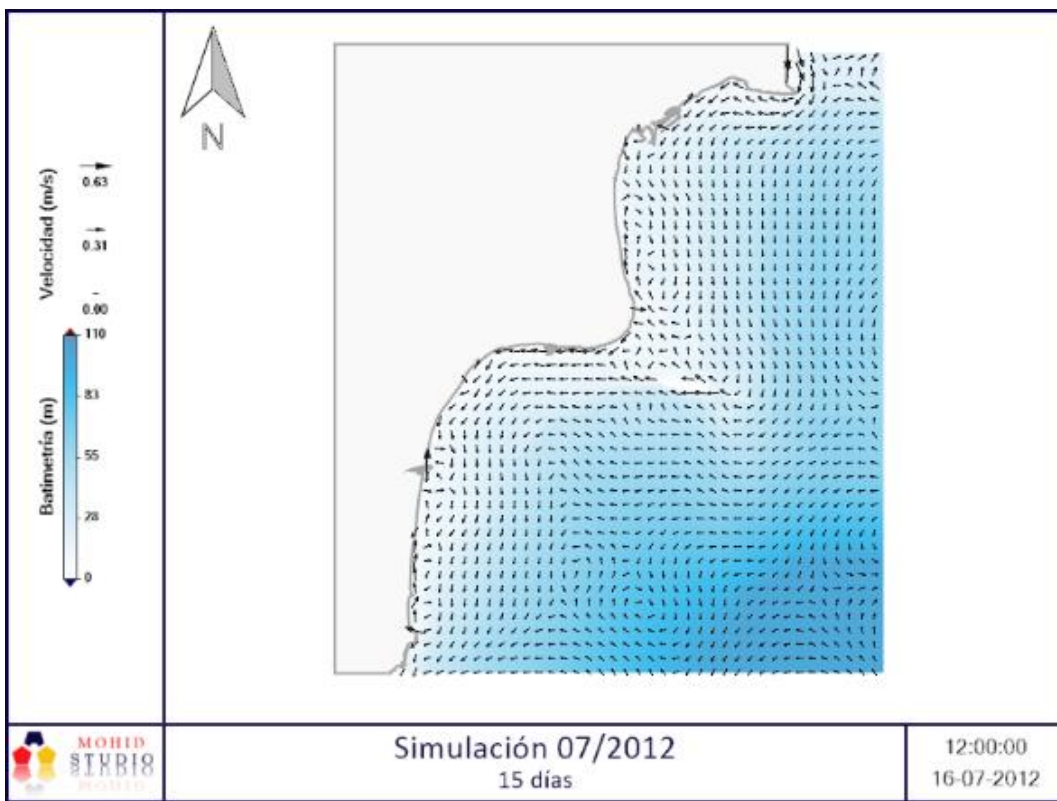
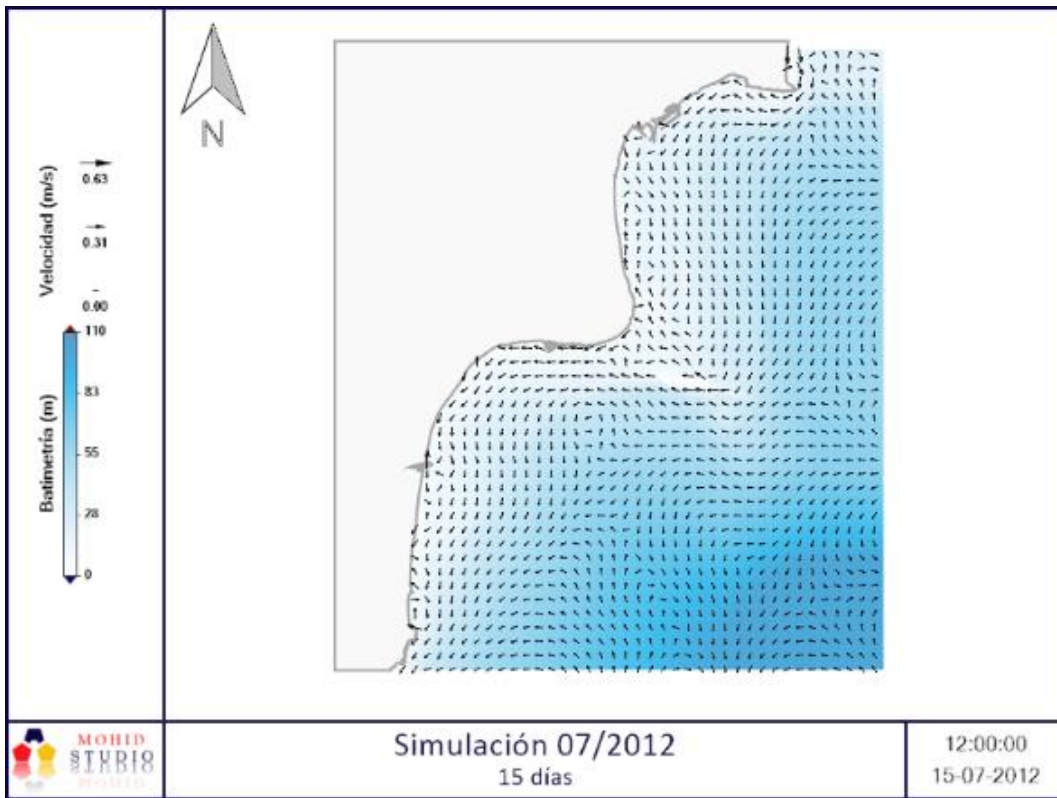


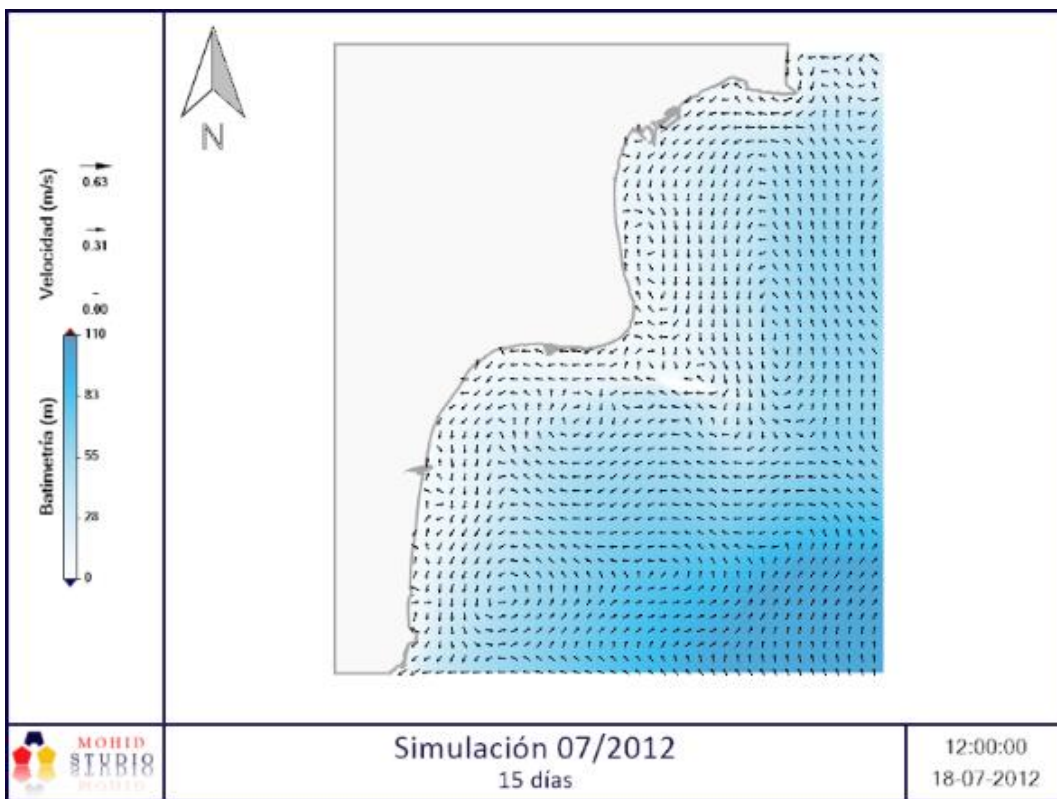
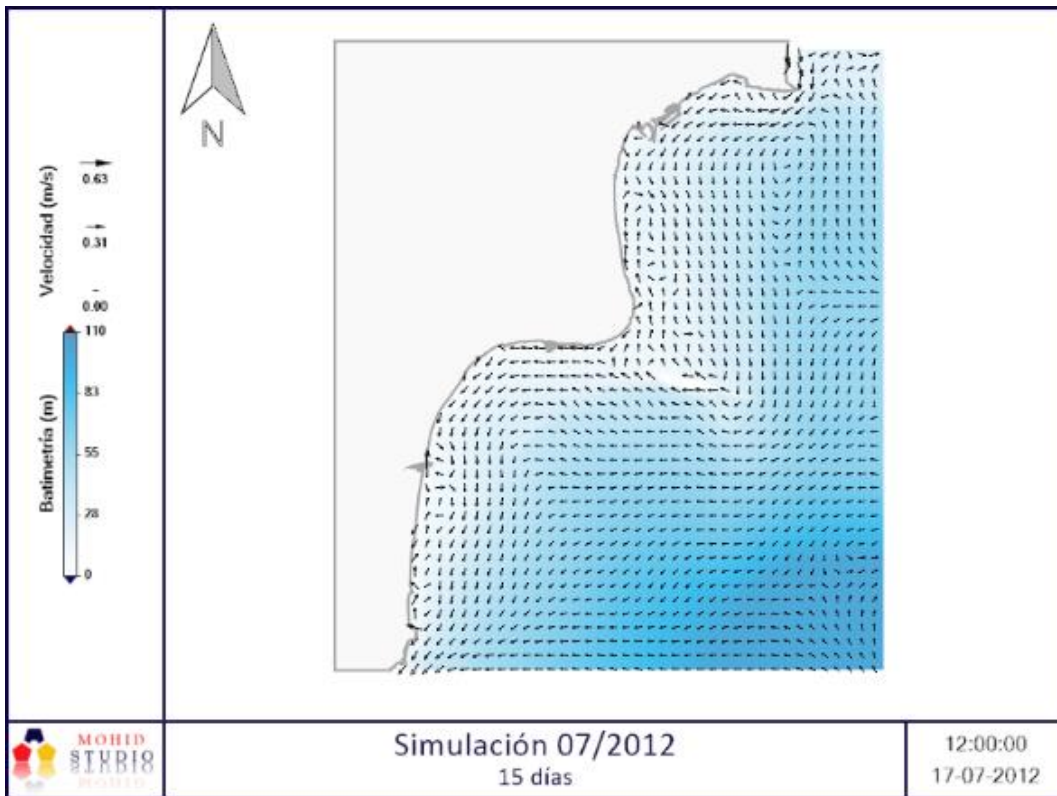




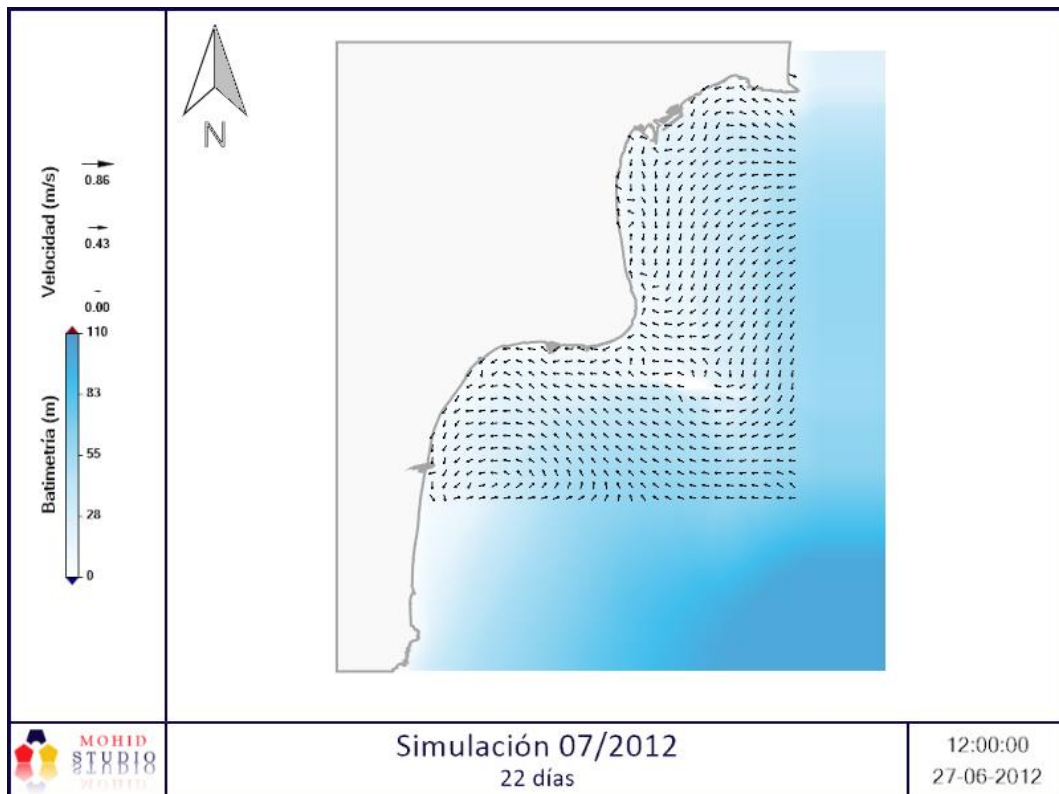
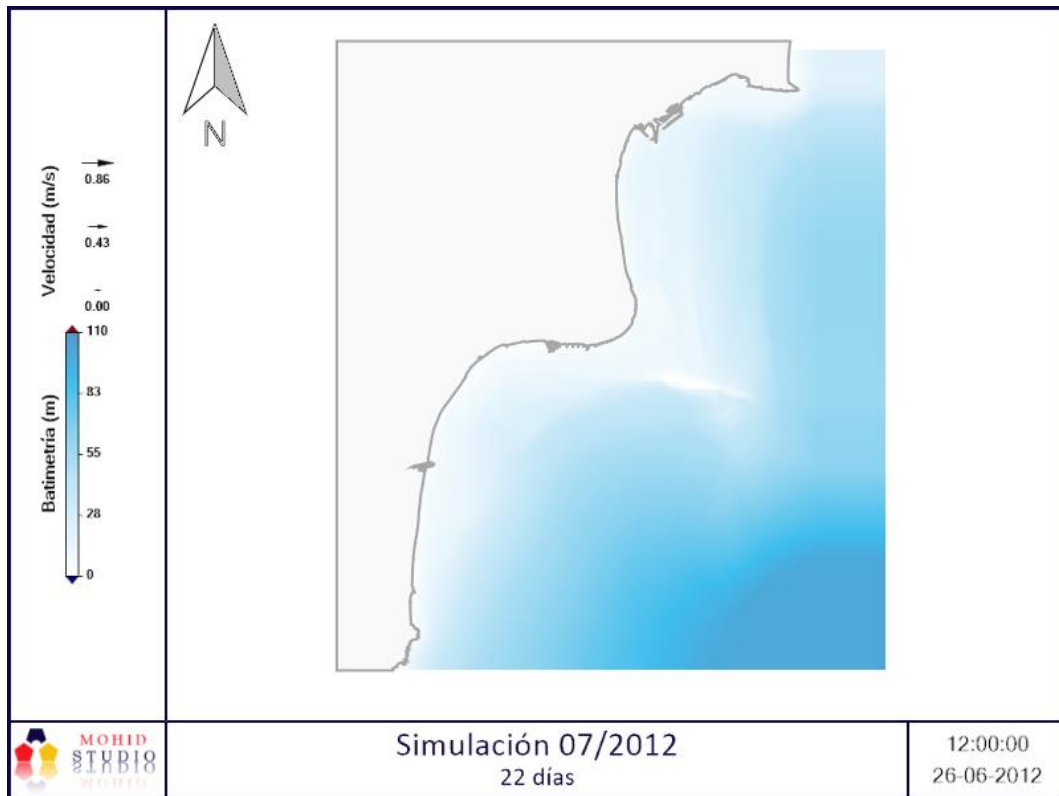


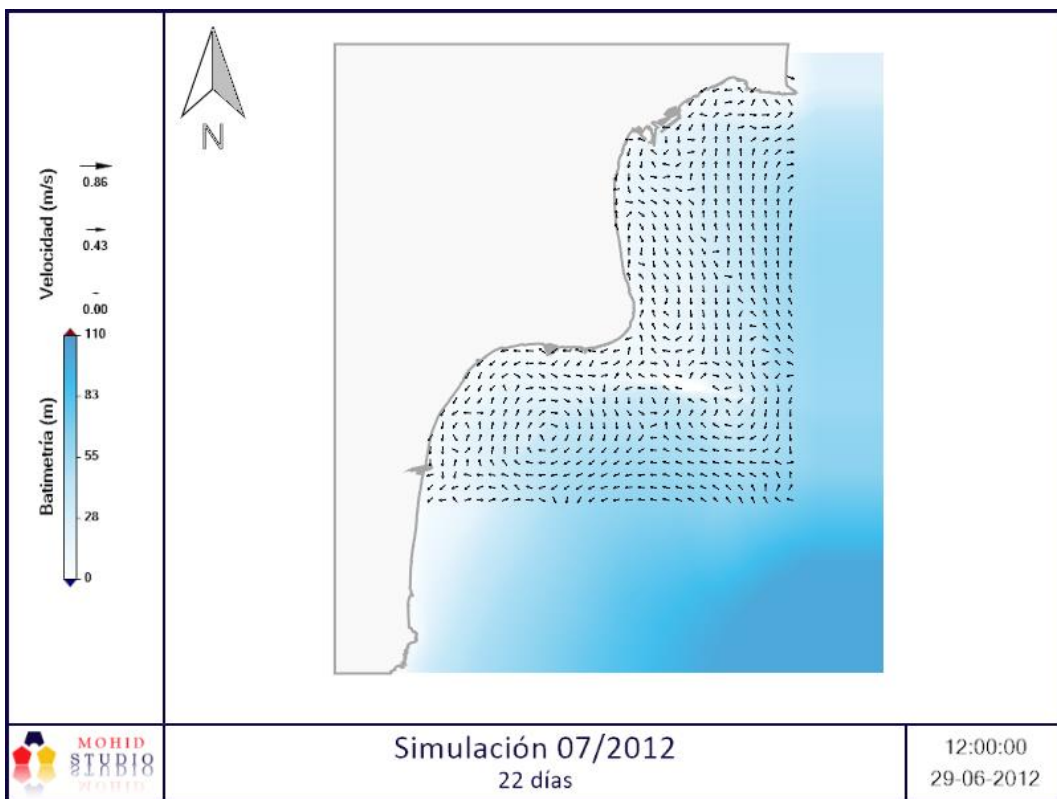
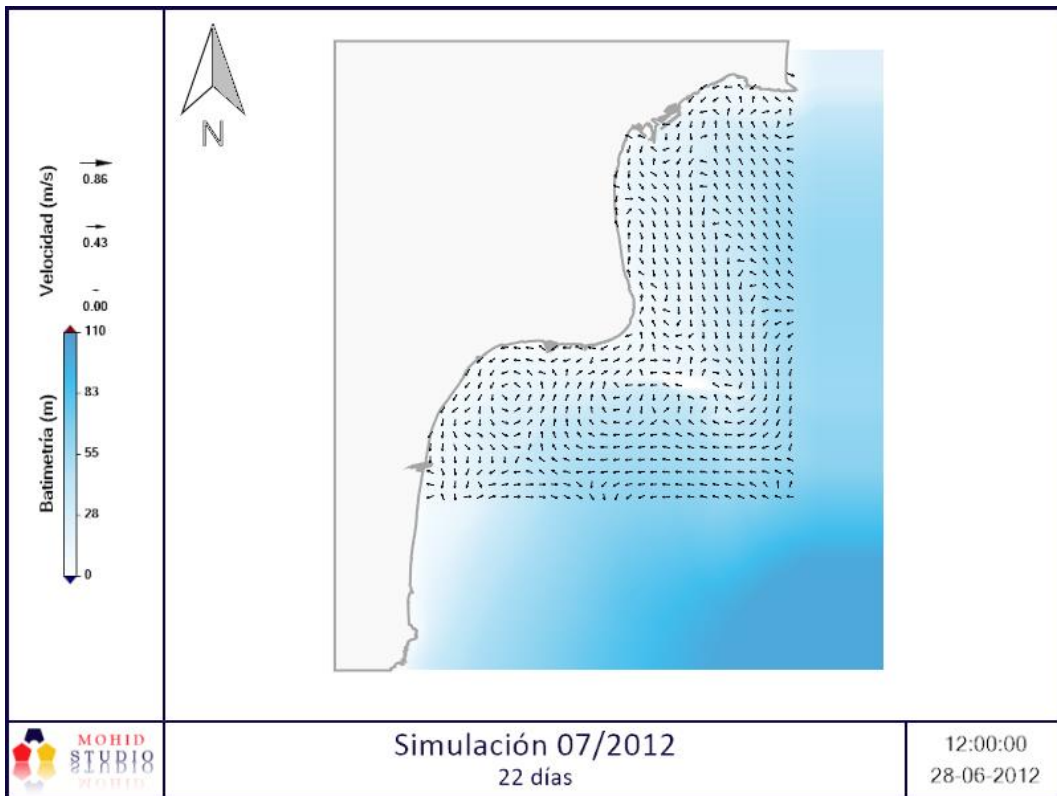


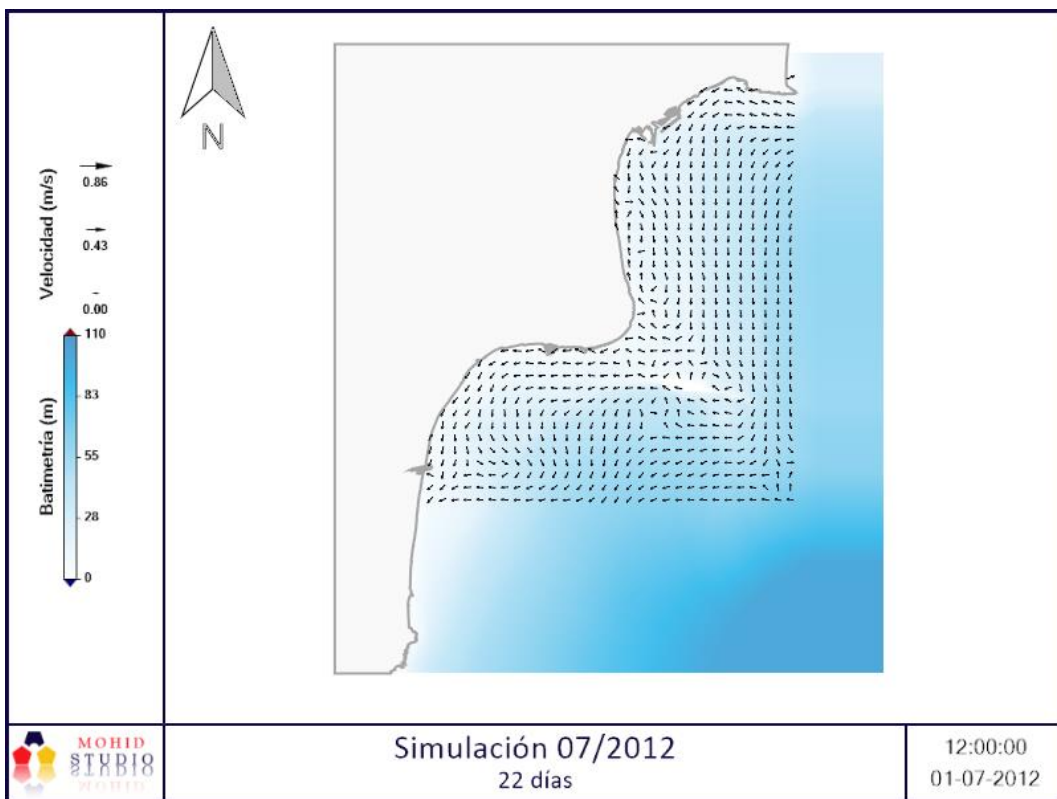
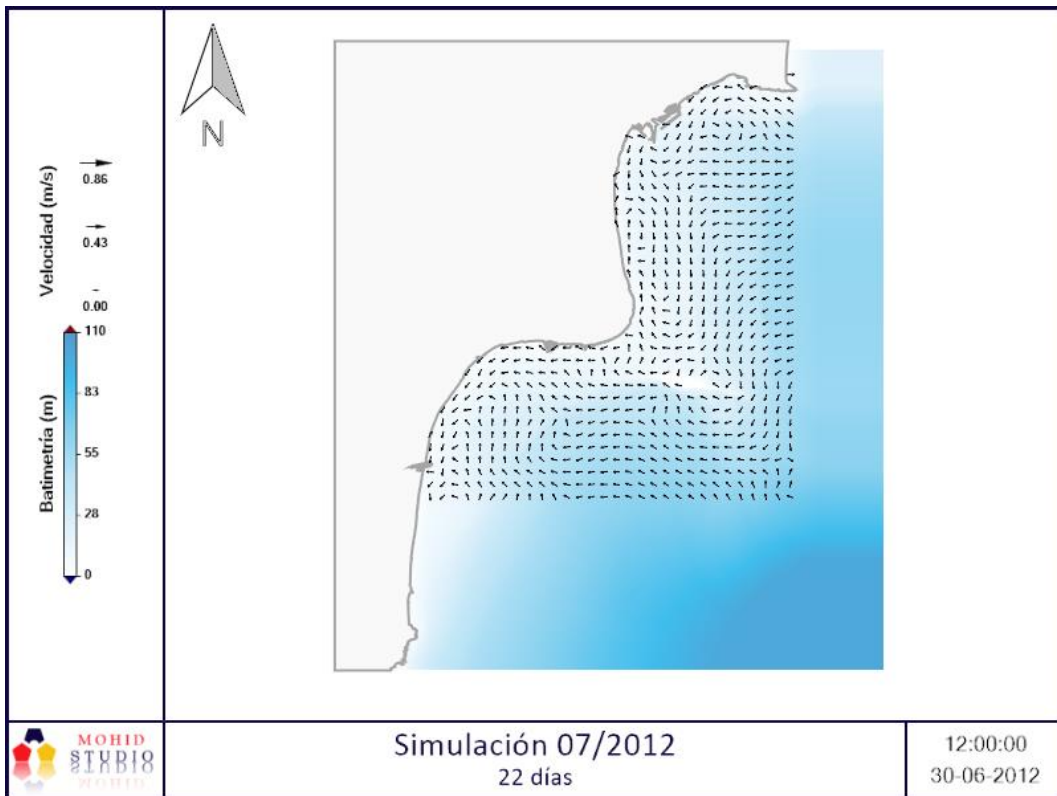


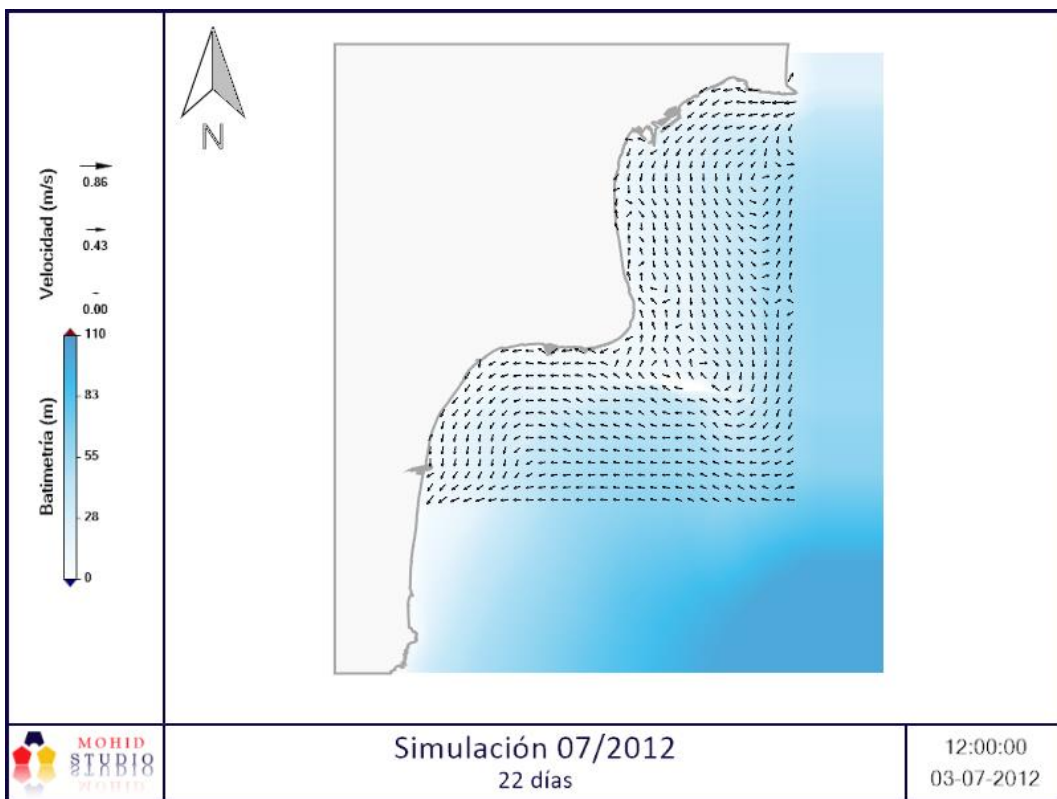
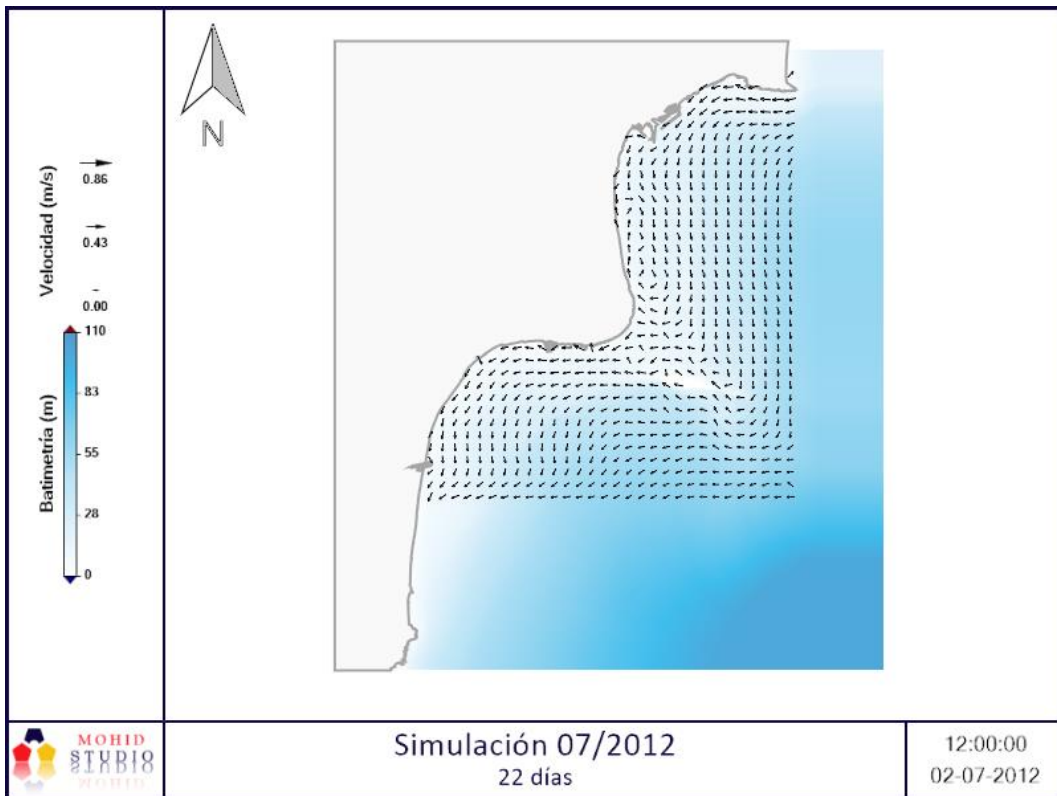


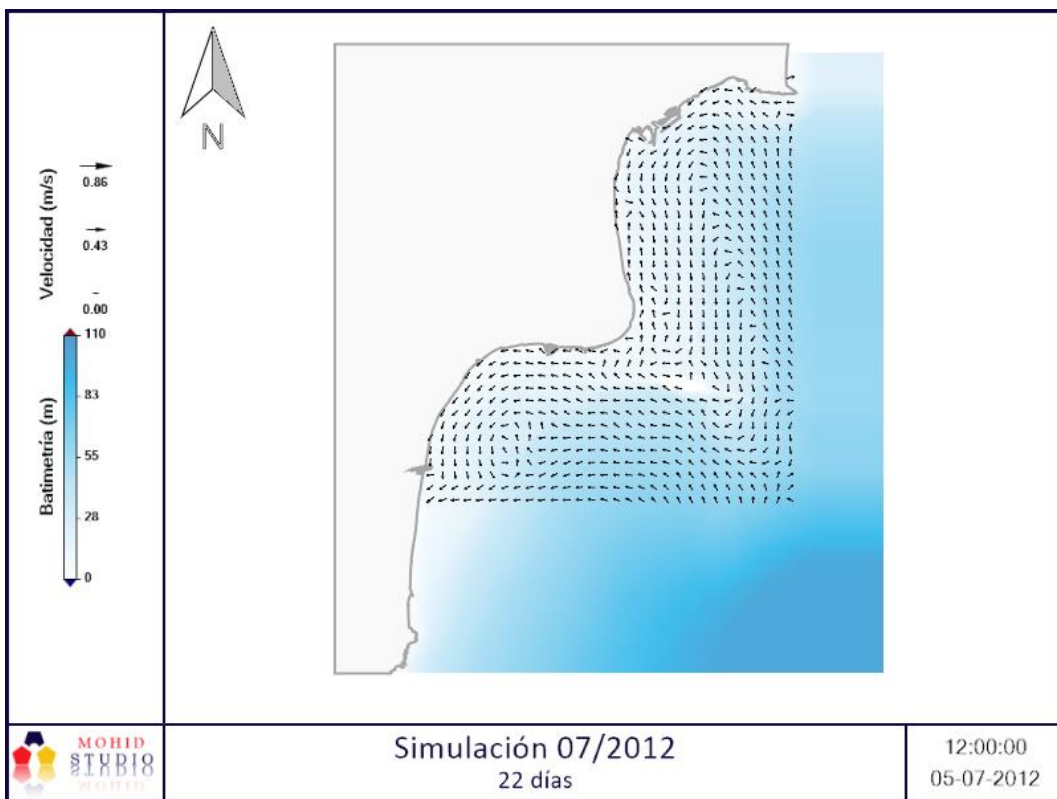
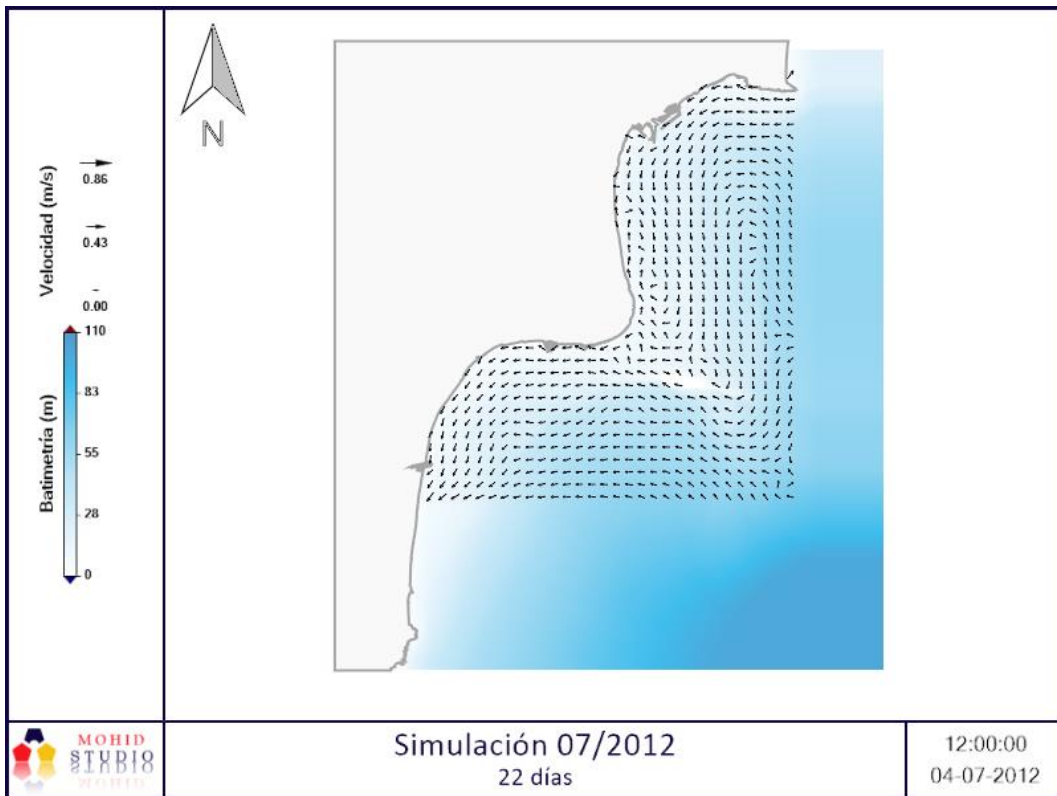
SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días

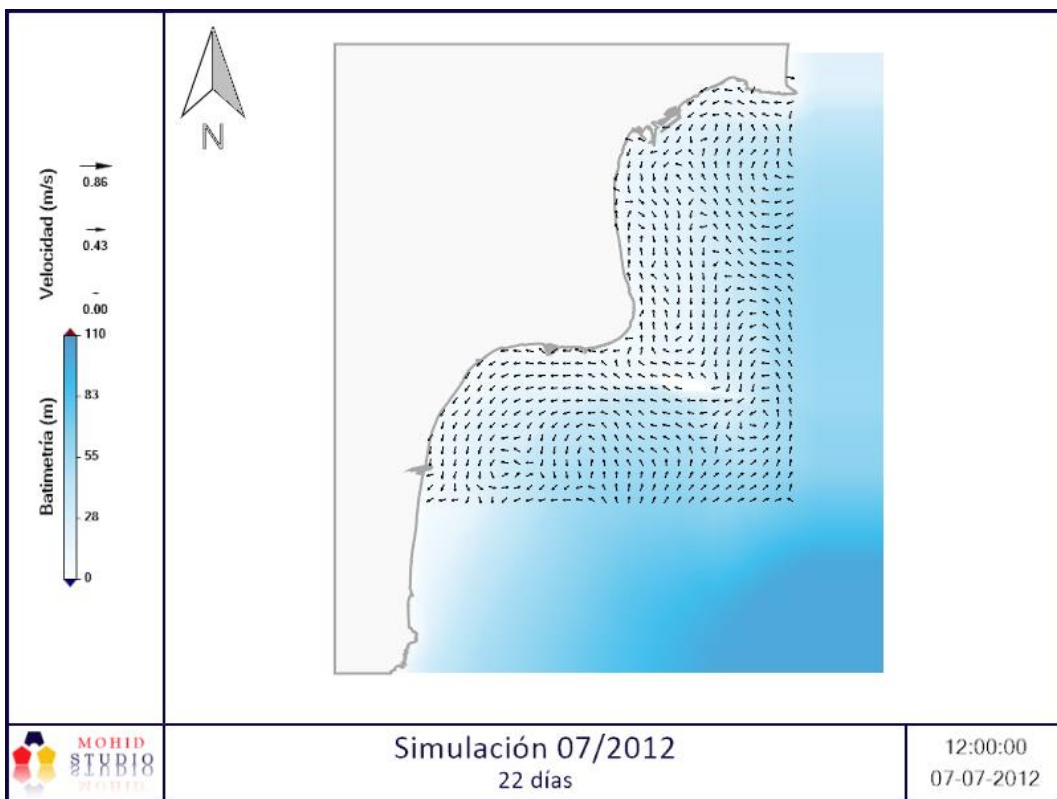
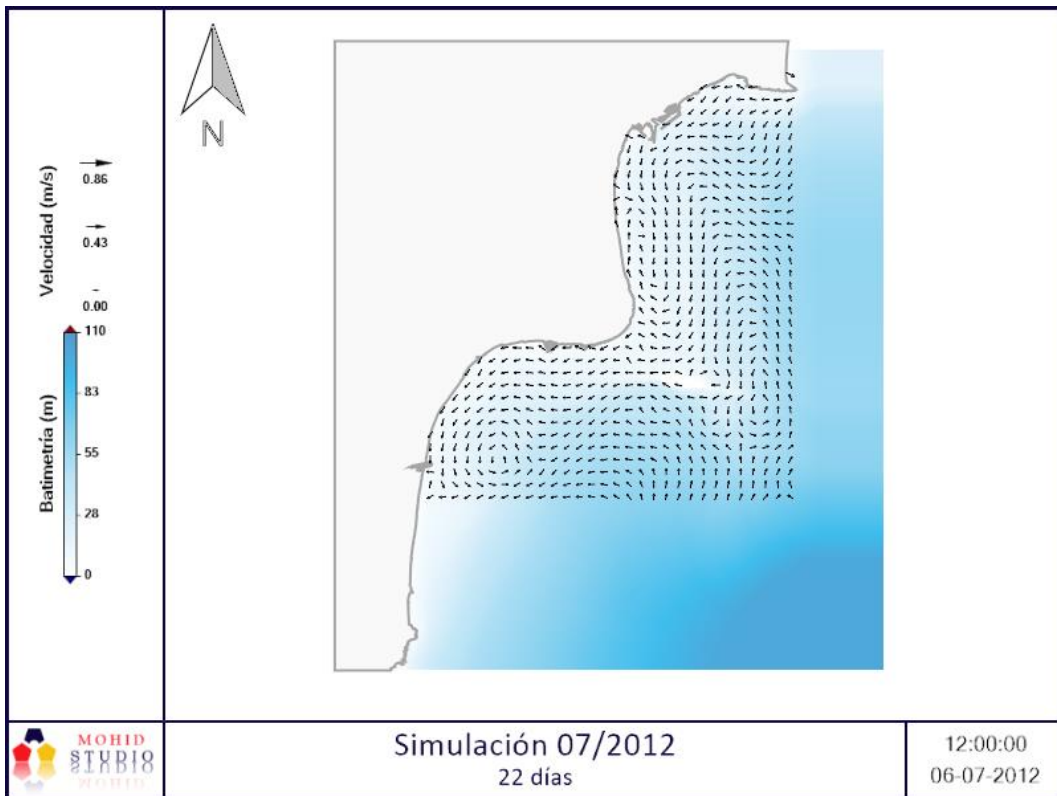


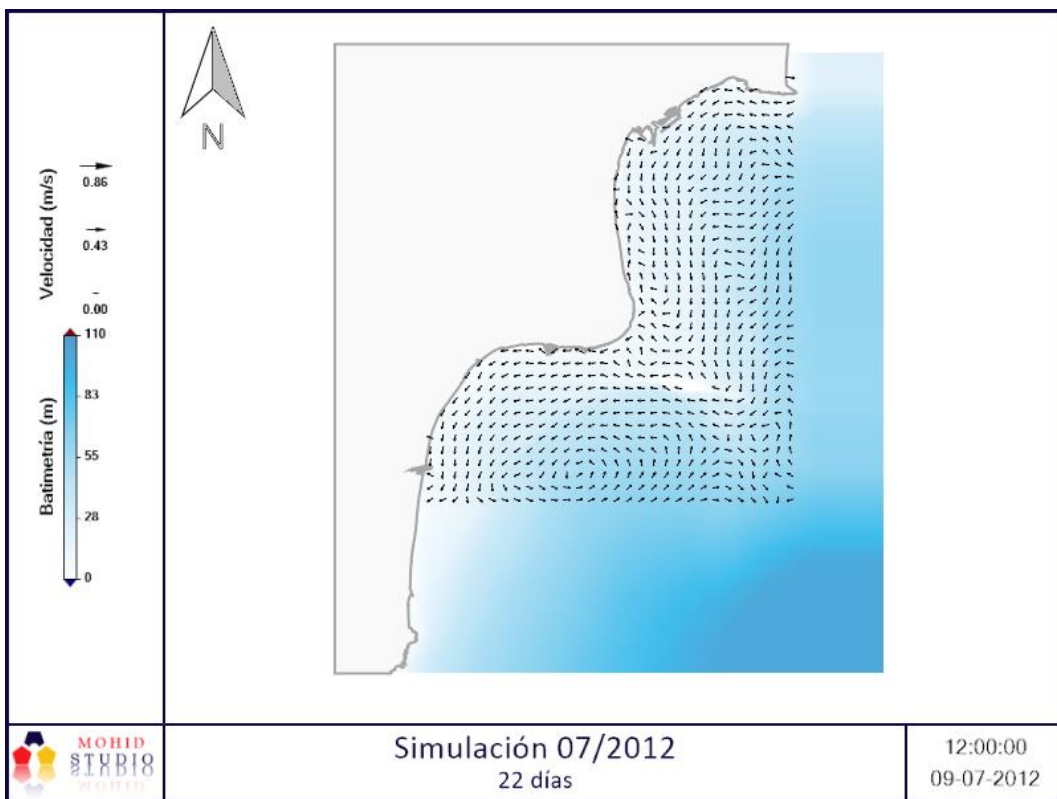
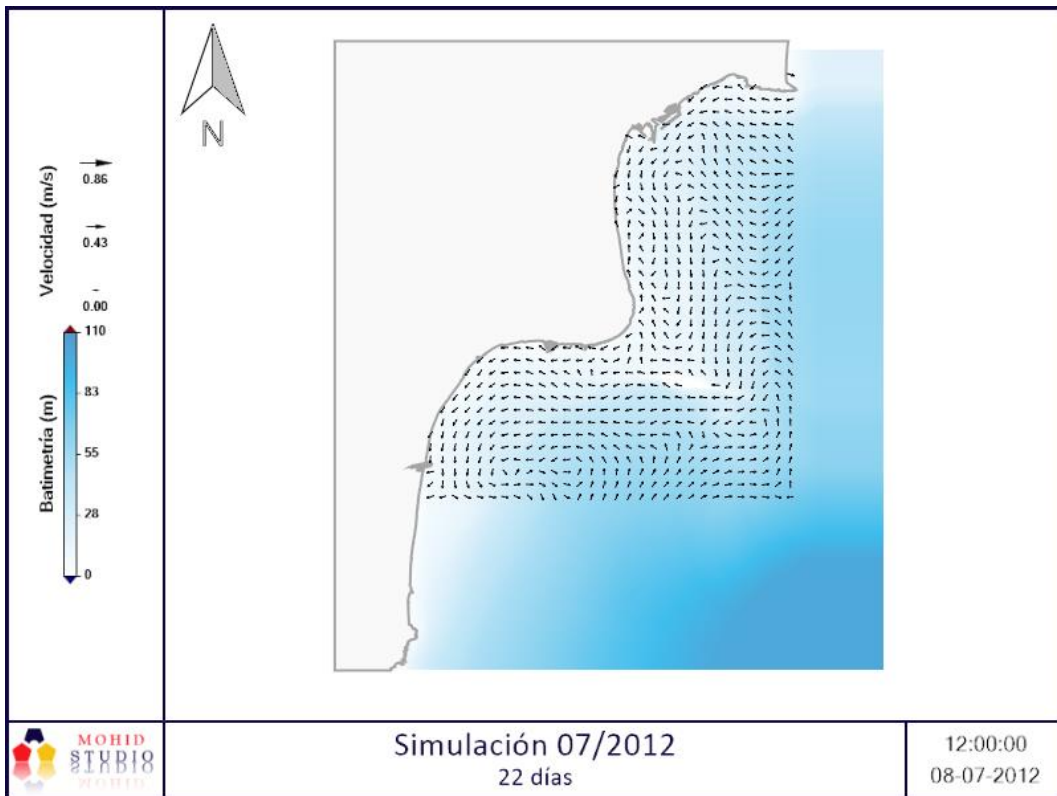


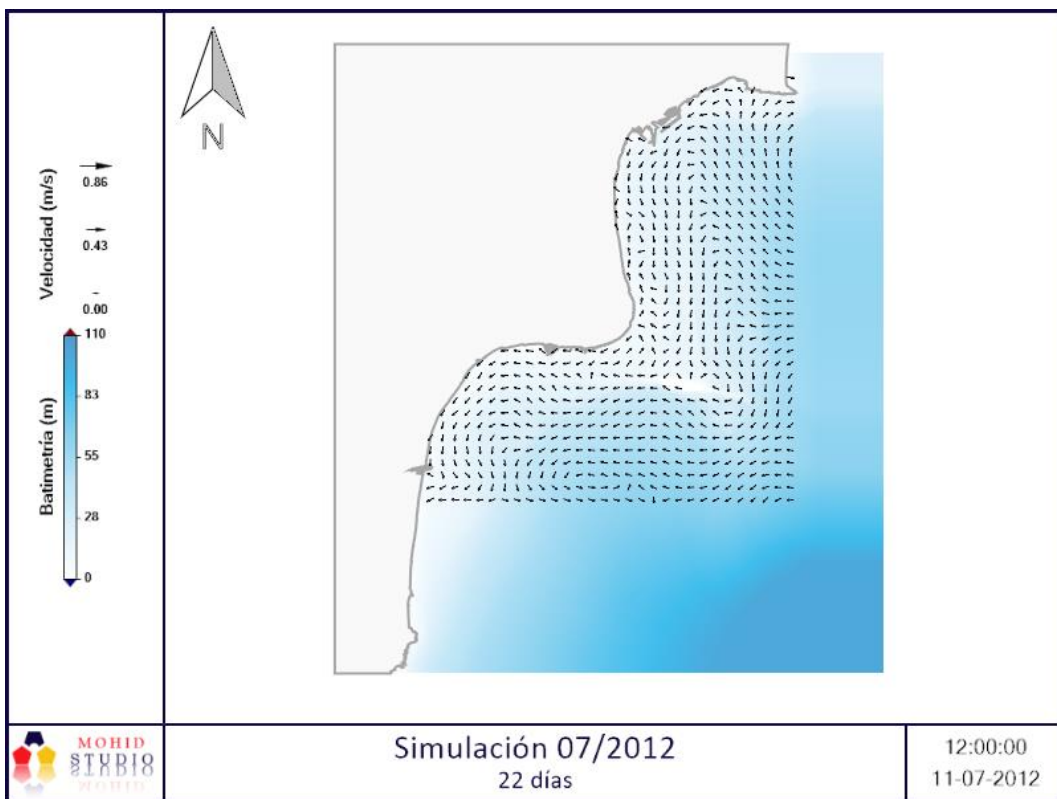
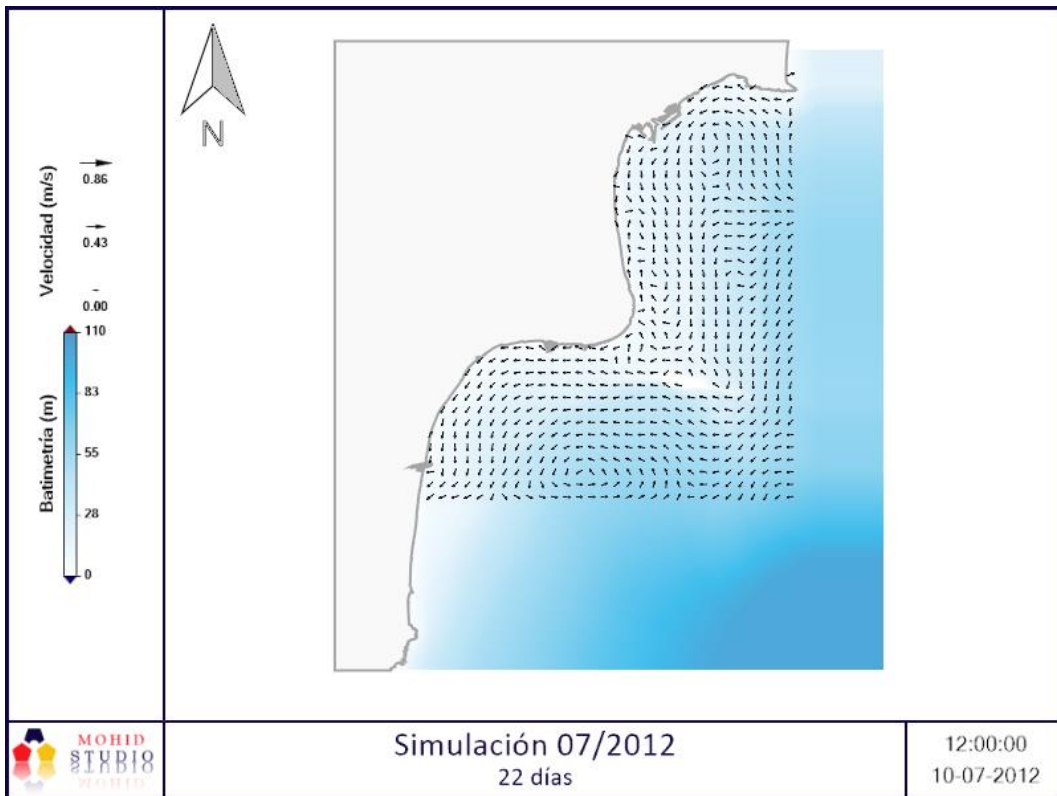


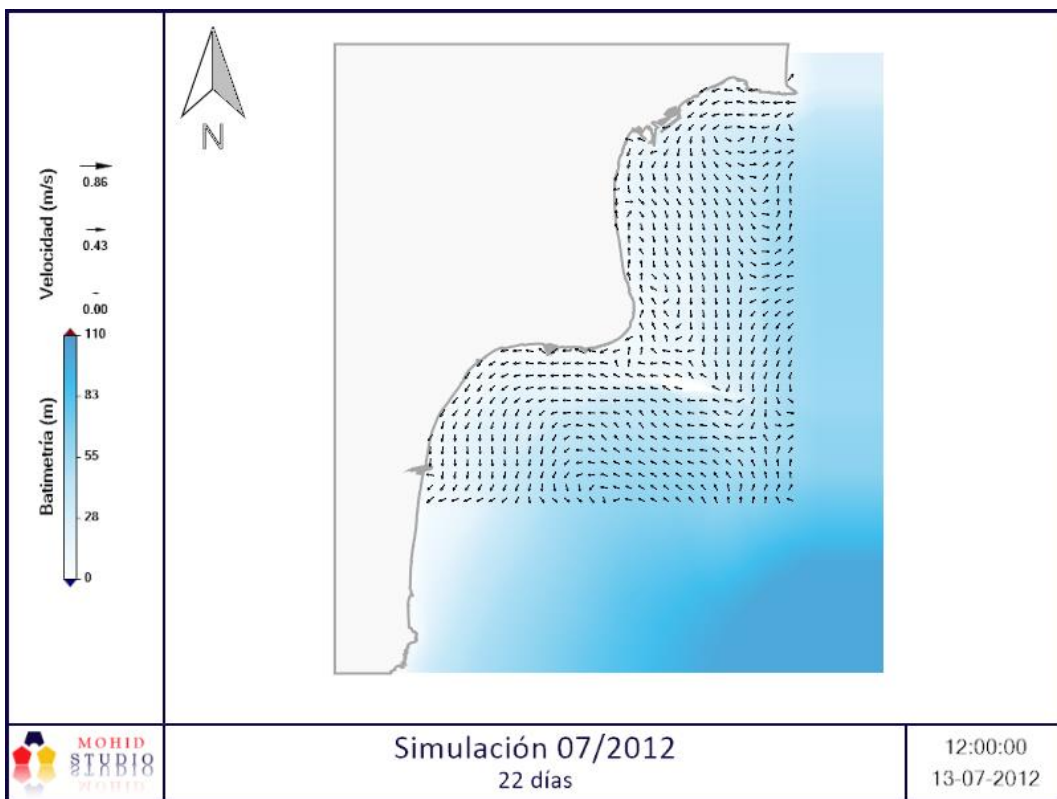
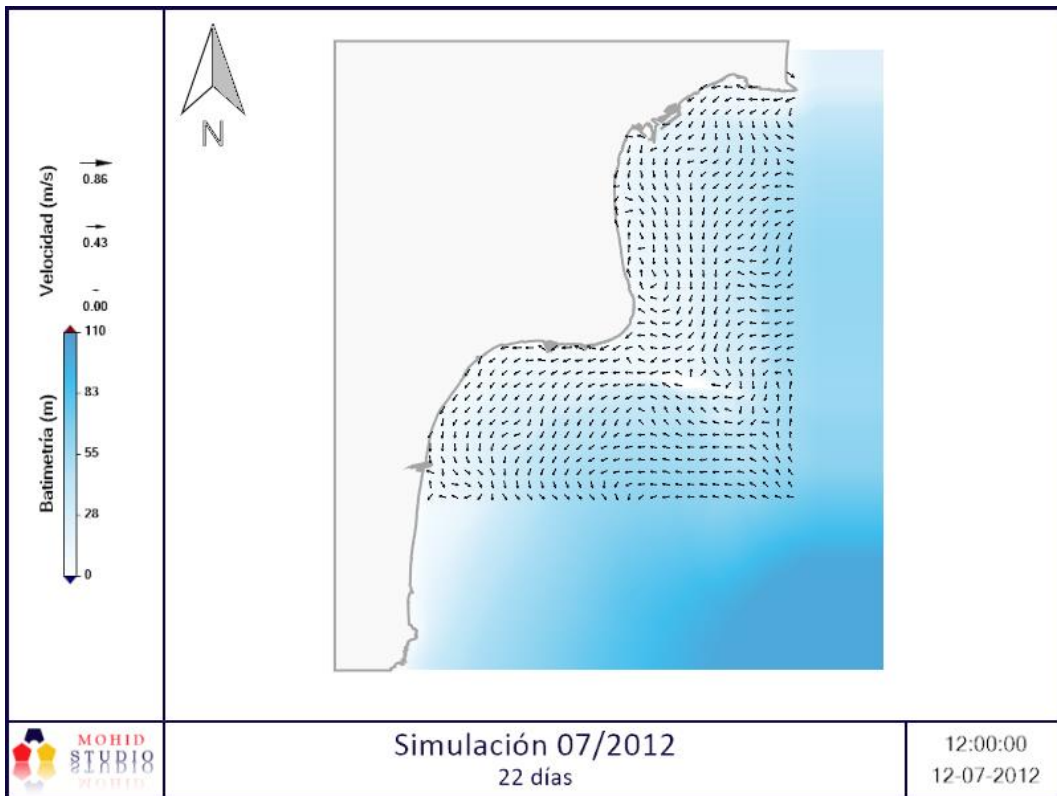


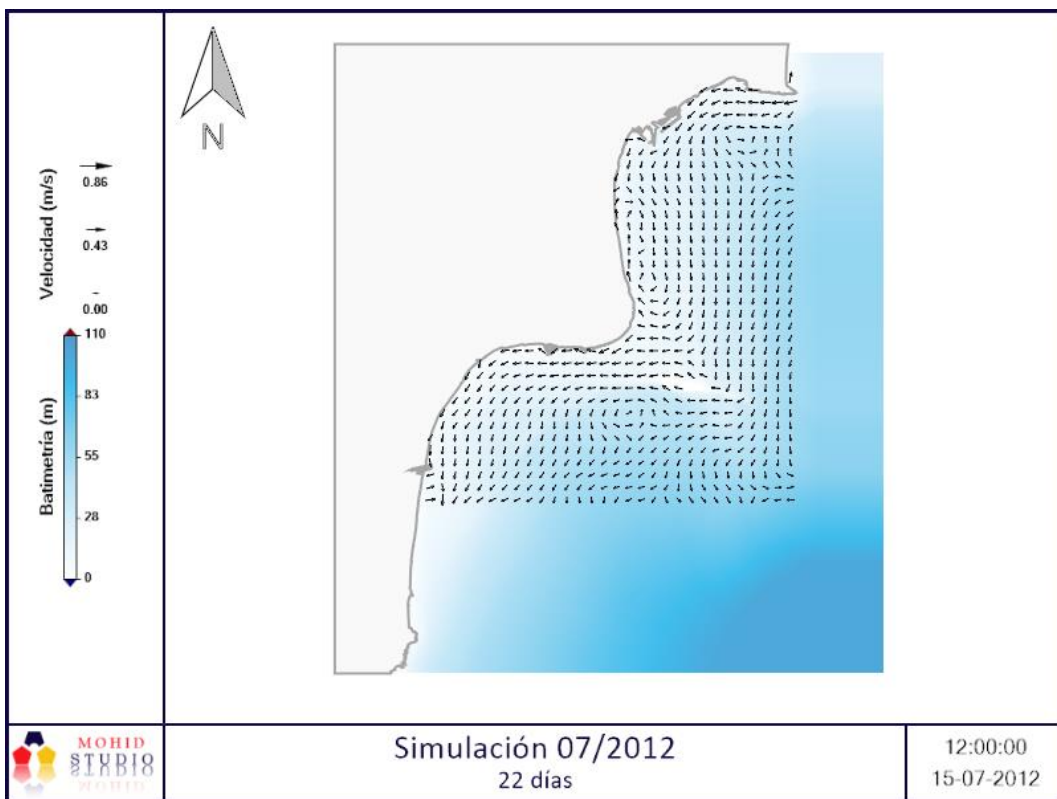
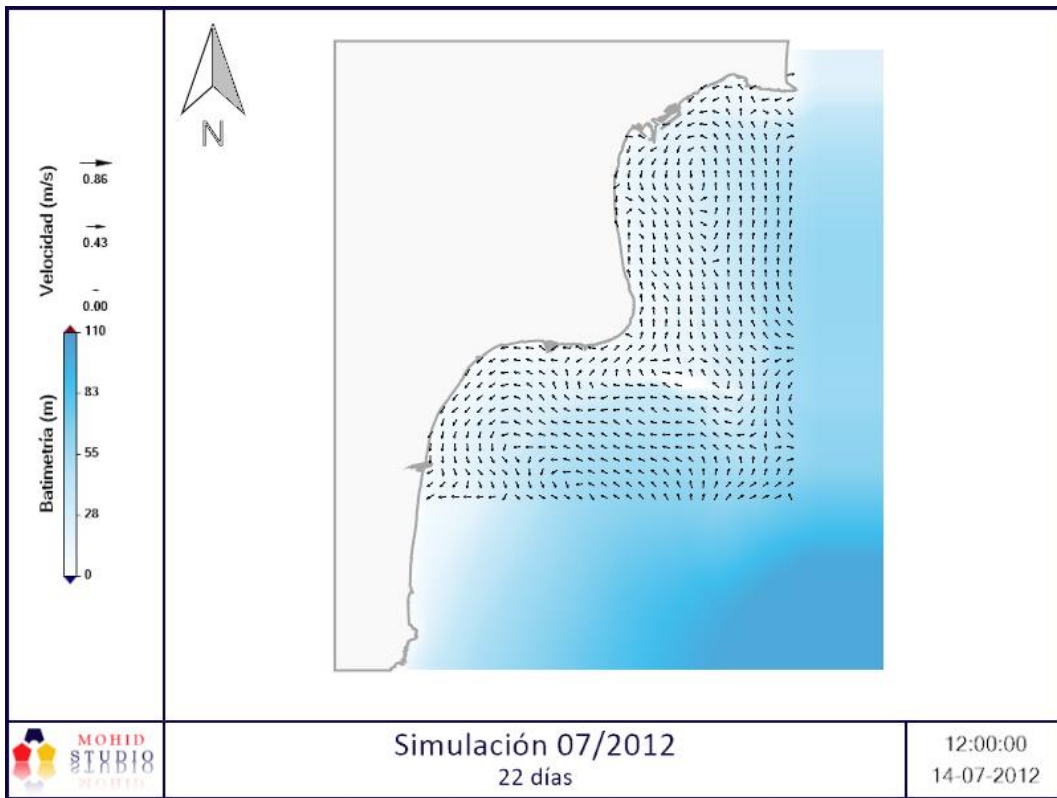


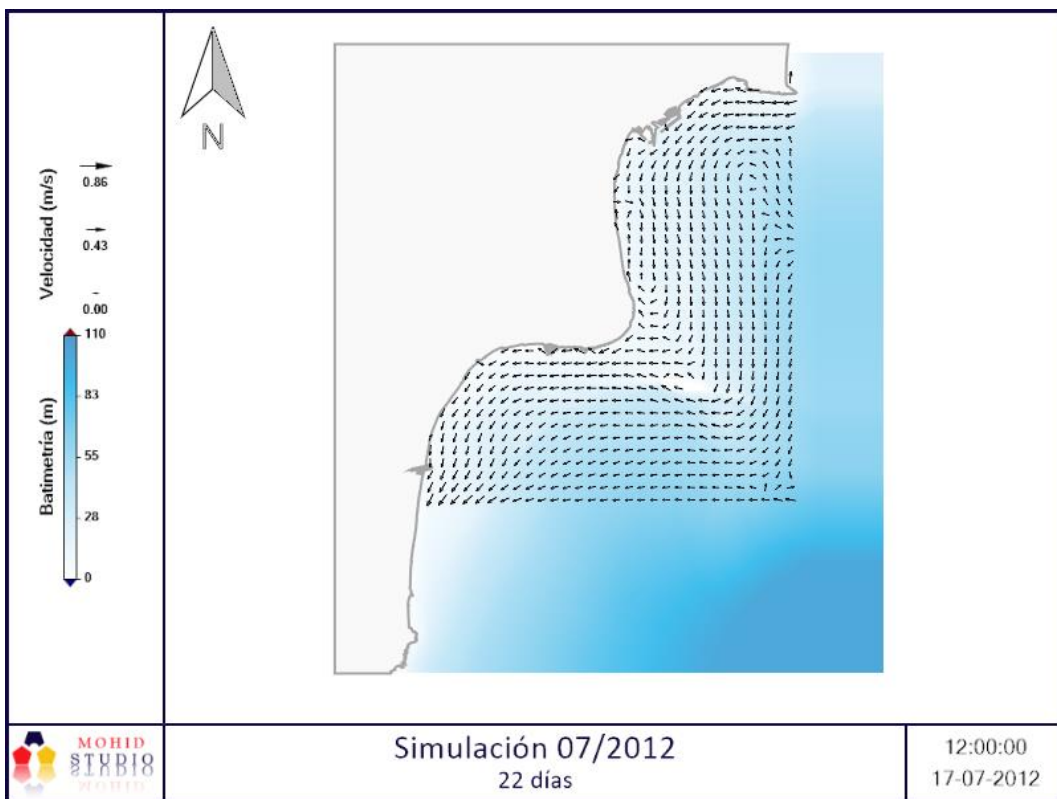
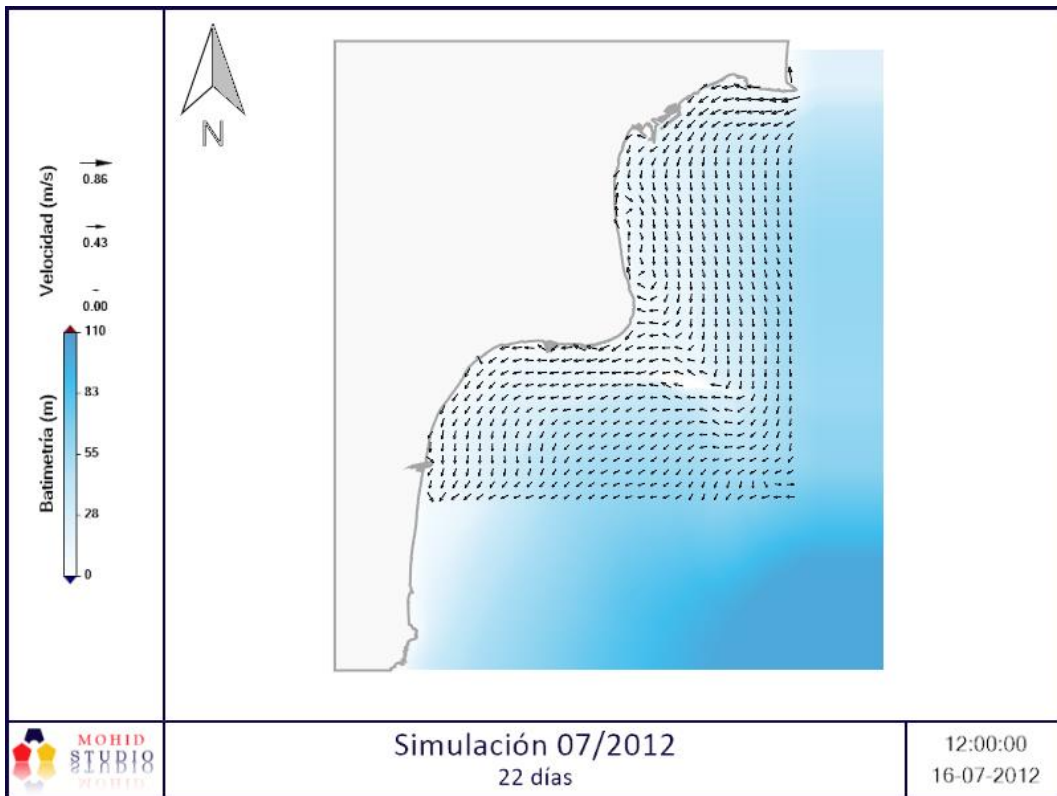


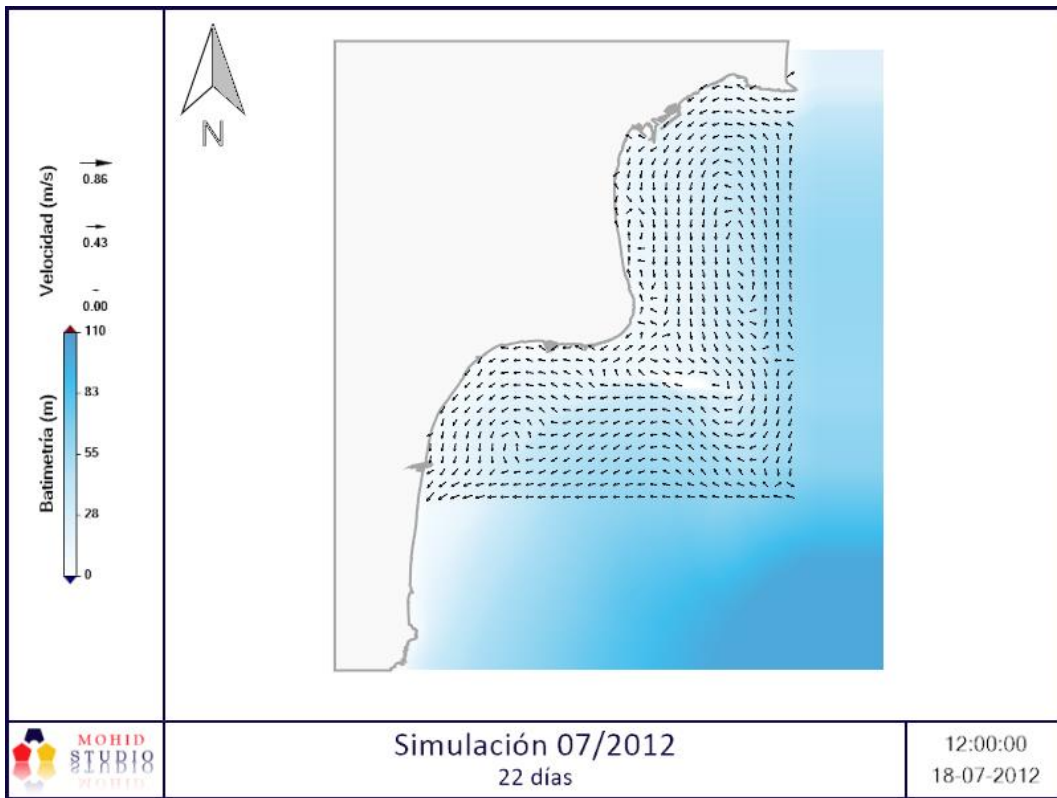












ANEJO Nº 4.

MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES MOHID WATER

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|------|--|----|
| 1. | OBJETO | 4 |
| 2. | PRINCIPIOS FÍSICOS DEL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO..... | 4 |
| 2.1. | MODELOS DE APROXIMACIÓN NUMÉRICA..... | 5 |
| 3. | ELECCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO | 6 |
| 3.1. | CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS POR EL MODELO DE CÁLCULO..... | 6 |
| 3.2. | COMPARATIVA DE MODELOS | 6 |
| 4. | DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA | 7 |
| 5. | DESCRIPCIÓN DE LAS SIMULACIONES..... | 11 |
| 6. | DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO Y ARCHIVOS DE ENTRADA | 13 |
| 7. | PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES | 15 |
| | SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días..... | 15 |
| | SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días..... | 17 |
| | SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días..... | 18 |
| | SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días..... | 20 |
| | SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días..... | 22 |
| | SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días..... | 24 |
| 8. | CONCLUSIÓN | 26 |

APÉNDICE 1. CONJUNTO DE RESULTADOS GRÁFICOS DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES.



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Interacción del módulo Hidrodinámico con otros módulos..... | 8 |
| Figura 2. Interacción del módulo Lagrangiano con otros módulos..... | 9 |
| Figura 3. Interacción del módulo de Propiedades del Agua con otros módulos..... | 9 |
| Figura 4. Interacción del módulo Calidad de Agua con otros módulos..... | 10 |
| Figura 5. Esquema de funcionamiento de MOHID Water y sus principales módulos..... | 10 |
| Figura 6. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio..... | 11 |
| Figura 7. Concentración de clorofila (percentil 90) en las estaciones de muestreo de la masa de agua C017. | 11 |
| Figura 8. Malla general y malla reducida del modelo de dispersión de contaminantes..... | 13 |
| Figura 9. Concepto de coordenadas Sigma..... | 13 |
| Figura 10. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 14/09/2016..... | 15 |
| Figura 11. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 20/09/2016..... | 16 |
| Figura 12. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016..... | 16 |
| Figura 13. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 11/07/2014..... | 17 |
| Figura 14. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 17/07/2014..... | 17 |
| Figura 15. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014..... | 18 |
| Figura 16. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 06/07/2012..... | 18 |
| Figura 17. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 12/07/2012..... | 19 |
| Figura 18. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012..... | 19 |
| Figura 19. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 08/09/2016..... | 20 |
| Figura 20. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 14/09/2016..... | 20 |
| Figura 21. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 20/09/2016..... | 21 |
| Figura 22. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016..... | 21 |
| Figura 23. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 05/07/2014..... | 22 |
| Figura 24. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 11/07/2014..... | 22 |
| Figura 25. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 17/07/2014..... | 23 |
| Figura 26. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014..... | 23 |
| Figura 27. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 01/07/2012..... | 24 |
| Figura 28. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 06/07/2012..... | 24 |
| Figura 29. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 12/07/2012..... | 25 |
| Figura 30. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012..... | 25 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Comparativa de los principales modelos de cálculo y sus principales características. | 0 |
| Tabla 2. Características principales del modelo MOHID Water. | 7 |
| Tabla 3. Campañas de muestreo en las que se ha identificado un exceso del indicador clorofila durante los años 2012-2018..... | 12 |
| Tabla 4. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water..... | 12 |
| Tabla 5. Parámetros de entrada al modelo de dispersión de contaminantes..... | 14 |
| Tabla 6. Descripción de las simulaciones del modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water..... | 14 |
| Tabla 7. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water..... | 26 |

1. OBJETO

El presente anejo tiene por objeto realizar la descripción del modelado de dispersión de contaminantes que se realiza en relación al Trabajo Fin de Máster que lleva por título “*Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera CO17 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión*”.

Una vez definido el modelo empleado, se describen las simulaciones que se han llevado a cabo y se presentan los resultados obtenidos.

Para ello los trabajos realizados han sido los siguientes:

- En primer lugar, se describen los principios físicos del transporte de contaminantes en el medio marino.
- Seguidamente, se establecen los requisitos que el modelo seleccionado debe cumplir para la realización del estudio y se realiza una comparativa de los principales modelos de cálculo existentes.
- Una vez escogido el modelo, se describe la herramienta a utilizar: se especifican sus principales características y se describe el funcionamiento del modelo.
- Finalmente, se establecen las simulaciones que se han realizado para la realización del trabajo y se presentan los resultados obtenidos por el modelo de cálculo.

2. PRINCIPIOS FÍSICOS DEL TRANSPORTE DE CONTAMINANTES EN EL MEDIO MARINO

Como se ha expresado en el apartado 3 del *Anejo nº3*, los principales principios físicos en los que se basa el transporte de contaminantes en el medio marino son los siguientes:

- **Transporte convectivo:** componente vertical del transporte de partículas debido a la propia velocidad del medio receptor. El transporte convectivo de contaminantes está asociado a las diferencias de densidad del medio receptor.
- **Transporte advectivo:** componente horizontal del transporte de partículas debido a la velocidad del propio medio receptor, asociado al sistema de corrientes, al viento y al oleaje.
- **Difusión:** desplazamiento de contaminantes por diferencia de concentraciones entre el punto de vertido y el resto de puntos del medio receptor. Se trata de un proceso natural por el cual los contaminantes se transportan en el medio hacia puntos de menor concentración del medio.
- **Dispersión turbulenta:** fluctuación local de la velocidad que traslada los contaminantes en la dirección transversal a los flujos de velocidades del medio receptor.

Los modelos numéricos para el cálculo de transporte de contaminantes se basan en el análisis del comportamiento del desplazamiento de los vertidos en el medio receptor y cuantifican la evolución de la concentración de contaminantes en el medio. Para ello, se deben resolver las ecuaciones que representan el movimiento y transporte de los contaminante en el medio receptor a través de modelos que indican las concentraciones de dichos contaminantes en cada punto y la velocidad con la que este contaminante se transporta. (López Jiménez, 2016)

2.1. MODELOS DE APROXIMACIÓN NUMÉRICA

Según la aproximación numérica para el tratamiento de la dispersión de los contaminantes, los modelos se dividen en dos grandes grupos:

- **Modelos Eulerianos:**

Los modelos de aproximación euleriana se utilizan para la resolución de las ecuaciones de convección-difusión. El transporte de partículas de contaminante se calcula en puntos del dominio o malla de cálculo, obteniendo en cada caso la concentración de contaminantes. Como solución se obtiene, por cada intervalo de tiempo de computación, el mapa de concentraciones de contaminante en el medio analizado.

El enfoque euleriano de transporte de contaminantes representa con mayor precisión los procesos predominantemente difusivos y de transporte convectivo, donde predomina la componente vertical del transporte. Es por ello que los modelos eulerianos se utilizan en mayor medida en simulaciones de zonas a pequeña escala, próximas al punto de vertido. (Comerma, 2004)

- **Modelos Lagrangianos:**

En el enfoque lagrangiano de transporte de contaminantes en el medio marino, el contaminante se representa como un conjunto de partículas cuyo comportamiento es independiente entre ellas. Cada partícula se desplaza de manera autónoma por el efecto de las corrientes marinas y el flujo turbulento que se da en medio. El modelo calcula la trayectoria asociada a cada partícula en el tiempo. Cada partícula tiene asociada una cantidad de masa de contaminante, de forma que la concentración del producto se realiza por el cálculo de volumen ocupado por las partículas en un determinado punto de la malla de computación.

El método lagrangiano permite modelar con precisión los procesos de transporte advectivo horizontal de las partículas como movimiento predominante, junto con los procesos difusivos y turbulentos que se dan en el medio marino. Estos modelos se basan en las ecuaciones de advección-difusión, las cuales han sido utilizadas extensivamente en el modelado de trayectoria de partículas. (Comerma, 2004)

3. ELECCIÓN DEL MODELO DE CÁLCULO

3.1. CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS POR EL MODELO DE CÁLCULO

En primer lugar, se establecen las características necesarias para la realización del estudio que deberá cumplir el modelo de cálculo seleccionado.

1. Modelo hidrodinámico tridimensional

En base los principios físicos que rigen el comportamiento del transporte de contaminantes en el medio marino, será necesaria la utilización de un modelo tridimensional para el cálculo hidrodinámico con el objetivo de representar de manera precisa el movimiento de las partículas de contaminantes en el medio.

2. Modelo mixto euleriano-lagrangiano de transporte de contaminantes

Con el objetivo de representar la dispersión de contaminantes de forma precisa a cualquier escala, se requiere que el modelo de cálculo cuente con ambas aproximaciones numéricas de las descritas anteriormente. Por tanto, se requerirá que el modelo numérico de dispersión de contaminantes cuente con un enfoque mixto euleriano-lagrangiano.

3.2. COMPARATIVA DE MODELOS

Se ha elaborado una tabla comparativa con los principales modelos de cálculo existentes para la simulación de la dispersión de contaminantes en el medio marino (*Tabla 1. Comparativa de los principales modelos de cálculo y sus principales características*). Como se observa en la *Tabla 1*, únicamente dos de los modelos analizados cumplen con las características requeridas especificadas en el apartado anterior: MOHID Water y CH3D-IMS.

Para la realización de este trabajo se ha seleccionado la herramienta de cálculo MOHID Water por tratarse de un modelo de código abierto y, por tanto, ser accesible sin la necesidad de adquisición de licencia de uso. Además, en comparación con el modelo CH3D-IMS, MOHID Water cuenta con numerosos canales de información sobre el funcionamiento del modelo (manuales de usuario, tutoriales de acceso libre y foros gratuitos).

Además, se ha identificado la posibilidad de utilizar el software MOHID Studio, el cual permite trabajar sobre modelo de cálculo MOHID con una interfaz gráfica sencilla y amigable, facilitando los procesos de entrada de datos y visualización de resultados.

| MODELO | DESCRIPCIÓN | MODELO HIDRODINÁMICO | MODELO DE TRANSPORTES DE CONTAMINANTES | DISTRIBUCIÓN |
|----------------------|--|---|--|--|
| MOHID WATER | El modelo MOHID es un modelo hidrodinámico tridimensional desarrollado por el Instituto Superior Técnico Maretec de la Universidad de Lisboa. Realiza la modelación del transporte de contaminantes a cualquier escala. | Modelo tridimensional por volúmenes finitos | Modelo mixto euleriano-lagrangiano. | CÓDIGO ABIERTO <i>MOHID Studio</i> (modelo MOHID Water con interfaz gráfica distribuido bajo licencia por ActionModulers). |
| CORMIX | CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System) es un modelo hidrodinámico utilizado para la simulación de la dispersión de contaminantes a pequeña escala (zona de mezcla). CORMIX ha sido desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency – EEUU). | Modelo tridimensional por volúmenes finitos | Modelo euleriano. | Distribución bajo licencia por la empresa MixZone. |
| CH3D-IMS | CH3D (Cuvilinear Hydrodynamic model in 3-dimensions) ha sido desarrollado por la Universidad de Florida. Permite el cálculo hidrodinámico e integra modelos de transporte de sedimentos y dispersión de contaminantes. | Modelo tridimensional por volúmenes finitos | Modelo mixto euleriano-lagrangiano. | Distribución bajo licencia por la Universidad de Florida. |
| ROMS | Regional Ocean Modeling System (ROMS) es un modelo hidrodinámico tridimensional desarrollado por expertos de la Universidad de Rutgers y de la Universidad de Los Ángeles (EEUU). Se emplea en simulaciones a gran escala. | Modelo tridimensional por volúmenes finitos | Modelo lagrangiano. | CÓDIGO ABIERTO |
| VISUAL PLUMES | VISUAL PLUMES ha sido desarrollado por la EPA (Environmental Protection Agency – EEUU). Se trata de un modelo de calidad de agua que simula la dispersión de contaminantes en la zona de mezcla (escala reducida). | No es un modelo hidrodinámico. | Modelo euleriano. | CÓDIGO ABIERTO |

*Tabla 1. Comparativa de los principales modelos de cálculo y sus principales características.
[Fuente: elaboración propia]*

4. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA

El modelo MOHID Water es una herramienta de cálculo tridimensional hidrodinámico para la modelación del medio marino. MOHID Water tiene una composición modular mediante la cual se establecen las distintas condiciones de contorno de entrada de datos al programa. Como se ha expresado anteriormente, el modelo de dispersión de contaminantes empleado por MOHID Water es un modelo mixto euleriano-lagrangiano.

El modelo numérico MOHID Water ha sido desarrollado en el Instituto Superior Técnico - Maretec de la Universidad de Lisboa (Portugal). Se trata de una herramienta de cálculo de código abierto.

Cabe destacar que para este estudio se ha utilizado el código MOHID Water sobre la interfaz gráfica proporcionada por la herramienta *MOHID Studio*, la cual mantiene todas las funcionalidades del modelo MOHID mejorando y facilitando la entrada de datos y condiciones de contorno y también la visualización de resultados.

Las principales áreas que cubre MOHID Water son las siguientes:

| | |
|----------------------------------|---|
| Cálculo Hidrodinámico | <ul style="list-style-type: none">▪ Patrones de circulación y campos de velocidad que transporta el modelo de las propiedades del agua (sedimentos, fitoplancton, nitrato, arsénico, amoníaco ...);▪ Determina el transporte turbulento de momento, masa y calor.▪ Difracción y refracción de ondas y su influencia en el transporte de sedimentos. |
| Calidad del agua | Producción primaria y secundaria y ciclo de nutrientes (nitrógeno y fósforo). |
| Trayectoria de partículas | Simula la dispersión y trayectoria de las partículas a través de trazadores lagrangianos. |
| Vertido de hidrocarburos | Predicción y simulación de la trayectoria y los procesos de meteorización implicados en el derrame de hidrocarburos, asumiendo que el hidrocarburo se puede idealizar como una gran cantidad de partículas que se mueven independientemente en el agua. |
| Transporte de sedimentos | Movimiento vertical y horizontal de sedimentos y procesos físicos del fondo del fondo marino. |

Tabla 2. Características principales del modelo MOHID Water.

[Fuente: Action Modulers]

Como se ha expresado anteriormente, MOHID Water es una herramienta modular, la cual está subdividida en 40 módulos. Cada módulo contiene determinada información e interactúa con los demás a través de flujos de información.

Los módulos más representativos son los siguientes:

1. **MODELO** (*Model Module*): es el módulo principal en la arquitectura del sistema. Define la computación del modelo introduciendo datos tales como las fechas de inicio y final de la simulación o el intervalo de cálculo.
2. **GEOMETRÍA** (*Geometry Module*): almacena y actualiza la información de las celdas de volúmenes finitos. Permite la definición de la malla vertical con coordenadas cartesianas o tipo Sigma.

- HIDRODINÁMICA (*Hydrodynamic Module*): incluye la modelación hidrodinámica de cuerpos de agua a superficie libre con flujo tridimensional baroclínico. Se calculan los niveles del mar, las velocidades y el sistema de corrientes de la zona.

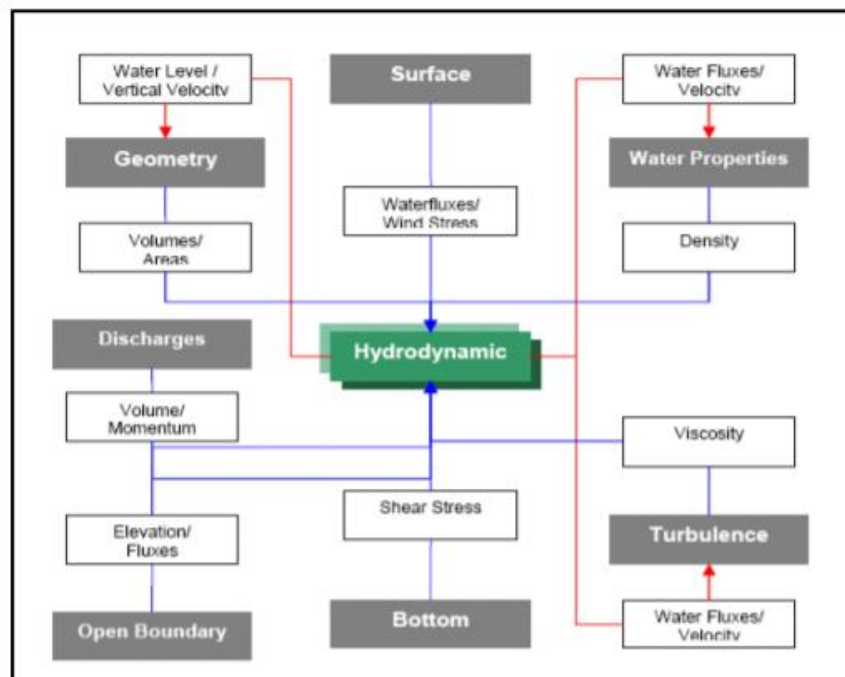


Figura 1. Interacción del módulo Hidrodinámico con otros módulos.
[Fuentes: Mohid User Manual]

- MAREAS (*Tide Module*): definición de los armónicos de marea que afectan a la zona de estudio. Este archivo es generado Mohid mediante la herramienta "Generate Tidal File" en base al modelo global de mareas FES 2004 (Finite Element Solution – Global Tidal Model).
- OLEAJE (*Wave Module*): se define el oleaje propagado de la zona de estudio. Para ello, ha sido necesaria realizar la propagación del oleaje con el modelo SWAN (ver Anjeo 2. Clima marítimo y propagación del oleaje).
- TURBULENCIA (*Turbulence Module*): calcula los coeficientes de viscosidad horizontal y vertical y las difusividades para diferentes métodos de cierre de turbulencia. Una interfase de este módulo calcula los coeficientes utilizando un cierre de turbulencia de una o dos ecuaciones con la subrutina tomada del modelo general de turbulencia oceánica GOTM.
- GOTM (Global Ocean Turbulence Model) (*GOTM Module*): definición del modelo que genera la turbulencia. Este módulo incluye rutinas que consisten en un conjunto de modelos de turbulencia que incluyen un modelo k-ε y un modelo de cierre turbulento de segundo orden Mellor-Yamada.
- ATMÓSFERA (*Atmosphere Module*): Introduce datos meteorológicos de la zona de estudio: viento, temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar.
- INTERFASE AGUA-AIRE (*Interface Water-Air Module – Surface Module*): define las variables atmosféricas que interactúan en el cálculo hidrodinámico del modelo.
- MOVIMIENTO LIBRE VERTICAL (*Free vertical Movement Module*): se utiliza para determinar el movimiento vertical del flujo. También se emplea para el cálculo de la velocidad de caída al simular sedimentos cohesivos, o la velocidad de distintas partículas en las simulaciones de transporte.

11. INTERFASE SEDIMENTO-AGUA (*InterfaceSediment-Water Module*): calcula las condiciones de contorno en la parte inferior de la columna de agua.
12. LAGRANGIANO (*Lagrangian Module*): utiliza un modelo numérico de aproximación lagrangiano para el cálculo del transporte de partículas que determina la evolución de las propiedades del agua.

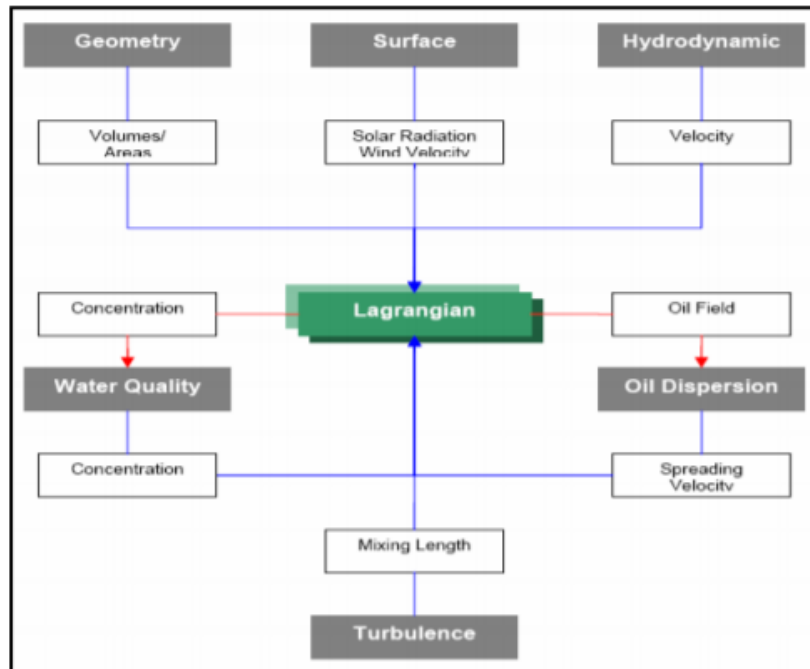


Figura 2. Interacción del módulo Lagrangiano con otros módulos.
[Fuentes: Mohid User Manual]

13. PROPIEDADES DEL AGUA (*WaterProperties Module*): coordina la evolución de las propiedades del agua utilizando un modelo numérico de aproximación euleriana para el transporte. Para llevar a cabo esta tarea, se apoya o usa otros módulos como el Lagrangiano, encargado de calcular el transporte de partículas por modelos de advección-difusión.

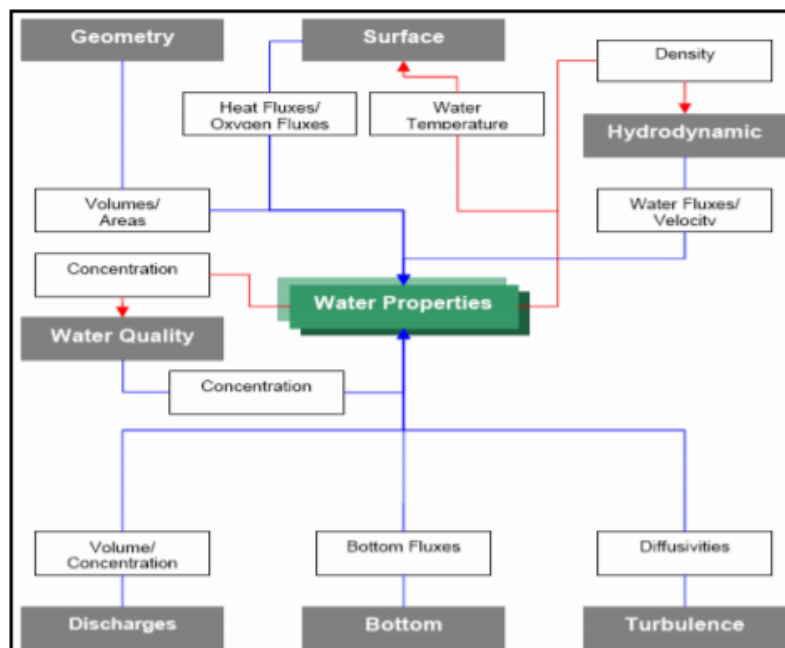


Figura 3. Interacción del módulo de Propiedades del Agua con otros módulos.
[Fuentes: Mohid Manual]

14. DESCARGAS (*Discharges Module*): contiene la información sobre descargas de agua de ríos o de origen antropogénico.
15. CALIDAD DE AGUA (*WaterQuality Module*): simula la producción primaria y secundaria, y el ciclo de los nutrientes de ecosistemas. Es utilizado por los módulos de transporte euleriano y lagrangiano.

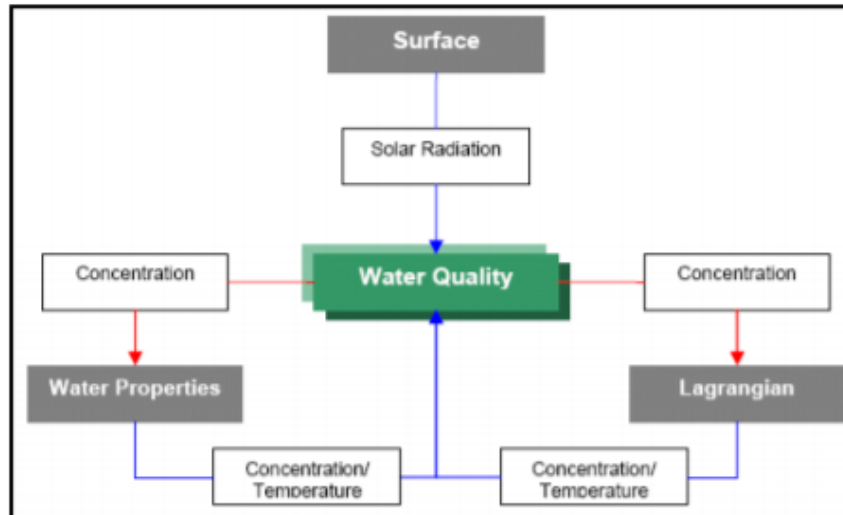


Figura 4. Interacción del módulo Calidad de Agua con otros módulos.
[Fuentes: Mohid UserManual]

16. BENTOS (*Benthos Module*): información correspondiente a procesos bentónicos que ocurren en el fondo marino del sistema, tales como la mortalidad de las algas, la mineralización de materia orgánica o el agotamiento de oxígeno.

El siguiente esquema muestra de manera gráfica la relación entre los distintos módulos del modelo MOHID WATER y su relación con el medio:

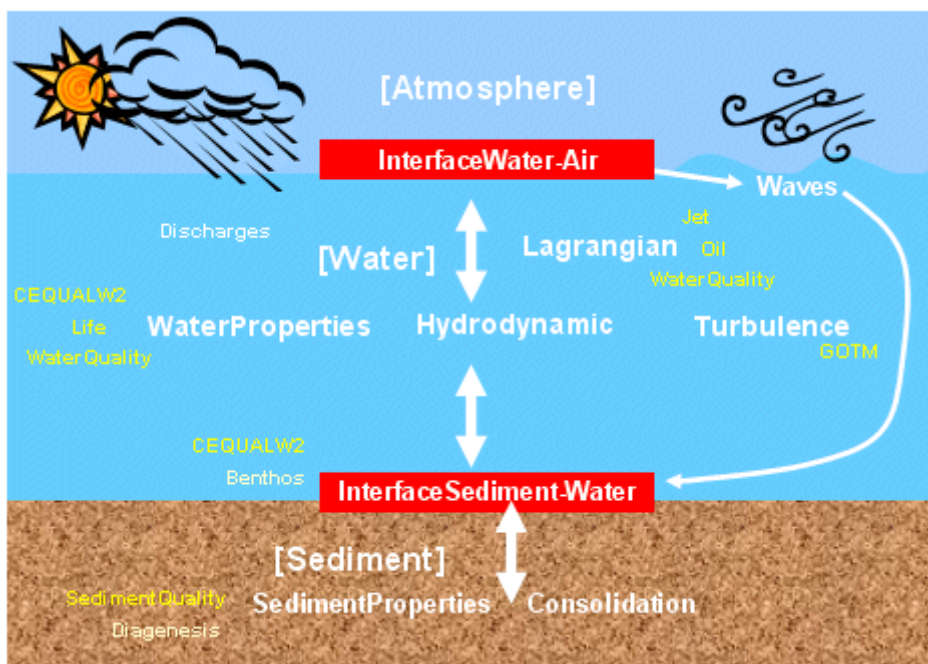


Figura 5. Esquema de funcionamiento de MOHID Water y sus principales módulos.
[Fuente: Action Modulers]

5. DESCRIPCIÓN DE LAS SIMULACIONES

La definición de los periodos de cálculo para los que se modelará la dispersión de contaminantes en la zona de estudio se ha basado en los resultados de las campañas de muestreo realizadas por IIAMA-UPV. La descripción completa de las campañas realizadas se incluye en el *Anejo nº3, Apartado 2.3*.

Los resultados obtenidos de estas campañas indican que, aunque las tres masas de agua estudiadas han superado el límite establecido para la concentración de clorofila, es la masa de agua C017 la que ha mantenido durante el último periodo (2010-2018) concentraciones de clorofila cercanas y superiores al criterio límite para su buen estado ecológico.

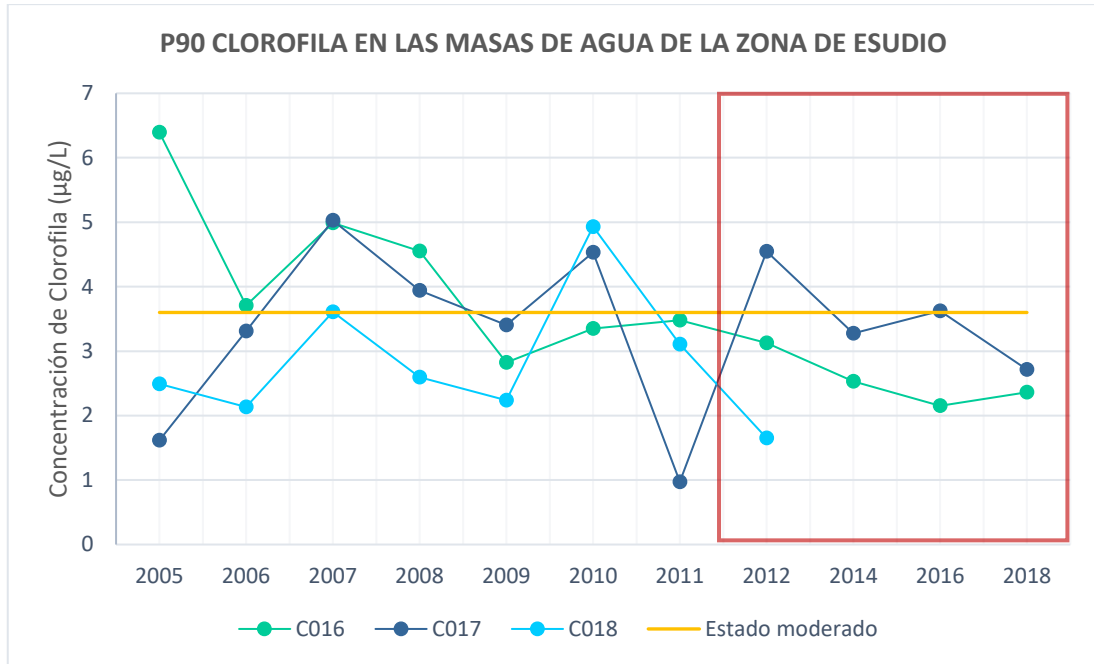


Figura 6. Concentración de clorofila (percentil 90) en las masas de agua objeto de estudio.
[Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

Analizando los resultados de cada una de las estaciones de muestreo de la masa de agua C017, se aprecia cómo es la estación DP115 la que ofrece resultados por encima del límite establecido en el indicador estudiado durante el último periodo de estudio (2012-2018).

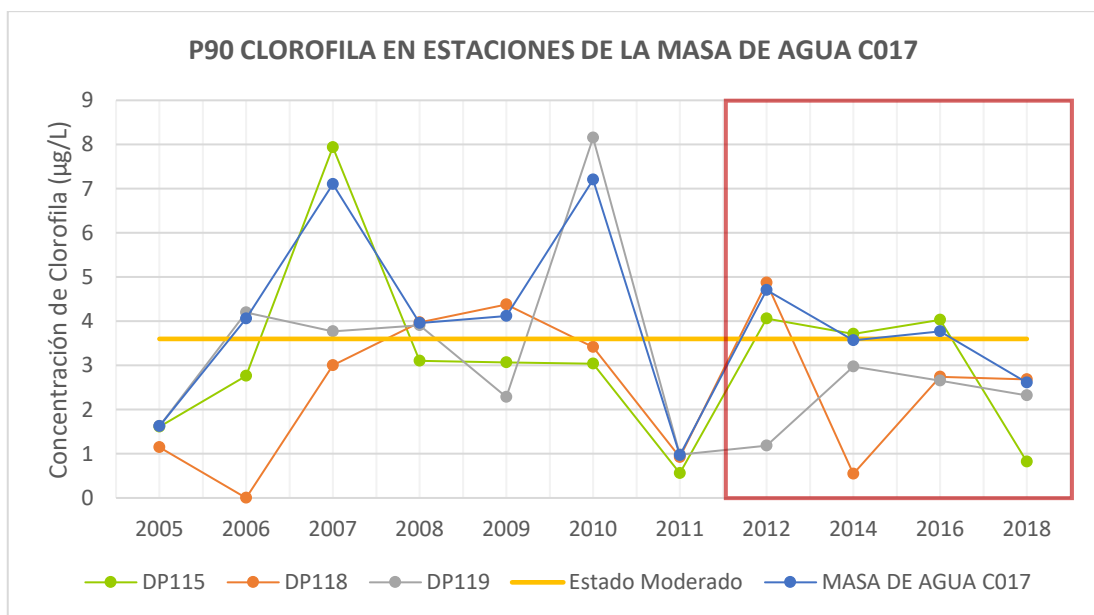


Figura 7. Concentración de clorofila (percentil 90) en las estaciones de muestreo de la masa de agua C017.
[Fuente: IIAMA-2018; Elaboración propia]

La siguiente tabla muestra los valores de concentración de clorofila registrados en cada una de las campañas de muestreo realizadas. Aunque la estación DP118 registró valores elevados de clorofila en la primera campaña del año 2012, en las campañas posteriores ha registrado valores muy por debajo del límite establecido en 3.6 µg/L. Es, por tanto, la estación DP115 la que en más ocasiones ha registrado valores elevados de concentración de clorofila en el último periodo.

| AÑO | Nº DE CAMPAÑAS | FECHA DE CAMPAÑA | EXCEDENCIA CLORFILA EN LAS ESTACIONES DE LA MASA DE AGUA C017 (µg/L) | | |
|------|----------------|------------------|--|-------|-------|
| | | | DP115 | DP118 | DP119 |
| 2012 | 2 | 22/02/2012 | 0.74 | 4.87 | 1.23 |
| | | 18/07/2012 | 4.06 | - | 0.80 |
| 2014 | 4 | 26/04/2014 | 3.23 | 0.61 | 1.73 |
| | | 27/05/2014 | 2.92 | 0.36 | 3.28 |
| | | 23/07/2017 | 3.92 | 0.29 | 2.26 |
| | | 28/11/2014 | 3.00 | 0.39 | 0.96 |
| 2016 | 2 | 26/09/2016 | 4.13 | 2.30 | 2.78 |
| | | 15/12/2016 | 3.12 | 1.21 | 1.53 |
| 2018 | 2 | 10/10/2018 | 0.82 | 0.99 | 0.86 |
| | | 14/11/2018 | Restos vegetales | 2.87 | 2.48 |

Tabla 3. Campañas de muestreo en las que se ha identificado un exceso del indicador clorofila durante los años 2012-2018 (Naranja: exceso de clorofila; Verde: existencia de restos vegetales que invalidan la muestra).
[Fuente: propia]

Con el objetivo de estudiar las fuentes potenciales de contaminación que puedan causar la proliferación de comunidades fitoplanctónicas en la zona de estudio, se propone la realización de tres simulaciones en los días anteriores a la recogida de muestras para las tres campañas en las que sea registrado un exceso de clorofila en la estación DP115.

Por limitación computacional de los equipos físicos empleados para este estudio, ha sido necesaria la realización de dos simulaciones por periodo estudiado:

- **Simulaciones de 15 días:** se utiliza la malla general del modelo y se modelan todas las fuentes potenciales identificadas en el Anejo nº2.
- **Simulaciones de 22 días:** se utiliza una malla reducida del modelo y únicamente se modelan las fuentes que, según las simulaciones de 15 días, tienen más posibilidades causar un exceso de contaminación en la estación DP115.

Cabe destacar que, con el fin de establecer un criterio común a todas las simulaciones, se establece como “momento de recogida de muestras” las 12:00h del día en el que se ha realizado la campaña de muestreo.

Con todo lo anterior, se definen las siguientes simulaciones:

| SIMULACIÓN | | | | FECHA INICIO | FECHA FIN |
|------------|--------------|---------|---------|--------------|------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | 11-09-2016 | 26-09-2016 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | 04-09-2016 | 26-09-2016 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | 08-07-2014 | 23-07-2014 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | 01-07-2014 | 23-07-2014 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | 02-07-2012 | 17-07-2012 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | 26-06-2012 | 17-07-2012 |

Tabla 4. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water.
[Elaboración propia]

6. DEFINICIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CÁLCULO Y ARCHIVOS DE ENTRADA

Los archivos de entrada que necesita al modelo de dispersión de contaminantes se definen a continuación:

▪ Definición de la malla de cálculo.

- **Malla general:** La malla de cálculo del modelo general ha sido una malla regular de 350 x 400 celdas, con dimensiones de 100 x 100 metros para cada celda. La extensión total de la malla es de 1400 km².
- **Malla reducida:** A causa de las limitaciones computacionales de los equipos físicos utilizados, ha sido necesario reducir la malla de cálculo para alargar el periodo de simulación. Por ello, se ha definido una malla de cálculo reducida de similares características a la malla del modelo general, pero de dimensiones menores. Se trata de una malla regular de 255 x 280 celdas, con dimensiones de 100 x 100 metros para cada celda. La extensión total de la malla es de 714 km².

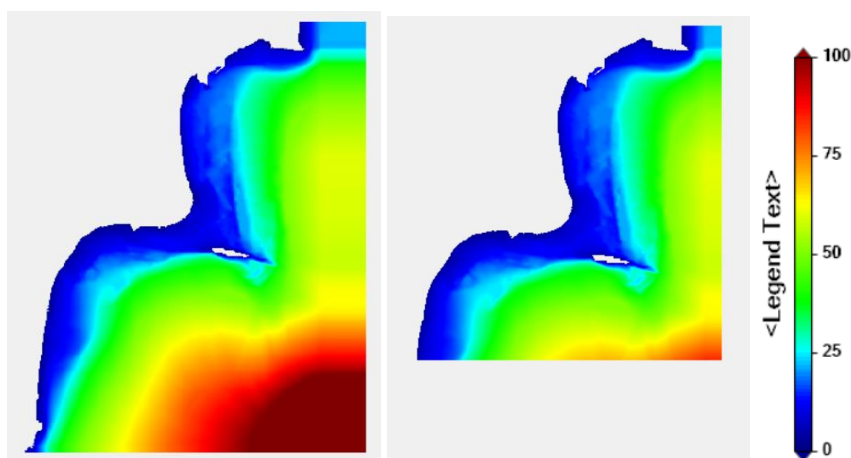


Figura 8. Malla general y malla reducida del modelo de dispersión de contaminantes.
[Fuente: elaboración propia]

- **Sistema de coordenadas vertical:** 5 capas de coordenadas sigma de mismo porcentaje de espesor de columna de agua (20% de espesor por capa). Los dominios sigma se adaptan a la batimetría y cambian con la columna de agua. Los espesores se definen en porcentaje de columna de agua (MOHID User Manual).

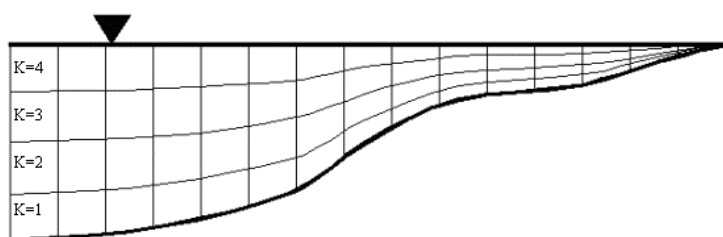


Figura 9. Concepto de coordenadas Sigma.
[Fuente: Mohid Wiki]

- **Archivos de oleaje:** resultados obtenidos por el modelo SWAN de propagación de oleaje.
- **Armónicos de marea:** Los armónicos de marea propios de la zona de modelado obtenidos del modelo global FES2004 Global Tide Model (Finite Element Solution), descrito en el apartado 5 del *Anjeo n°3*.

▪ **Parámetros de entrada:**

| PARÁMETRO DE ENTRADA | VALOR |
|--|--|
| Rugosidad agua-aire (m^2s^{-1}) | 0.0025 |
| Rugosidad Agua-sedimento (m^2s^{-1}) | 0.0025 |
| Viscosidad vertical (m^2/s) | Modelo de turbulencia GOTM (Global Ocean Turbulence Model) |
| Viscosidad horizontal (m^2/s) | 1 ¹ |

*Tabla 5. Parámetros de entrada al modelo de dispersión de contaminantes.
[Elaboración propia]*

Los resultados obtenidos tratan de archivos HDF donde se recoge la información de la trayectoria de las partículas contaminantes.

En base a las hipótesis establecidas, se ha modelado, en primer lugar, la emisión de contaminantes durante 15 días desde las cinco localizaciones establecidas en el *Anejo nº1*. Se ha definido una emisión de 1 partícula por minuto y se ha calculado la trayectoria de todas estas partículas mediante ejes lagrangianos.

Por limitaciones computacionales y con el objetivo de realizar una simulación más extendida en el tiempo que aporte mayor información a este estudio, se han identificado las fuentes que con mayor probabilidad afectarán a la zona de estudio en base a las simulaciones de 15 días. Una vez identificadas estas fuentes, se ha reducido la malla de cálculo y se ha repetido el modelado de dispersión de contaminantes, esta vez en periodos de 22 días y modelando dos fuentes de vertido en lugar de cinco.

Cabe destacar que la herramienta MOHID Water realiza el modelado de corrientes y el modelado de dispersión de contaminantes en la misma simulación, por lo que los resultados se obtienen en paralelo. La siguiente tabla realiza una síntesis de las simulaciones realizadas, incluyendo los archivos de entrada necesarios para el modelado y los resultados obtenidos.

| SIMULACIÓN | | | | MALLA | PUNTOS DE VERTIDO | DATOS DE ENTRADA | | RESULTADOS | |
|------------|--------------|---------|---------|--------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|-------------------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | Malla General 350 x 400 | 5 | Archivo HDF SWAN 1 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 1 | Archivo HDF CONTAMIN. 1 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | 2 (4 y 5) | Archivo HDF SWAN 2 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 2 | Archivo HDF CONTAMIN. 2 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | Malla General 350 x 400 | 5 | Archivo HDF SWAN 3 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 3 | Archivo HDF CONTAMIN. 3 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | 2 (4 y 5) | Archivo HDF SWAN 4 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 4 | Archivo HDF CONTAMIN. 4 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | Malla General 350 x 400 | 5 | Archivo HDF SWAN 5 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 5 | Archivo HDF CONTAMIN. 5 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | Malla reducida 255 x 280 | 2 (4 y 5) | Archivo HDF SWAN 6 | Armónicos de marea | Archivo HDF CORRIENTES 6 | Archivo HDF CONTAMIN. 6 |

*Tabla 6. Descripción de las simulaciones del modelo de dispersión de contaminantes Mohid Water.
[Elaboración propia]*

¹ Valor en función del tamaño de celda (10% de la velocidad media multiplicado por el tamaño de celda). (Action Modulers)

7. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

A continuación, se muestra una selección de los resultados obtenidos del modelo de dispersión de contaminantes MOHID Water.

En primer lugar, se muestran las tres simulaciones de 15 días de duración, donde se modelan las cinco hipótesis establecidas en el documento principal de este estudio. Cada hipótesis hace referencia a uno de los cinco puntos de vertido identificados en el *Anejo n°1*. Por tanto, se modelan 3 simulaciones de 15 días con 5 puntos de emisión de partículas de contaminación con un intervalo de emisión de e 1 partícula por minuto.

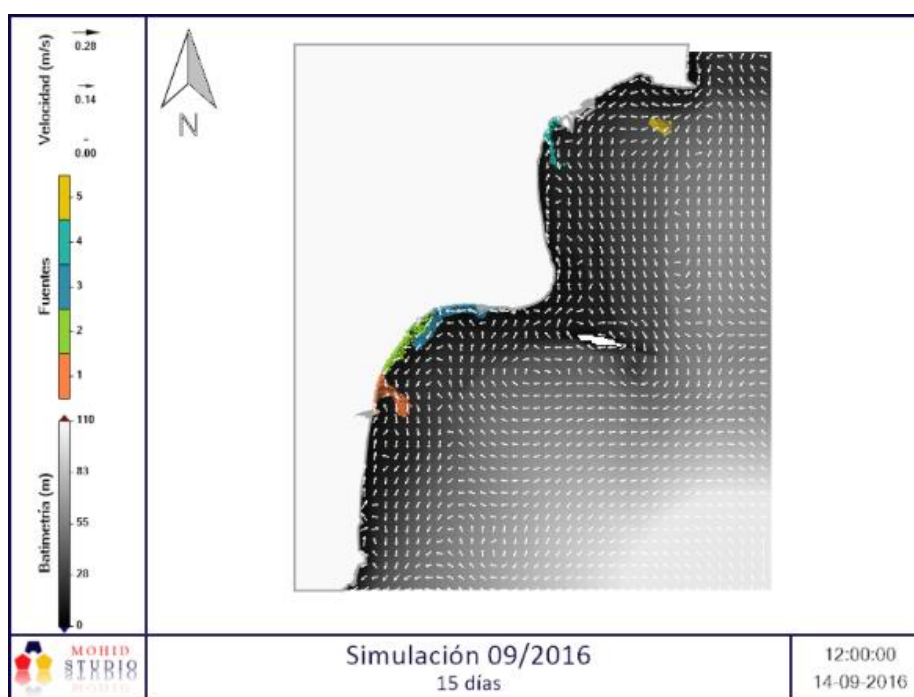
Una vez realizadas estas simulaciones, se identifican las fuentes que con mayor probabilidad emiten partículas las cuales pueden alcanzar al lugar de recogida de muestras en el que se han registrado niveles altos de contaminación (estación DP115 ubicada al sur del Cabo de Santa Pola).

Como se observa en las Simulaciones 1, 3 y 5, en base al sistema de corrientes y a la trayectoria de las partículas durante los 15 días de simulación, las fuentes que con mayor probabilidad emitirán partículas de contaminación que alcanzarán la estación DP115 se ubican en los puntos de vertido 4 y 5.

Con ello, se realizan tres simulaciones adicionales con una malla de cálculo reducida y modelando únicamente las dos fuentes identificadas. Estas simulaciones tienen una duración de 22 días. Como se observa en las Simulaciones 2, 4 y 6, las partículas de contaminación emitidas desde el punto de vertido 4 alcanzan la ubicación de la estación de muestreo DP115 en el periodo de 22 días. La emisión de partículas contaminantes desde el punto de vertido 5 no alcanza la estación en el periodo simulado, aunque en base a las corrientes modeladas, se puede estimar que en un periodo de simulación mayor (en torno a los 30 días), las partículas emitidas desde este punto también alcanzarían la estación DP115.

Cabe destacar que el conjunto de resultados gráficos del modelo de dispersión de contaminantes para las 6 simulaciones realizadas se adjunta en el *Apéndice 1* de este anejo. Los resultados gráficos incluyen también el modelado del sistema de corrientes.

SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días



*Figura 10. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 14/09/2016.
[Elaboración propia]*

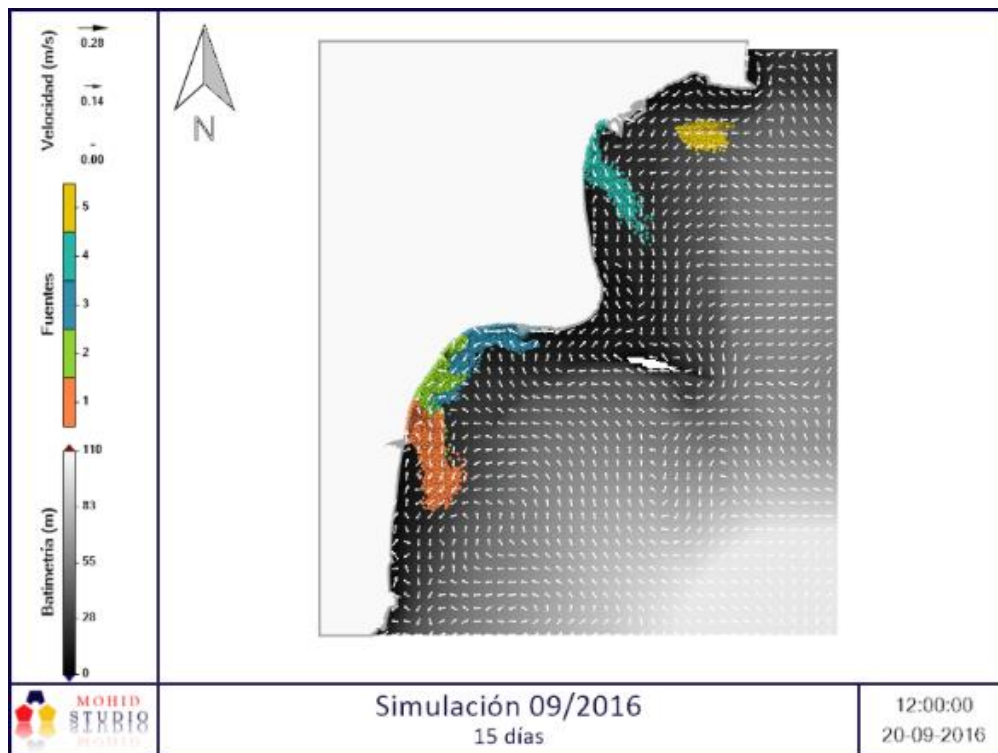


Figura 11. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 20/09/2016.
[Elaboración propia]

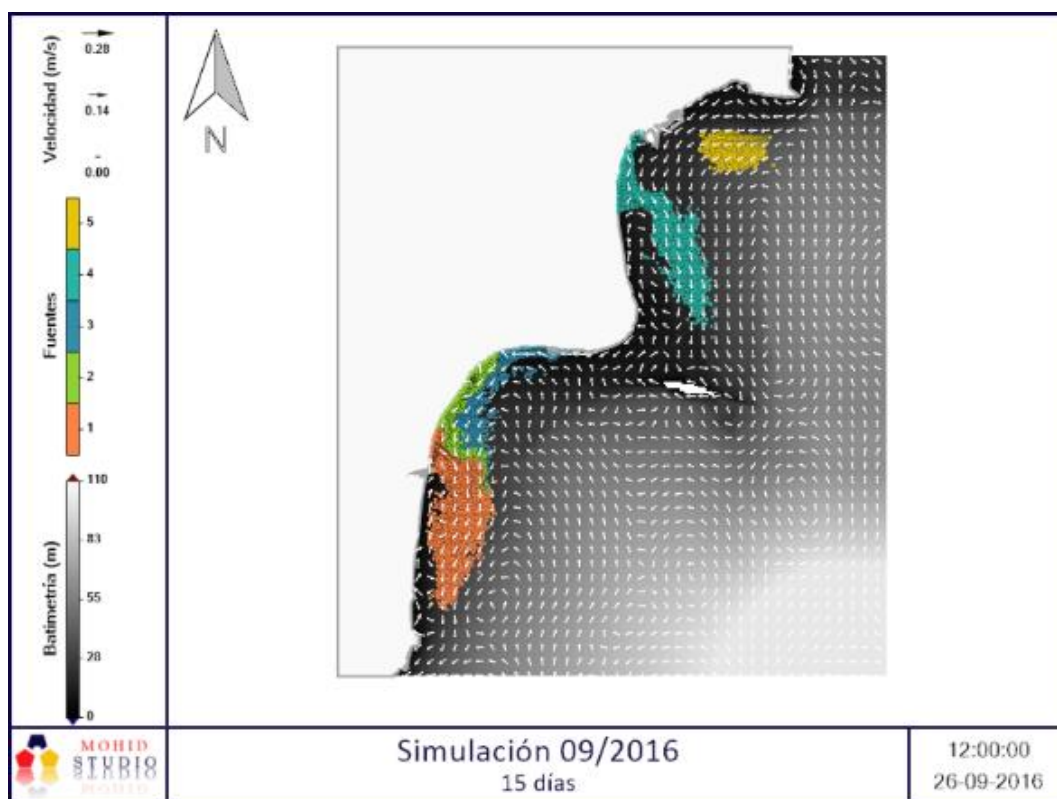


Figura 12. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días

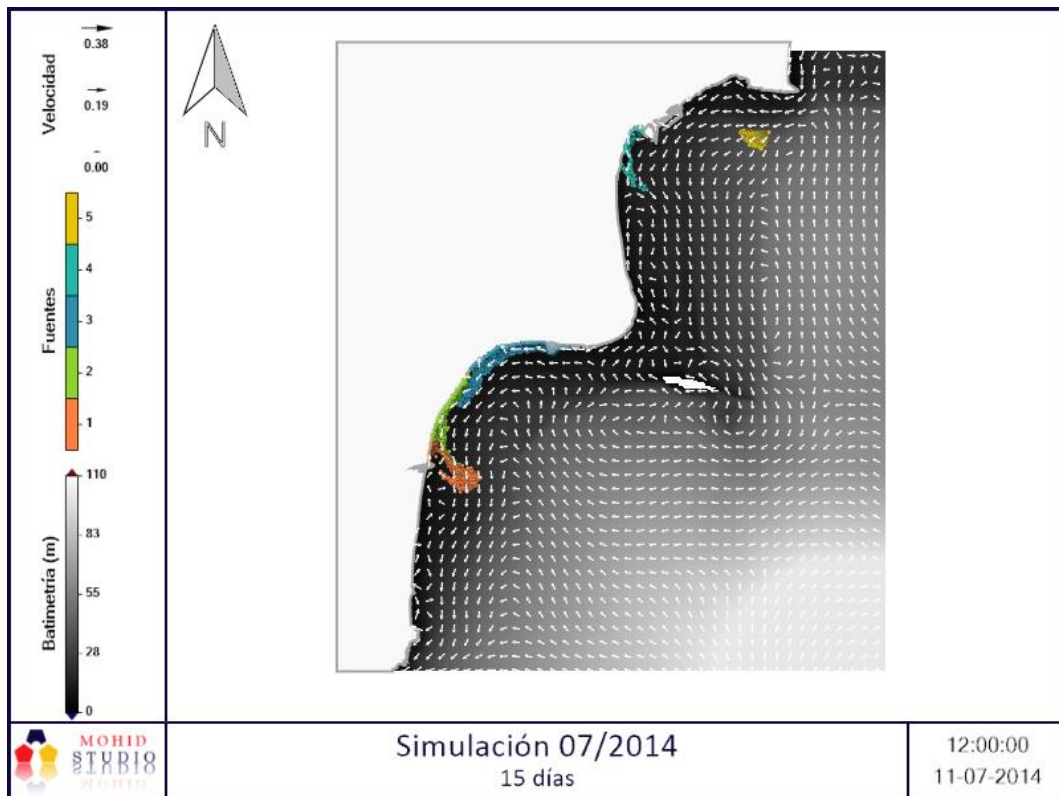


Figura 13. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 11/07/2014.
[Elaboración propia]

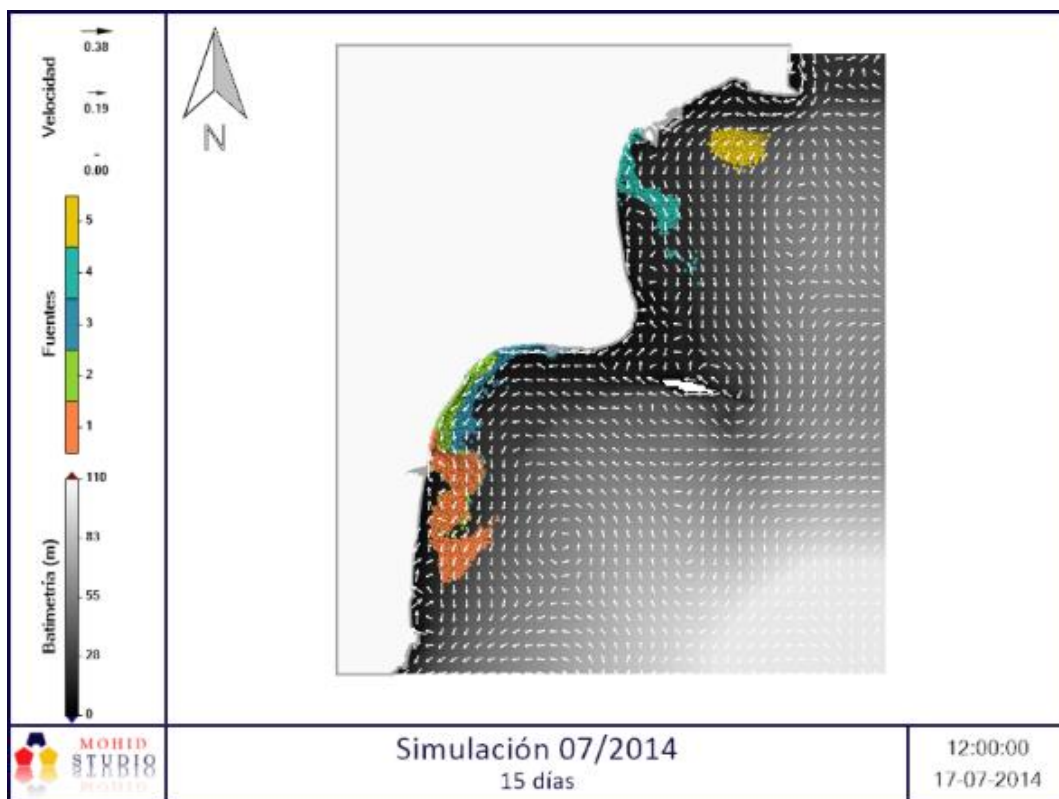


Figura 14. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 17/07/2014.
[Elaboración propia]

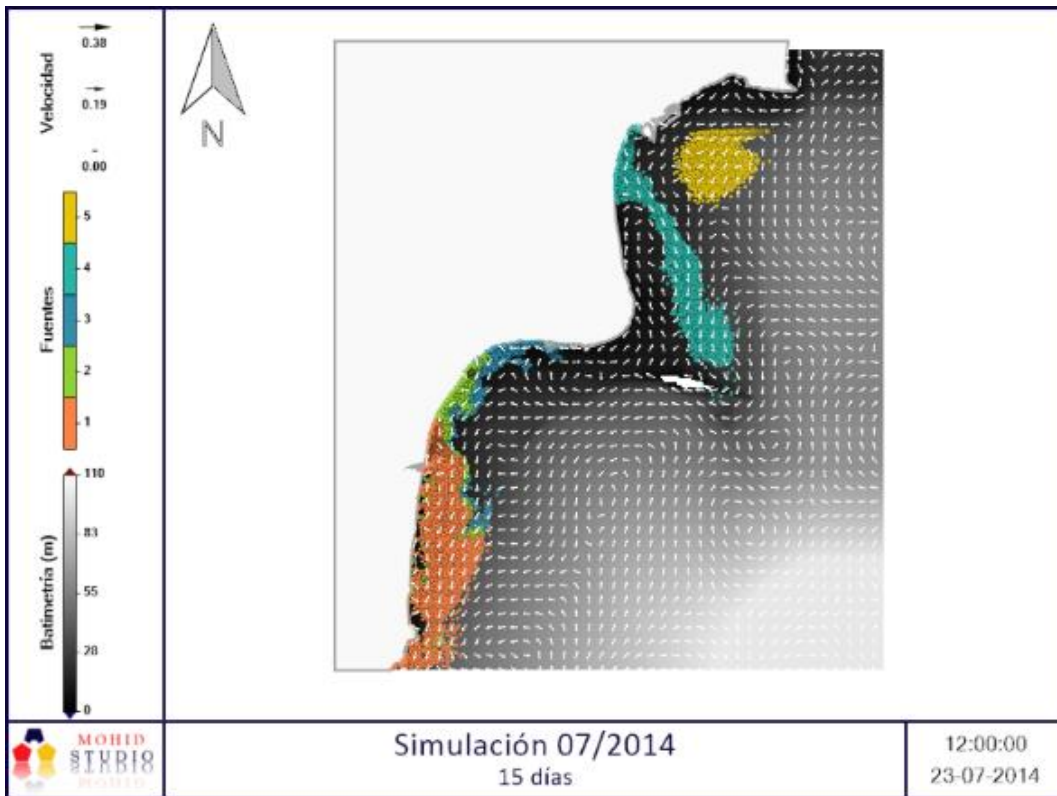


Figura 15. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días

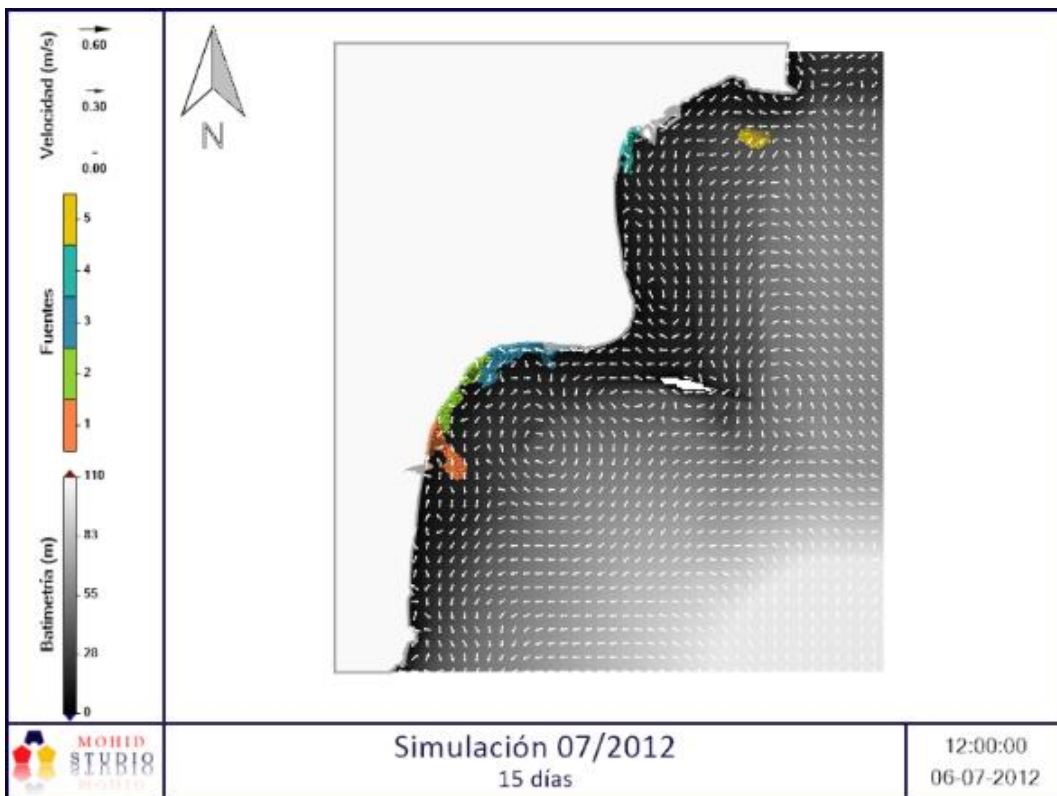


Figura 16. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 06/07/2012.
[Elaboración propia]

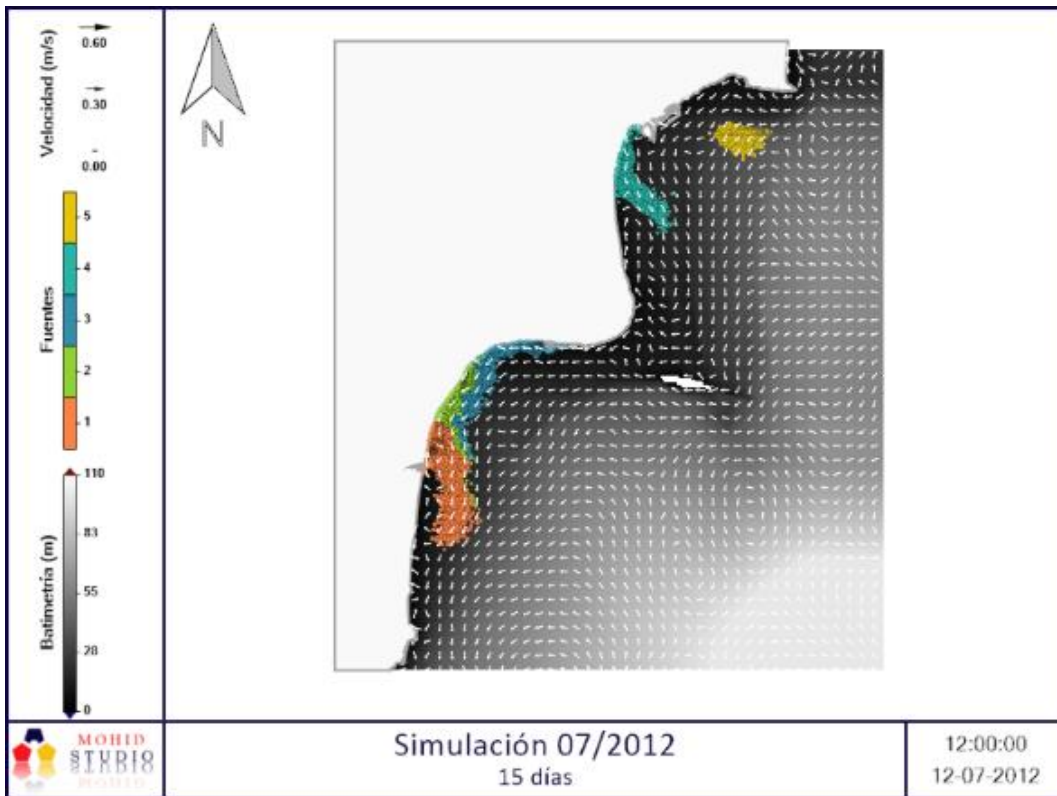


Figura 17. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 12/07/2012.
[Elaboración propia]

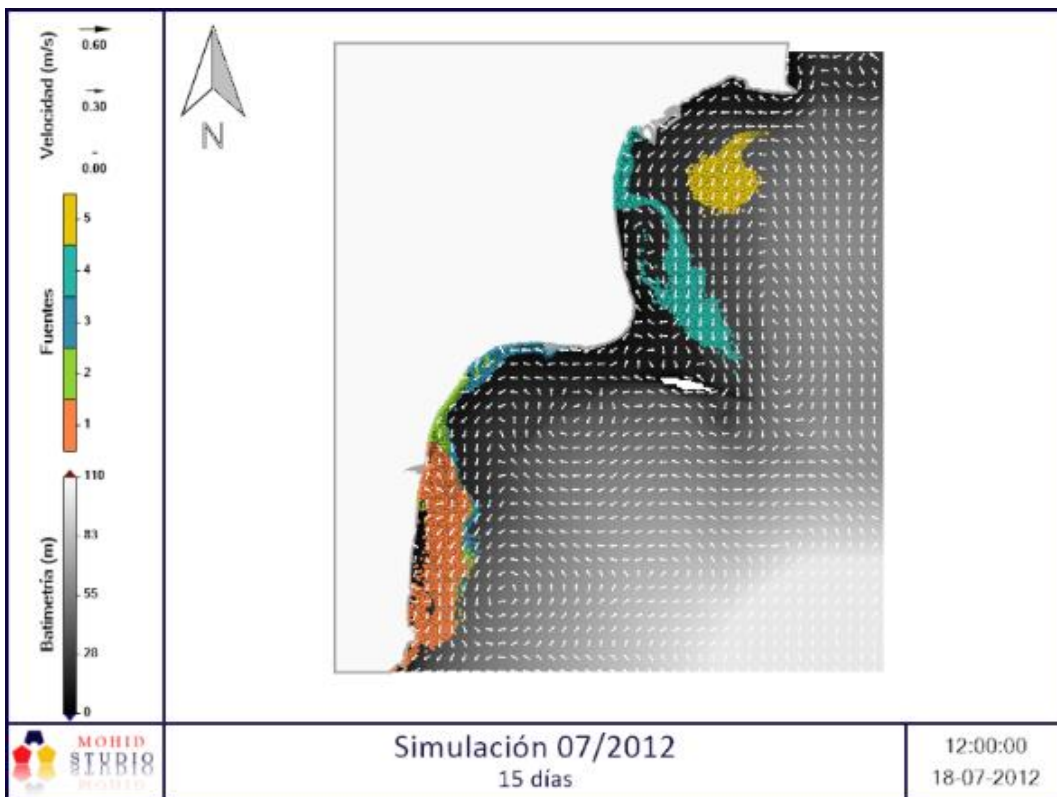


Figura 18. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días

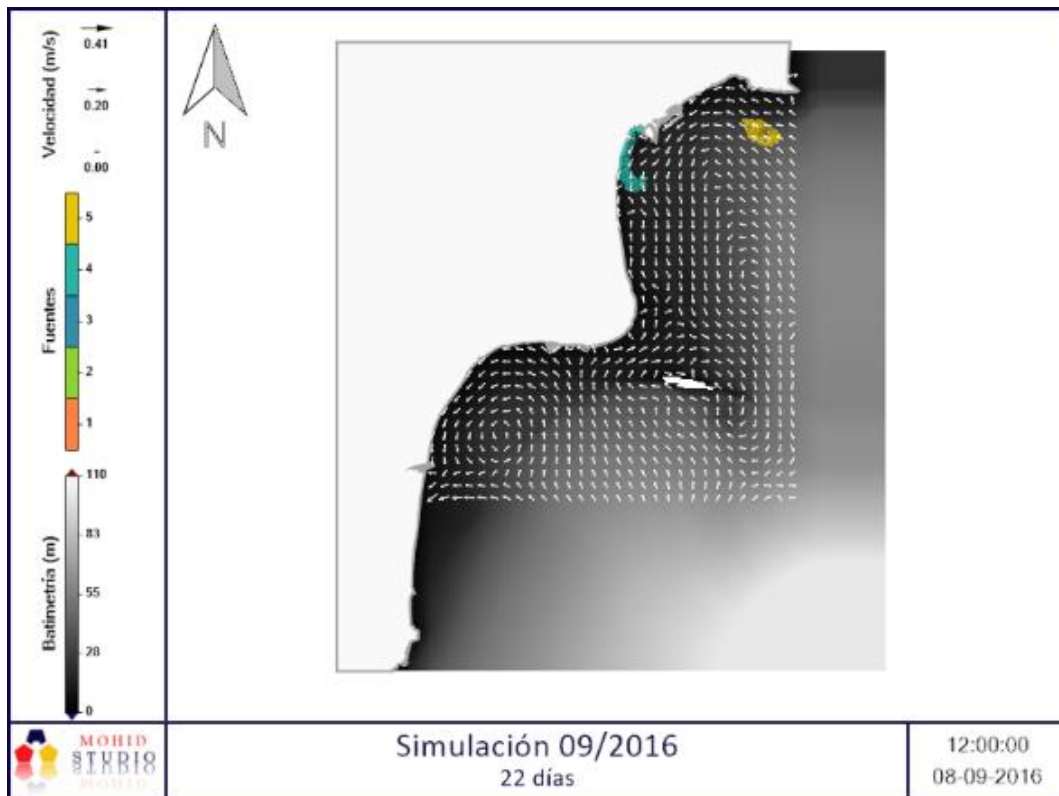


Figura 19. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 08/09/2016.
[Elaboración propia]

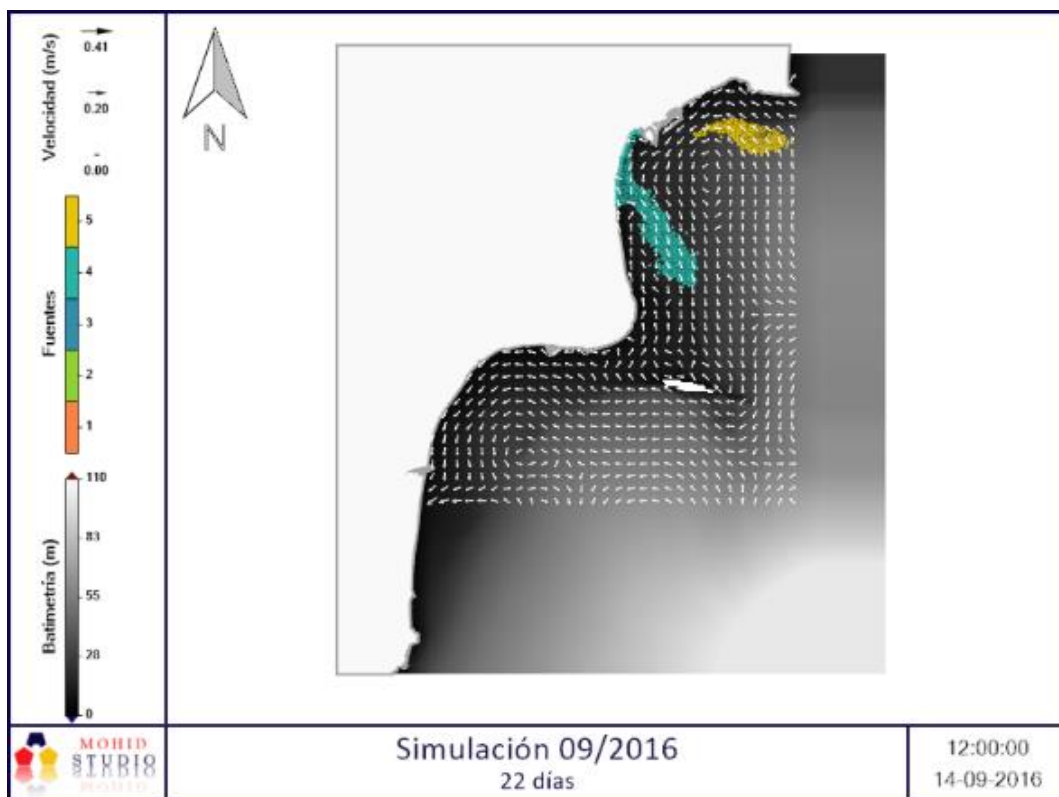


Figura 20. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 14/09/2016.
[Elaboración propia]

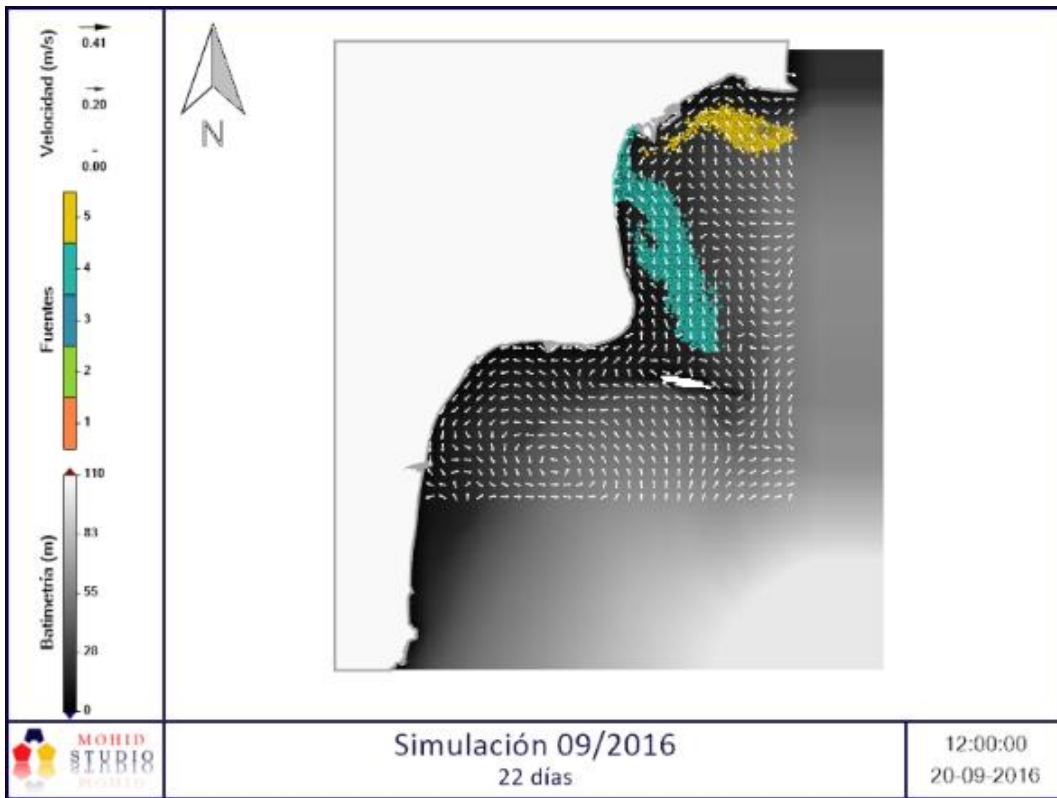


Figura 21. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 20/09/2016.
[Elaboración propia]

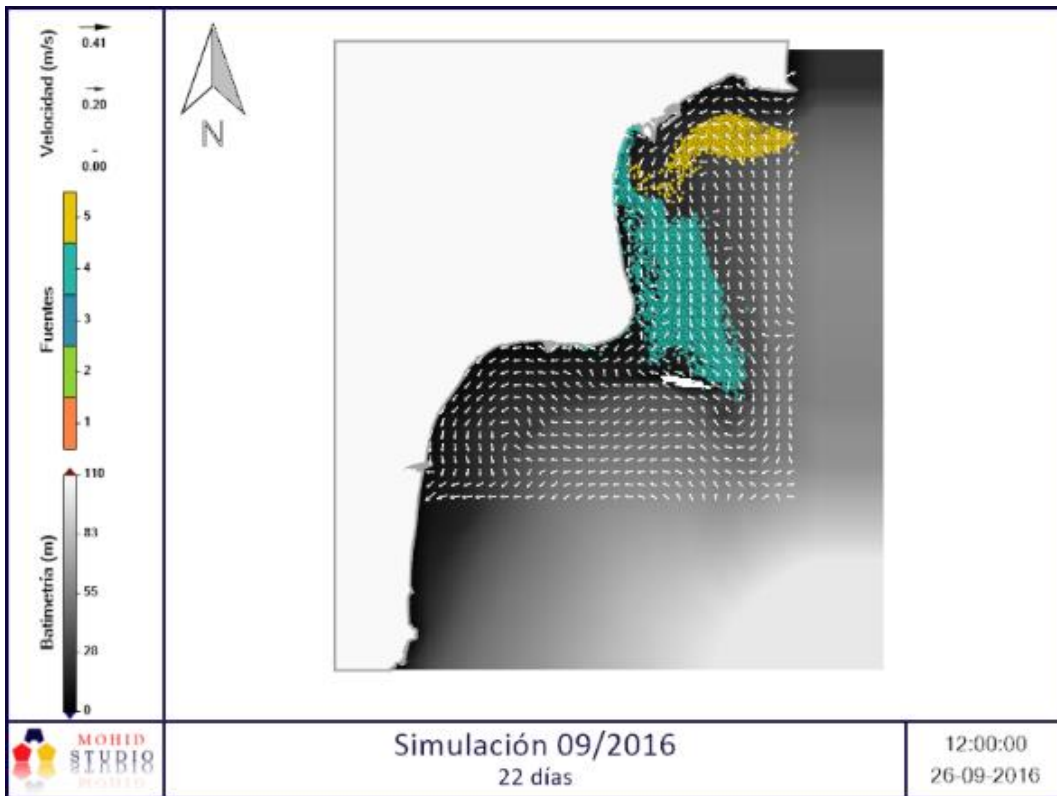


Figura 22. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 26/09/2016.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días

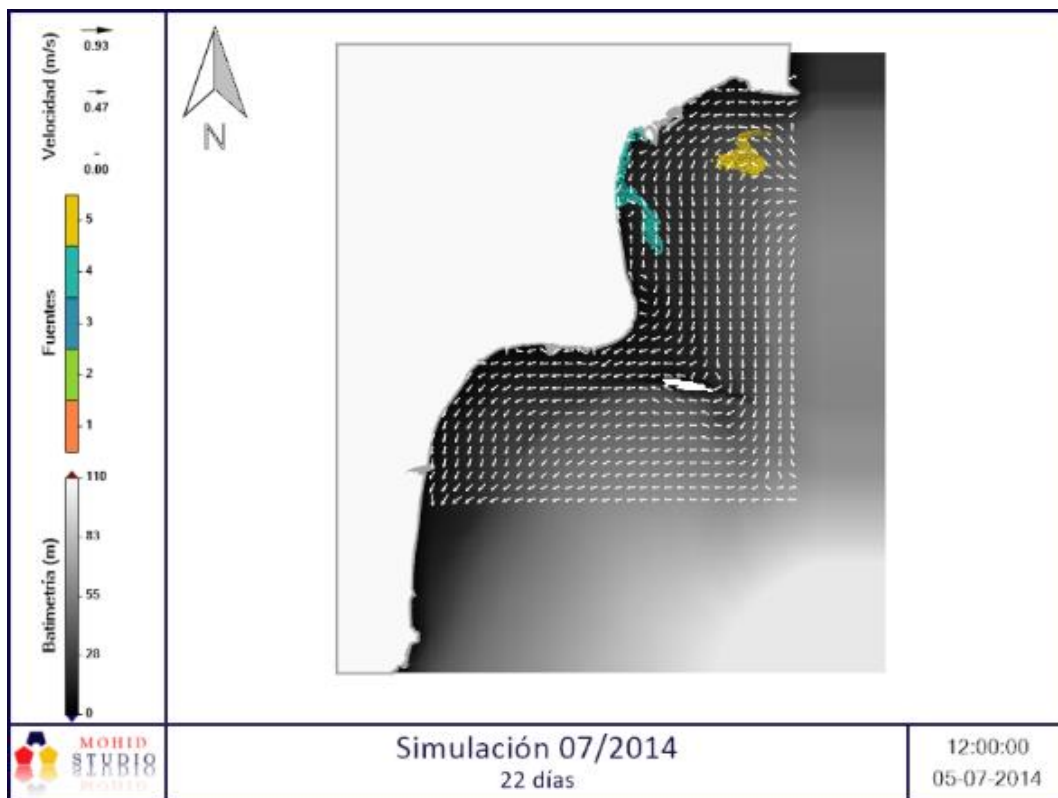


Figura 23. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 05/07/2014.
[Elaboración propia]

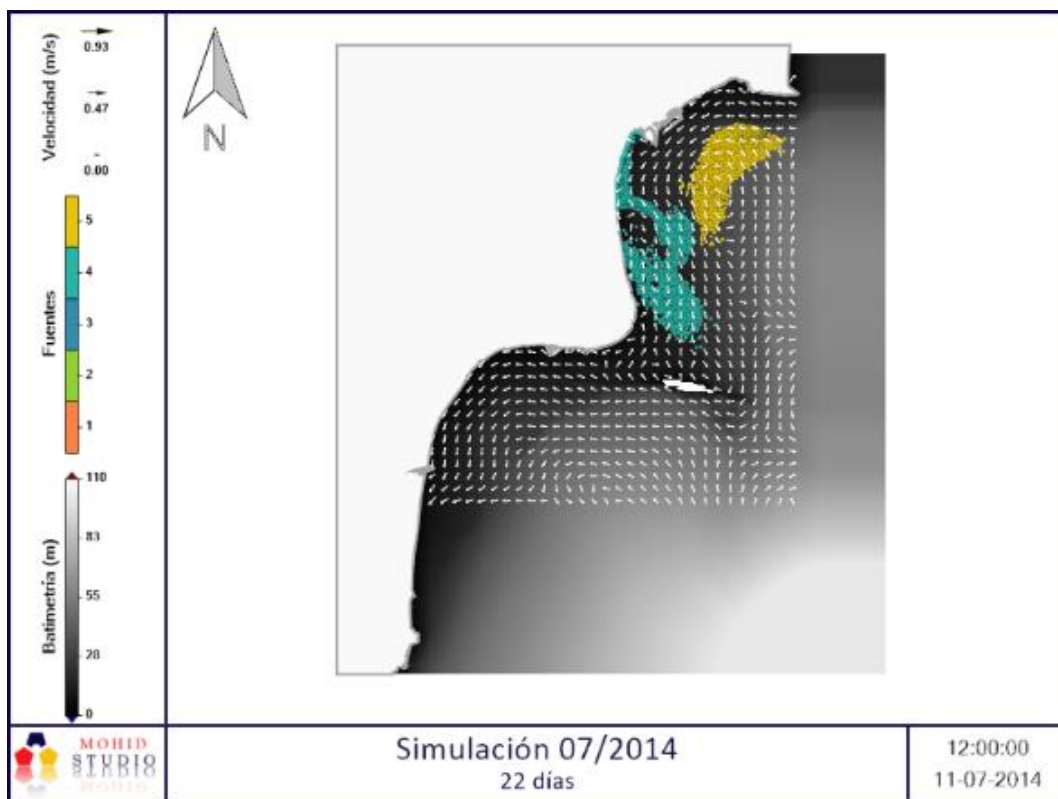


Figura 24. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 11/07/2014.
[Elaboración propia]

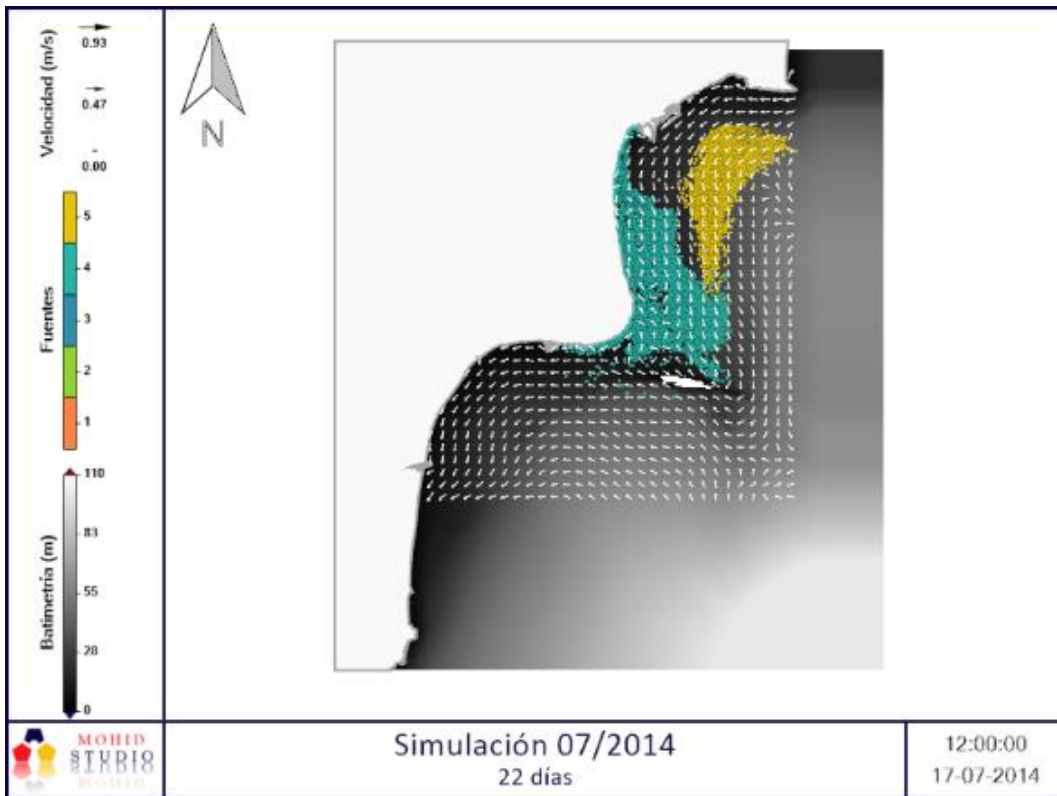


Figura 25. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 17/07/2014.
[Elaboración propia]

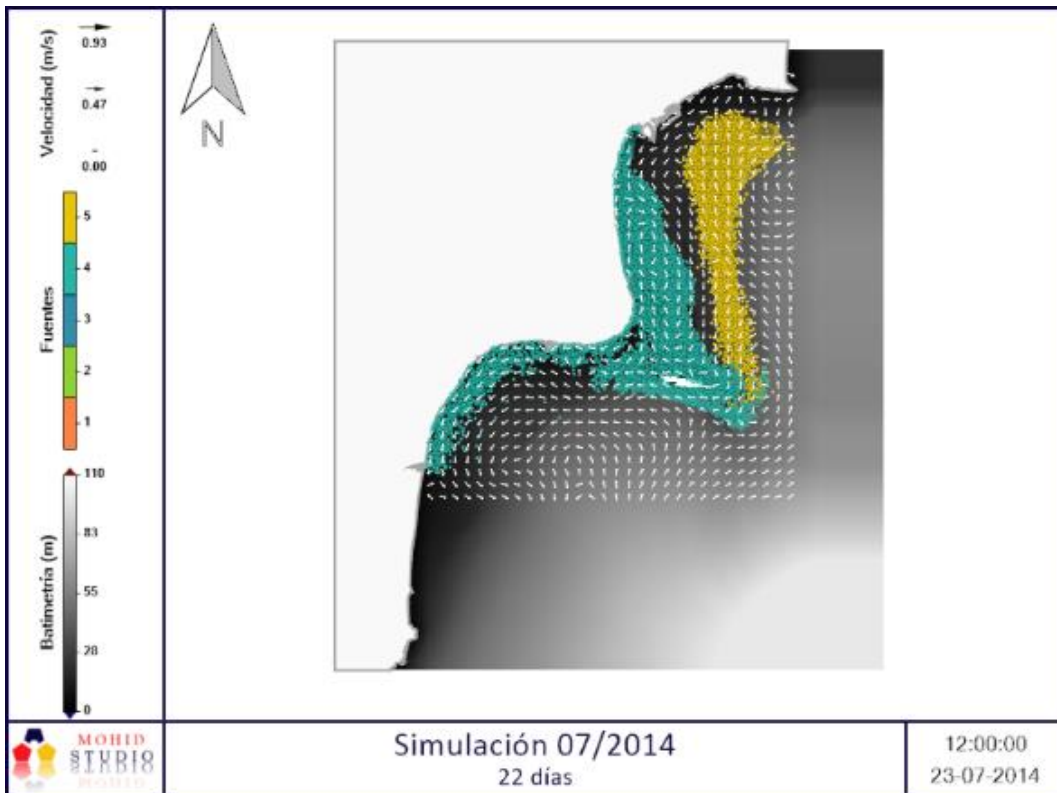


Figura 26. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 23/07/2014.
[Elaboración propia]

SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días

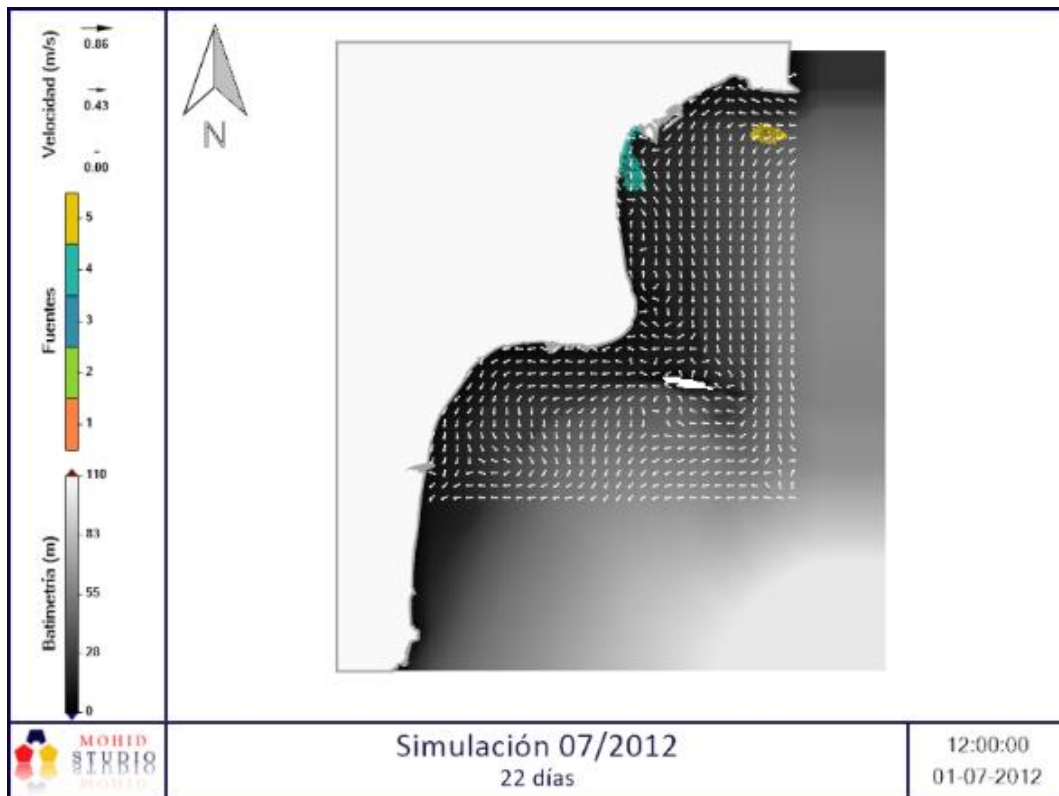


Figura 27. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 01/07/2012.
[Elaboración propia]

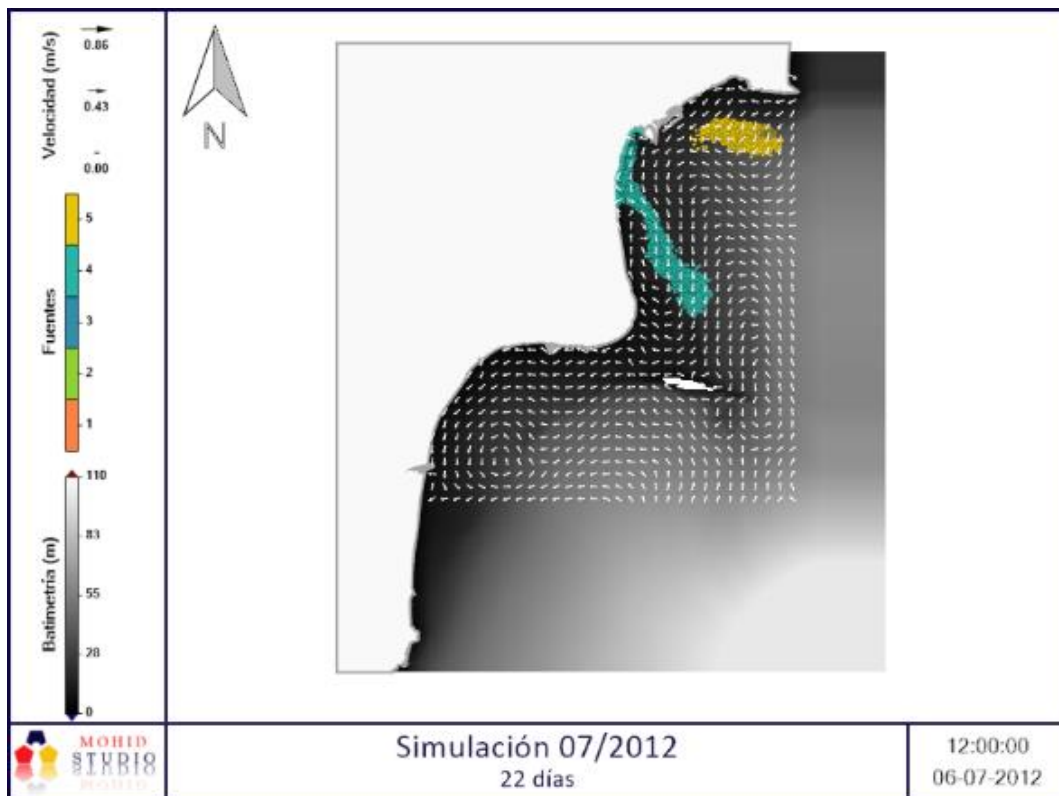


Figura 28. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 06/07/2012.
[Elaboración propia]

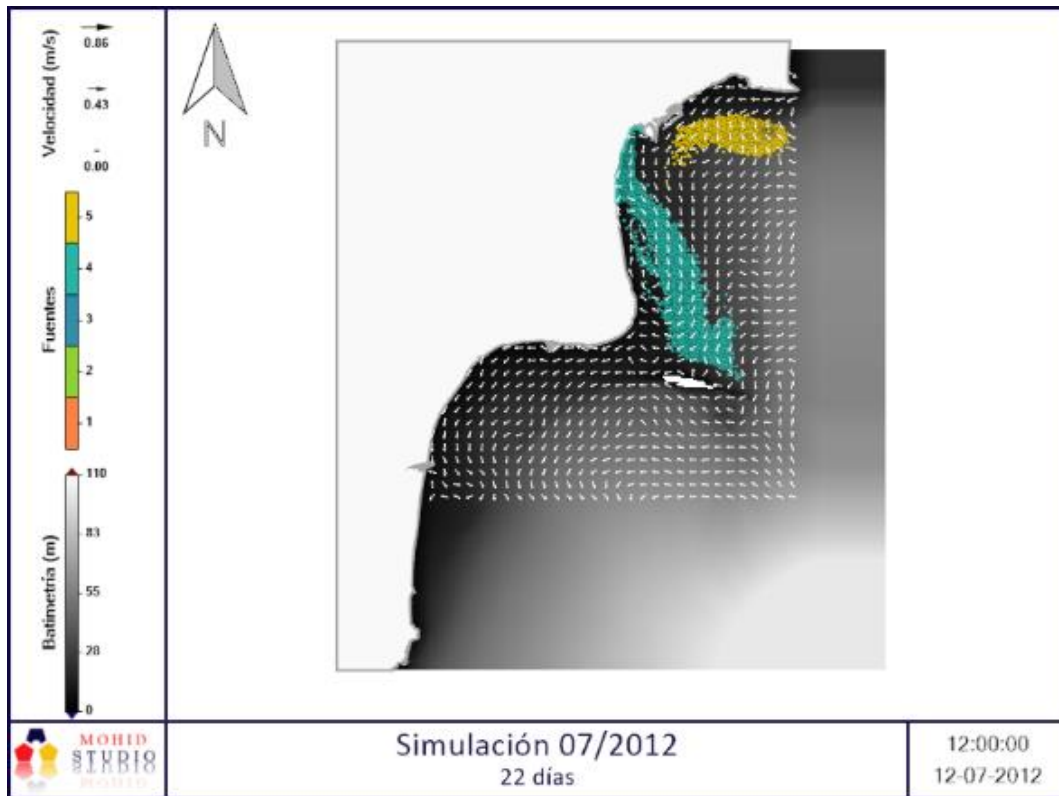


Figura 29. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 12/07/2012.
[Elaboración propia]

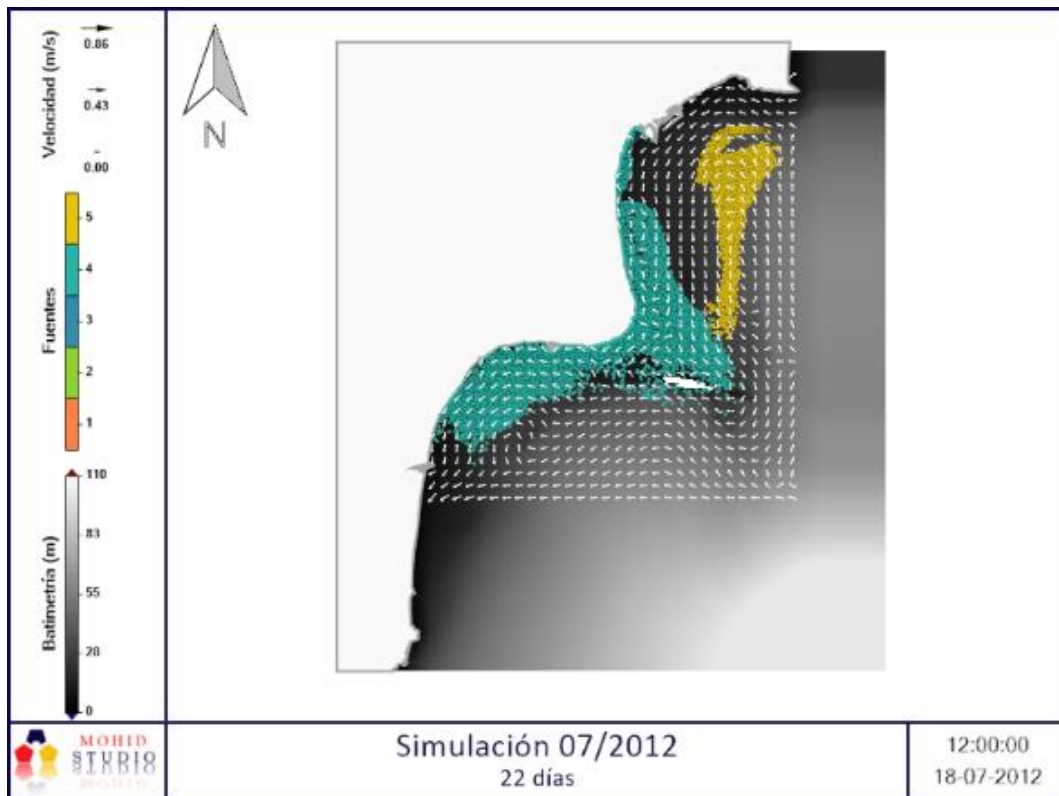


Figura 30. Modelo de dispersión de contaminantes en el instante 12:00h 18/07/2012.
[Elaboración propia]

8. CONCLUSIÓN

El presente anejo ha tratado la descripción del modelo de dispersión de contaminantes que se ha realizado para el análisis de las potenciales fuentes de vertido que pueden afectar a la problemática estudiada en relación a la proliferación de comunidades fitoplanctónicas en la masa de agua costera C017.

En primer lugar, se realizó una comparativa de los modelos existentes con el fin de realizar la elección de la herramienta más adecuada para este estudio. Se ha seleccionado la herramienta de cálculo MOHID Water por cumplir con las dos características principales requeridas: modelo hidrodinámico tridimensional, y modelo mixto euleriano-lagrangiano de transporte de contaminantes. Además, la herramienta MOHID Water trata de un modelo de código abierto accesible sin necesidad de adquisición de licencia de uso.

Una vez descrita la herramienta y sus principales funcionalidades, se han definido las simulaciones a realizar: se establecen tres periodos de simulación en los días anteriores a la recogida de muestras para los tres días en los que sea registrado un exceso de clorofila en la estación DP115 en el periodo 2012-2018.

Por limitaciones computacionales, se han realizado dos simulaciones por periodo (un total de 6 simulaciones): 3 simulaciones de 15 días, en las cuales se utiliza la malla general del modelo y se modelan las cinco fuentes potenciales identificadas; y 3 simulaciones de 22 días en las que se utiliza una malla reducida del modelo y únicamente se modelan las fuentes que, en base a las simulaciones de 15 días, tienen más posibilidades causar un exceso de contaminación en la estación DP115.

| | SIMULACIÓN | | | FECHA INICIO | FECHA FIN |
|-----------|--------------|---------|---------|--------------|------------|
| PERIODO 1 | SIMULACIÓN 1 | 09/2016 | 15 días | 11-09-2016 | 26-09-2016 |
| | SIMULACIÓN 2 | 09/2016 | 22 días | 04-09-2016 | 26-09-2016 |
| PERIODO 2 | SIMULACIÓN 3 | 07/2014 | 15 días | 08-07-2014 | 23-07-2014 |
| | SIMULACIÓN 4 | 07/2014 | 22 días | 01-07-2014 | 23-07-2014 |
| PERIODO 3 | SIMULACIÓN 5 | 07/2012 | 15 días | 02-07-2012 | 17-07-2012 |
| | SIMULACIÓN 6 | 07/2012 | 22 días | 26-06-2012 | 17-07-2012 |

*Tabla 7. Simulaciones realizadas en el modelo Mohid Water.
[Elaboración propia]*

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos y se concluye lo siguiente:

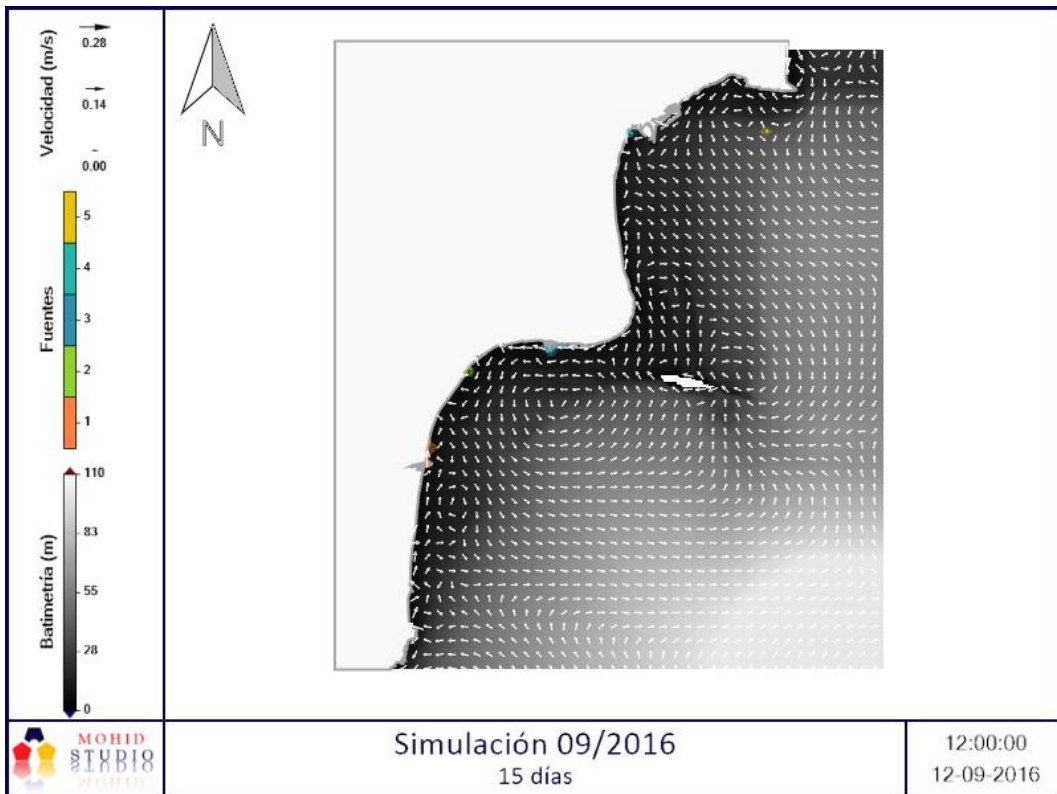
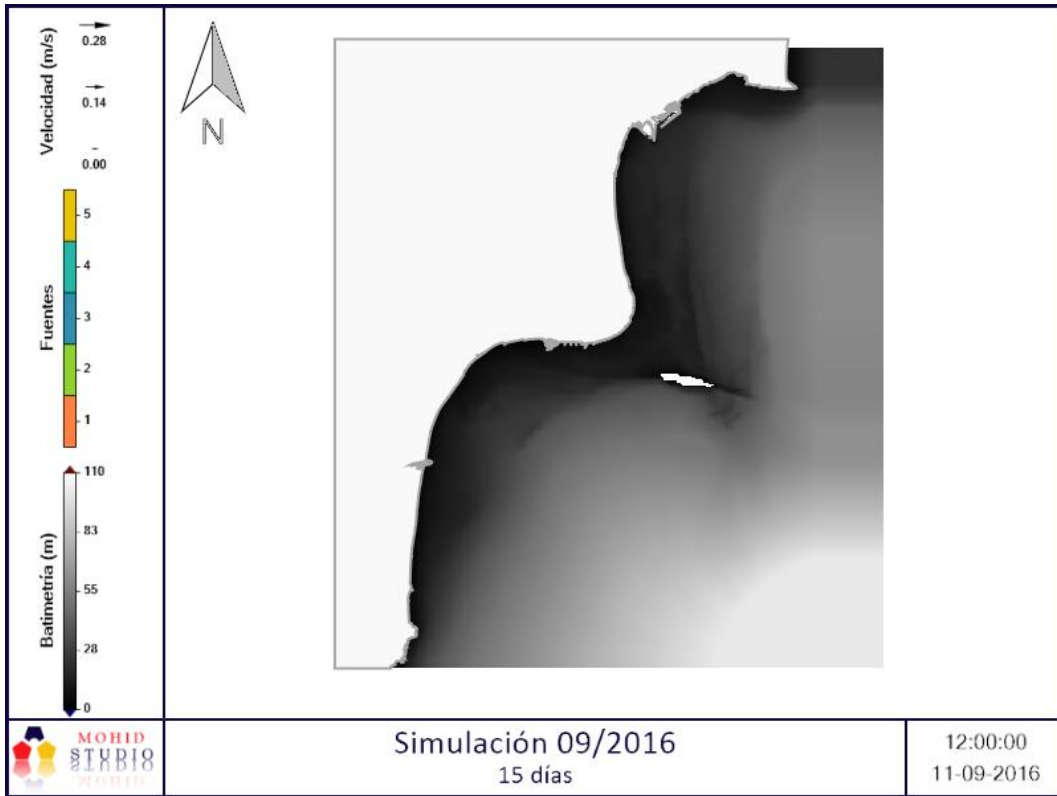
- En las Simulaciones 1, 3 y 5 se observa como, en base al sistema de corrientes y a la trayectoria de las partículas durante los 15 días de simulación, las fuentes que con mayor probabilidad de emitir partículas de contaminación que alcancen la estación DP115 se ubican en los puntos de vertido 4 y 5, ubicados en la zona norte del ámbito de estudio.
- En base a las Simulaciones 2, 4 y 6, se observa como las partículas de contaminación emitidas desde el punto de vertido 4 alcanzan la ubicación de la estación de muestreo DP115 en el periodo de 22 días. La emisión de partículas contaminantes desde el punto de vertido 5 no alcanza la estación en el periodo simulado, aunque en base a las corrientes modeladas, se puede estimar que en un periodo de simulación mayor (en torno a los 30 días), las partículas emitidas desde este punto también alcanzarían la estación DP115.

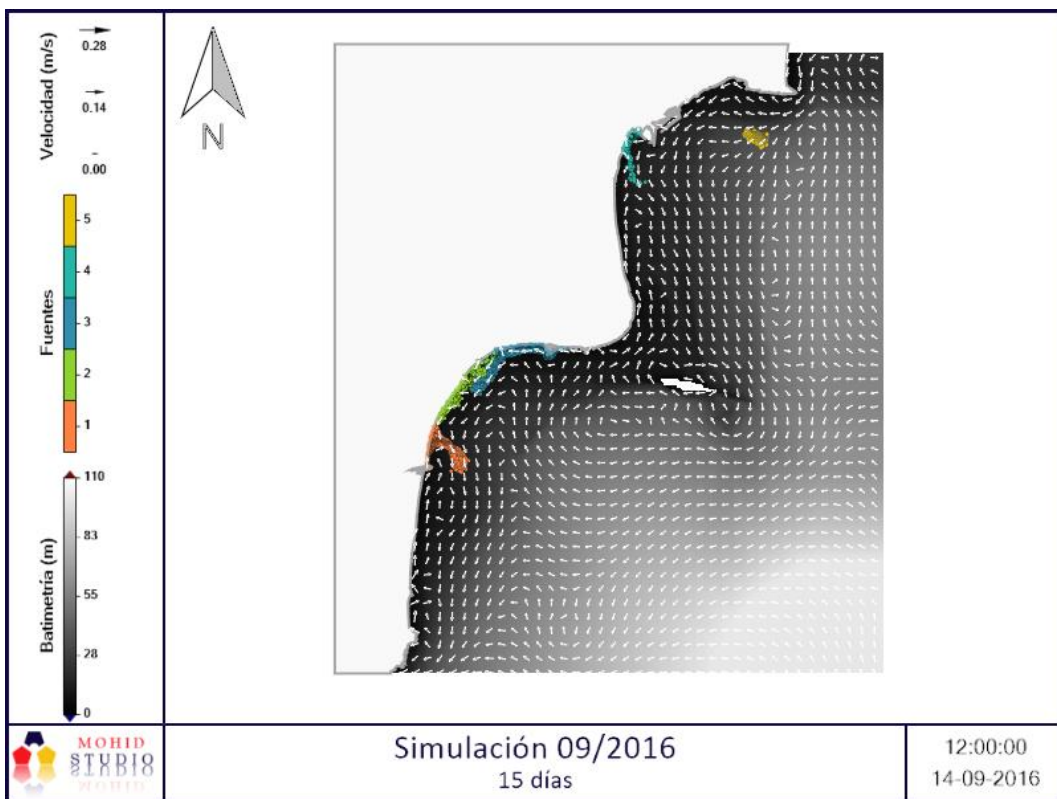
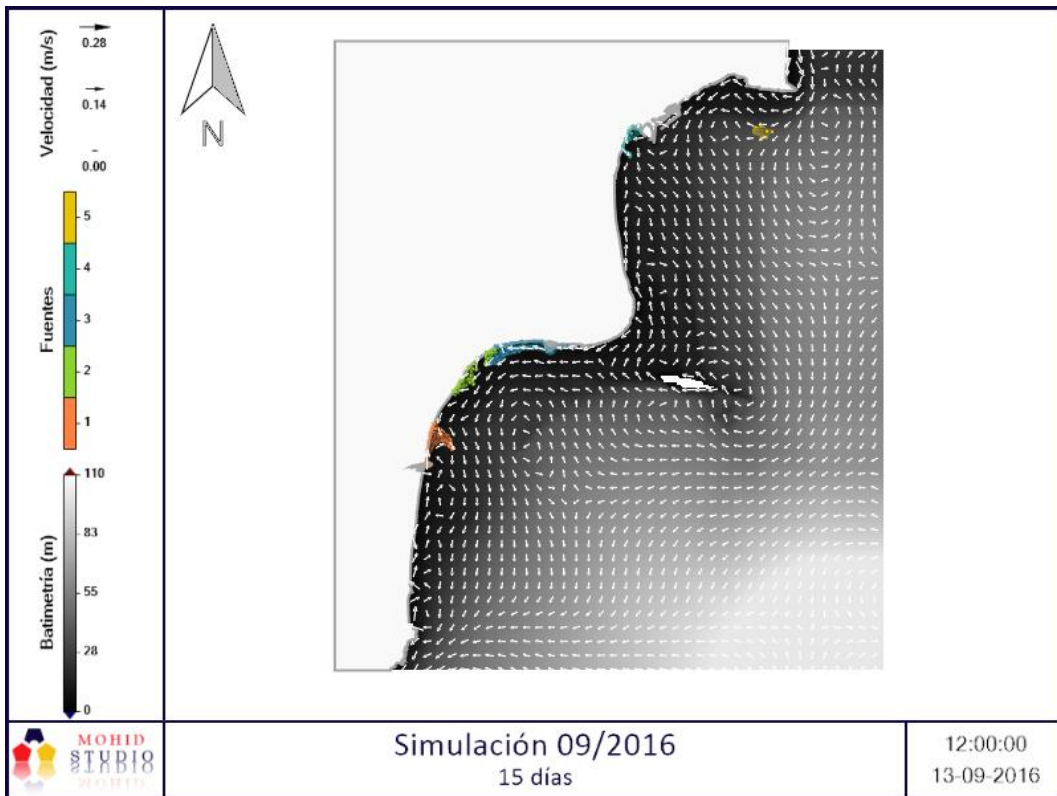
APÉNDICE 1.

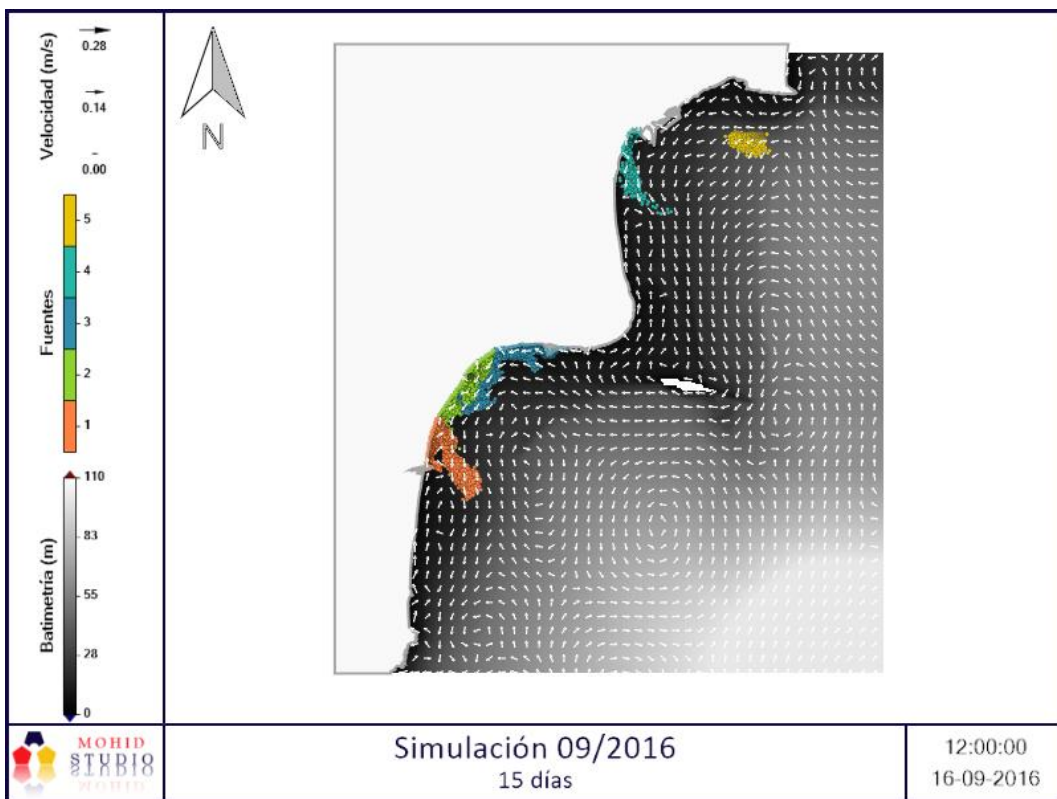
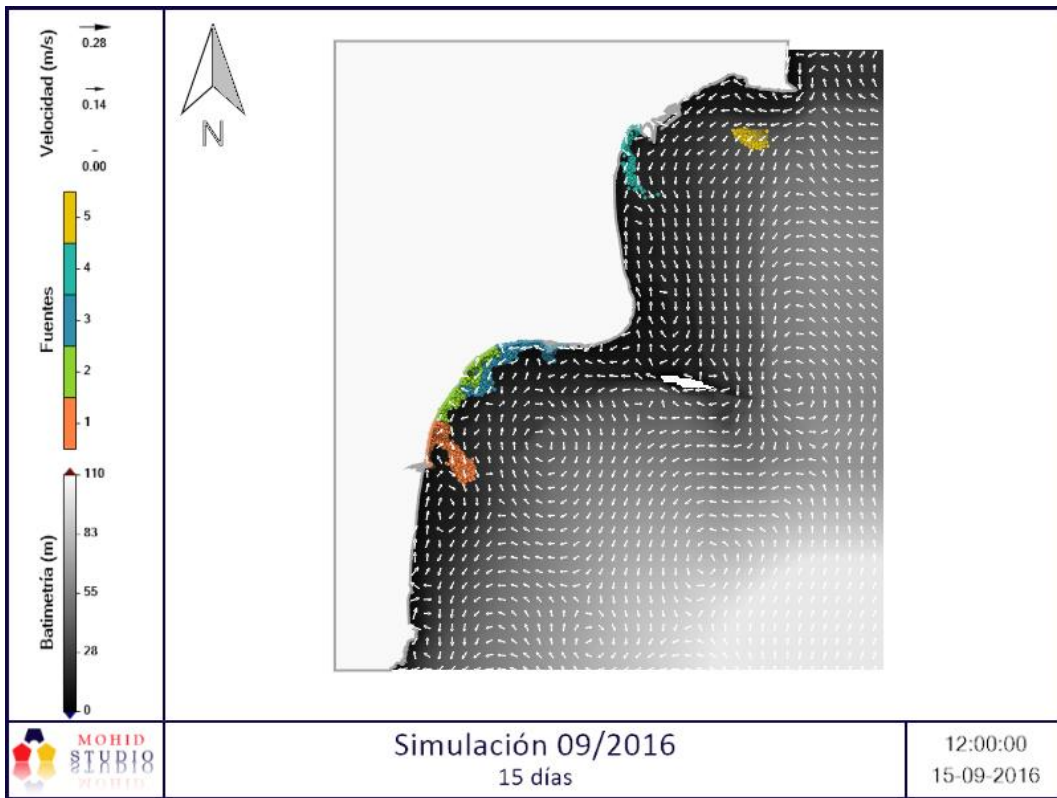
CONJUNTO DE RESULTADOS GRÁFICOS DEL MODELO DE DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES

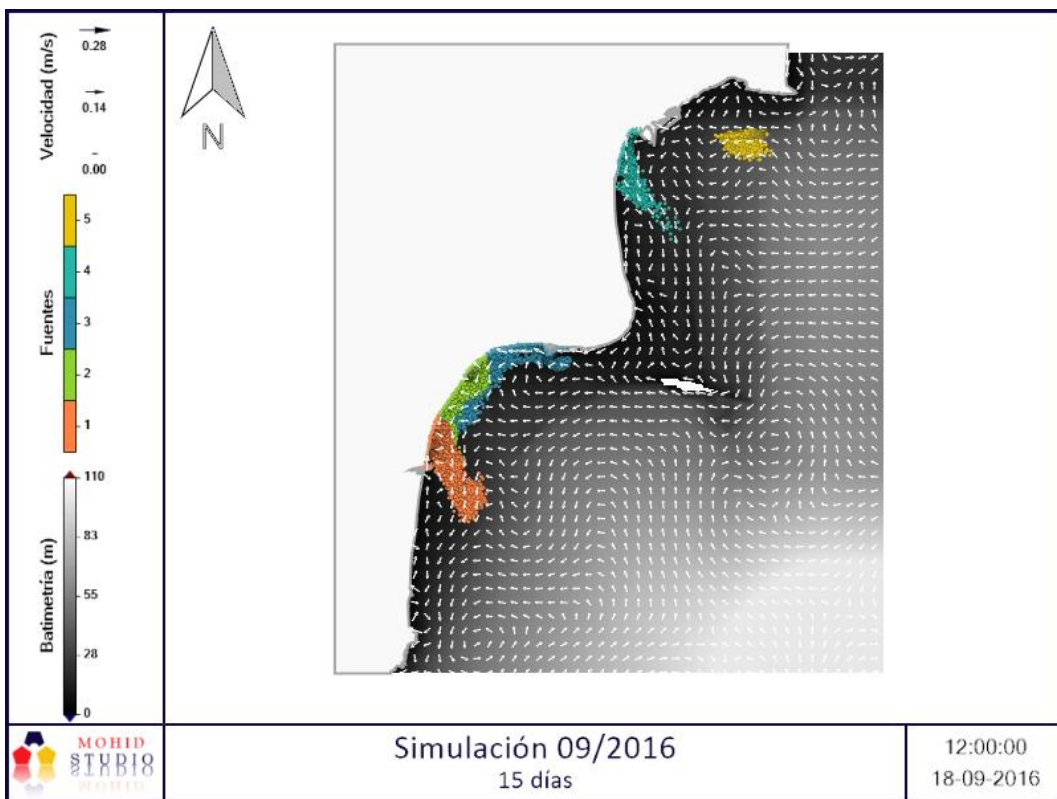
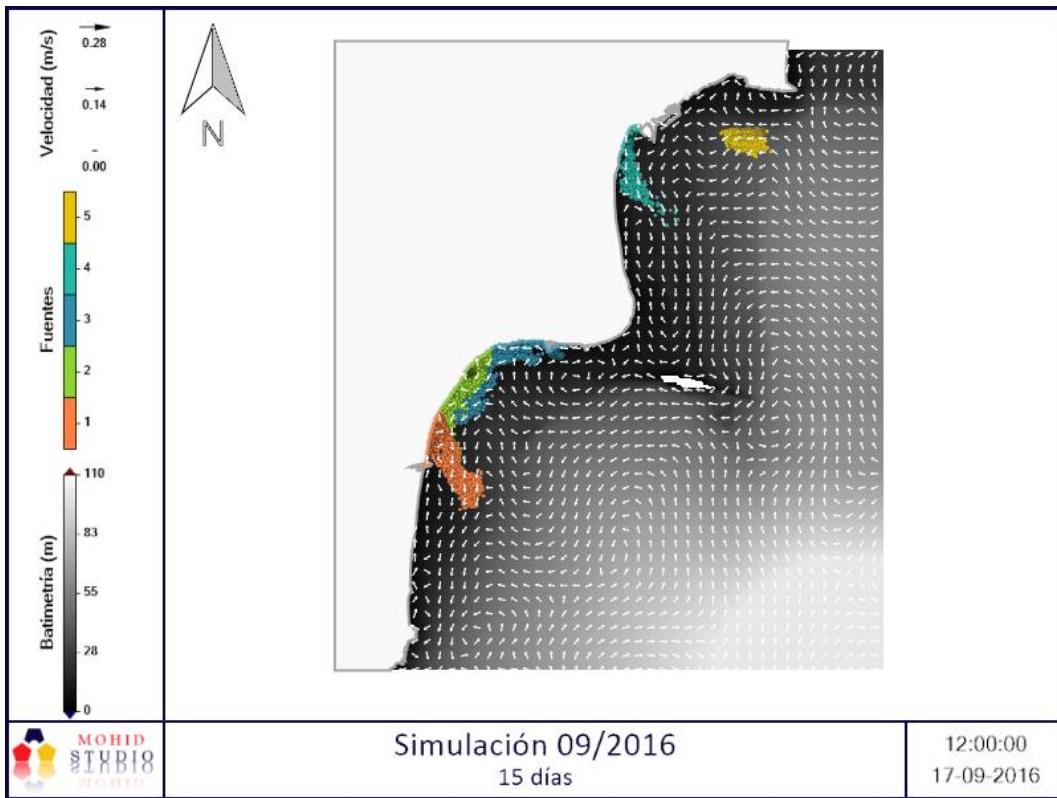
| | |
|---------------------------------------|----|
| SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días | 2 |
| SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días | 10 |
| SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días | 22 |
| SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días | 30 |
| SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días | 42 |
| SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días | 50 |

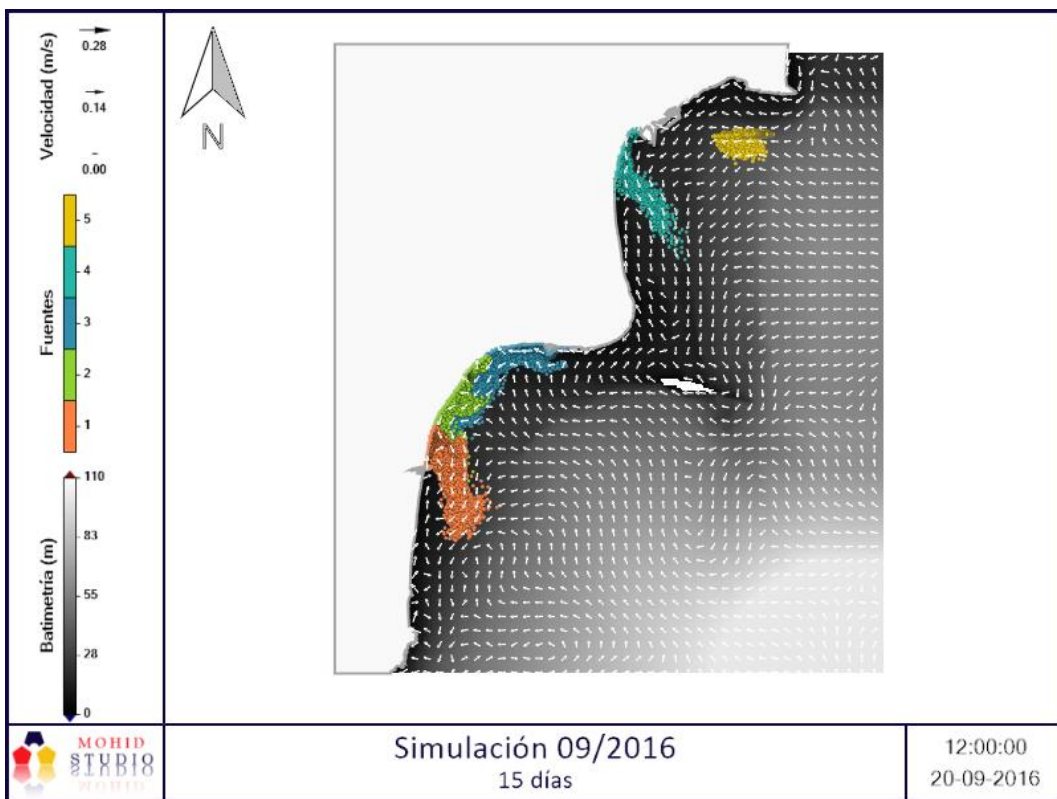
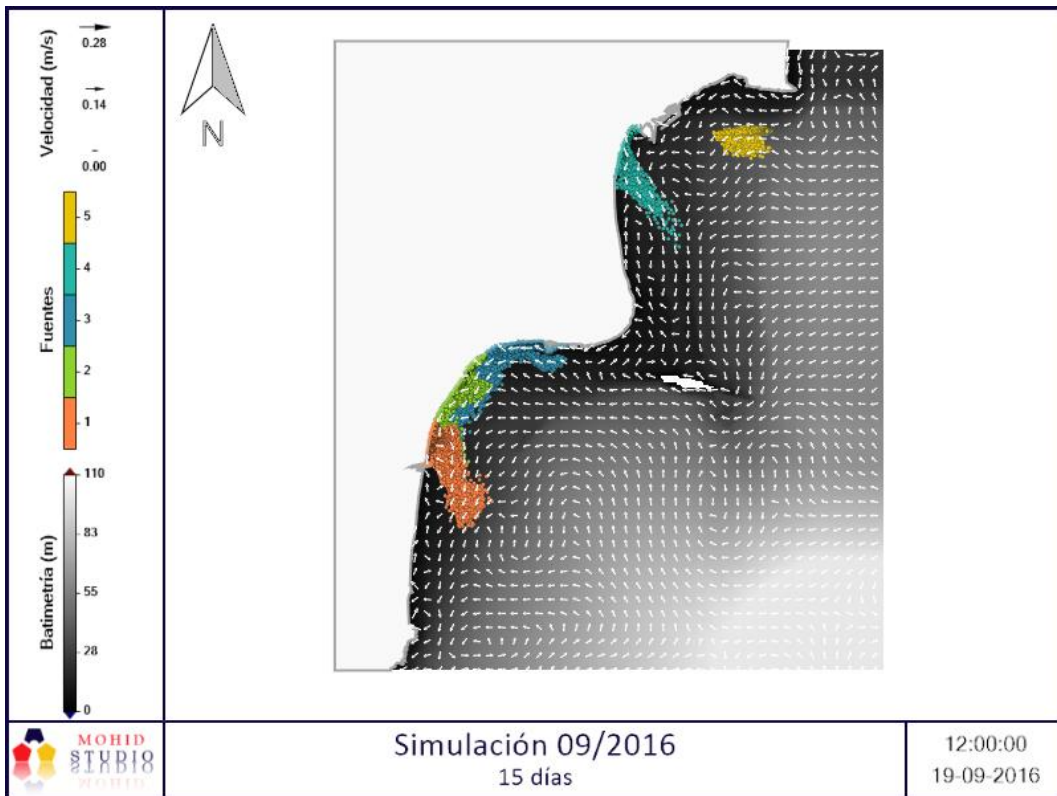
SIMULACIÓN 1. 09/2016 – 15 días

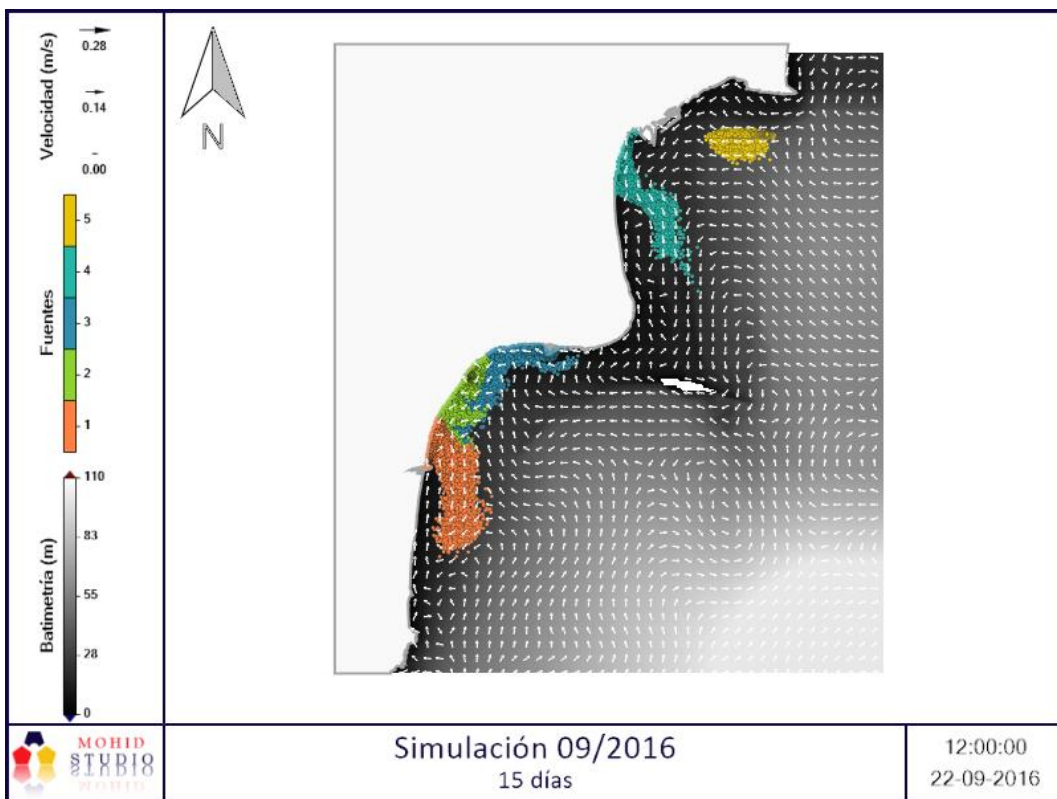
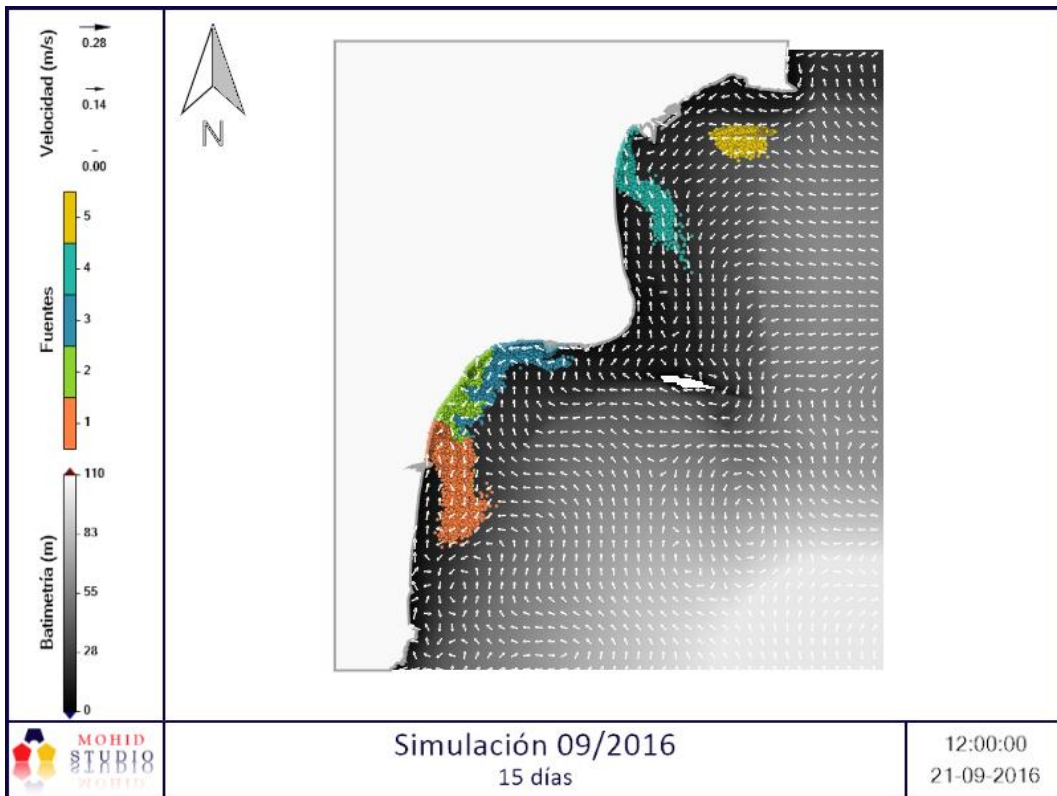


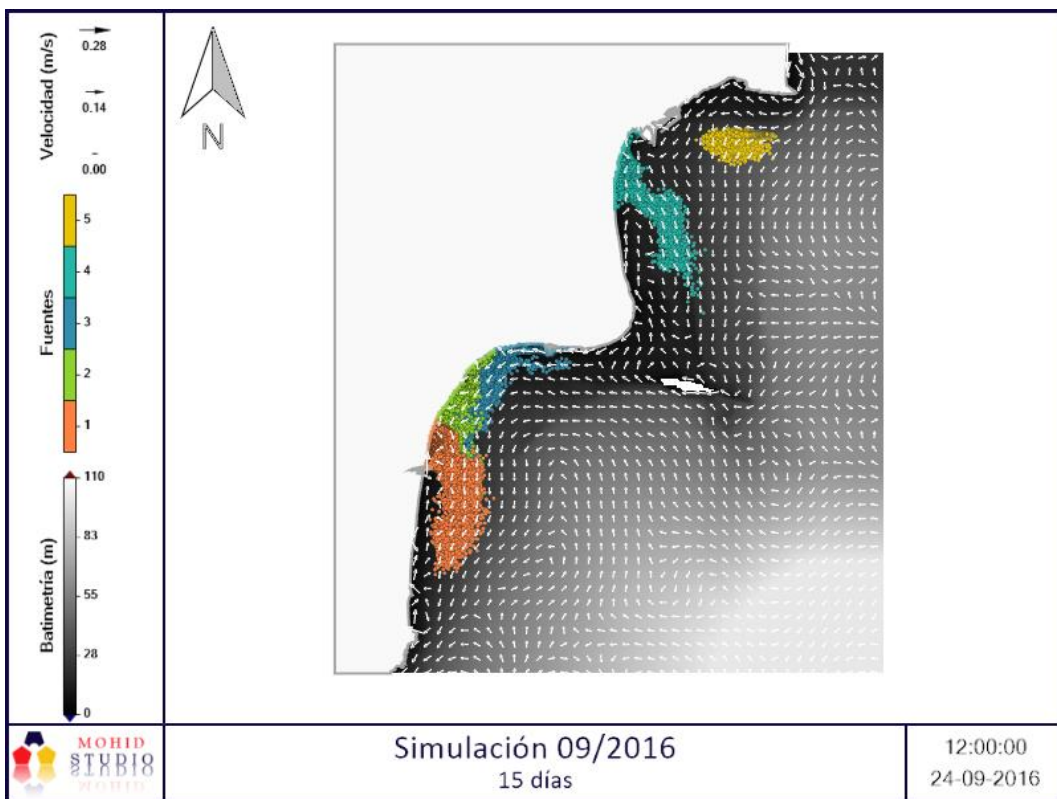
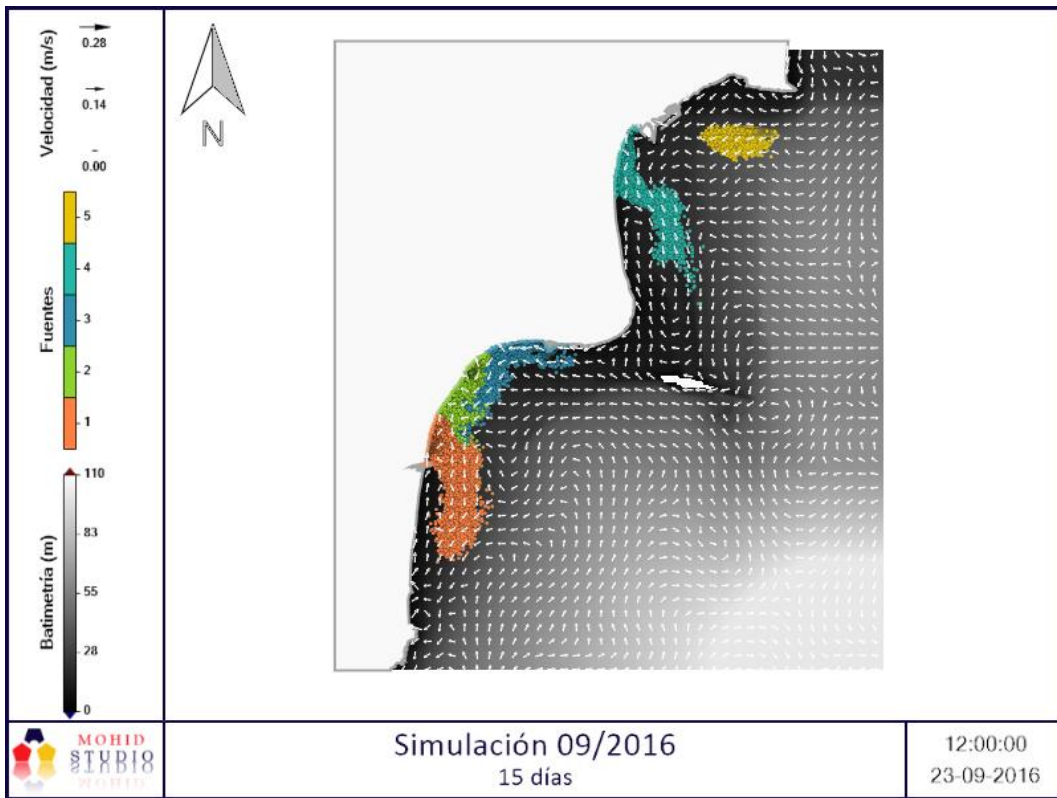


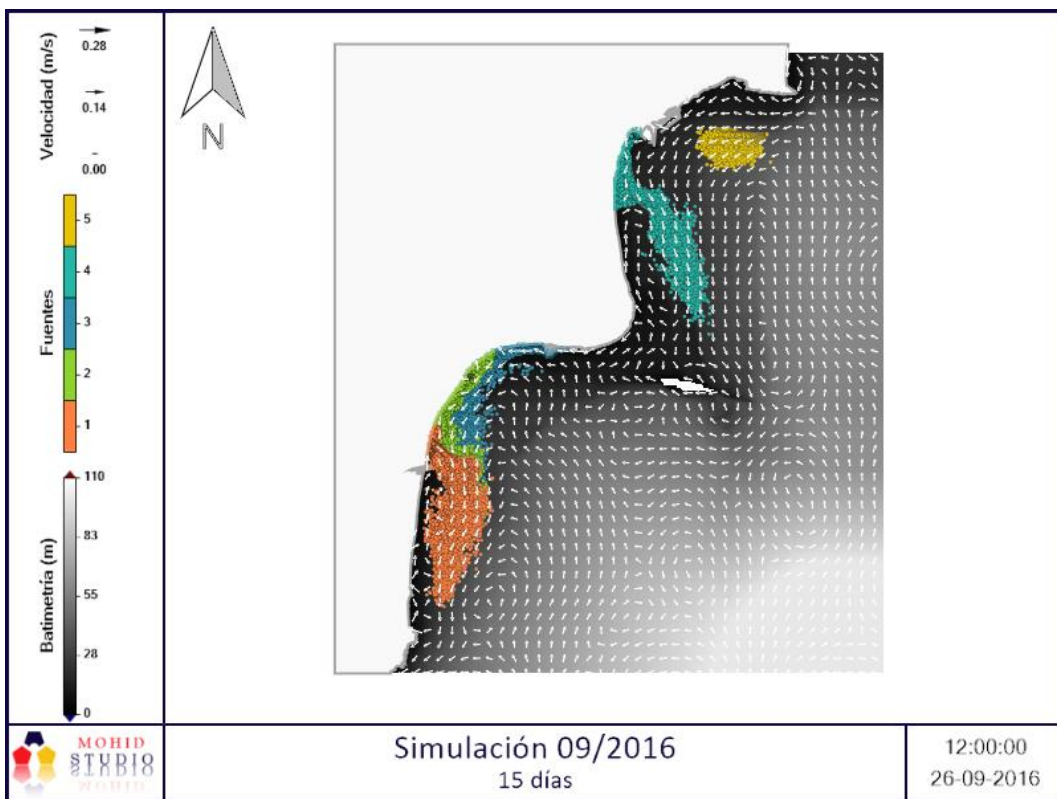
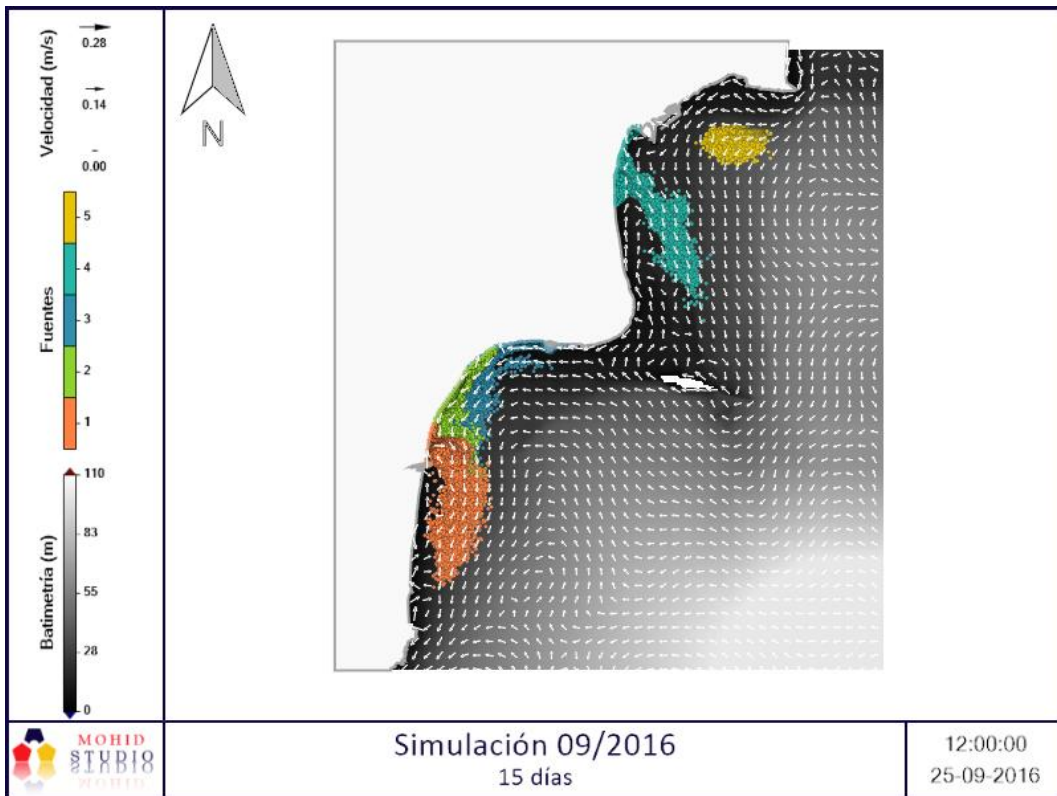




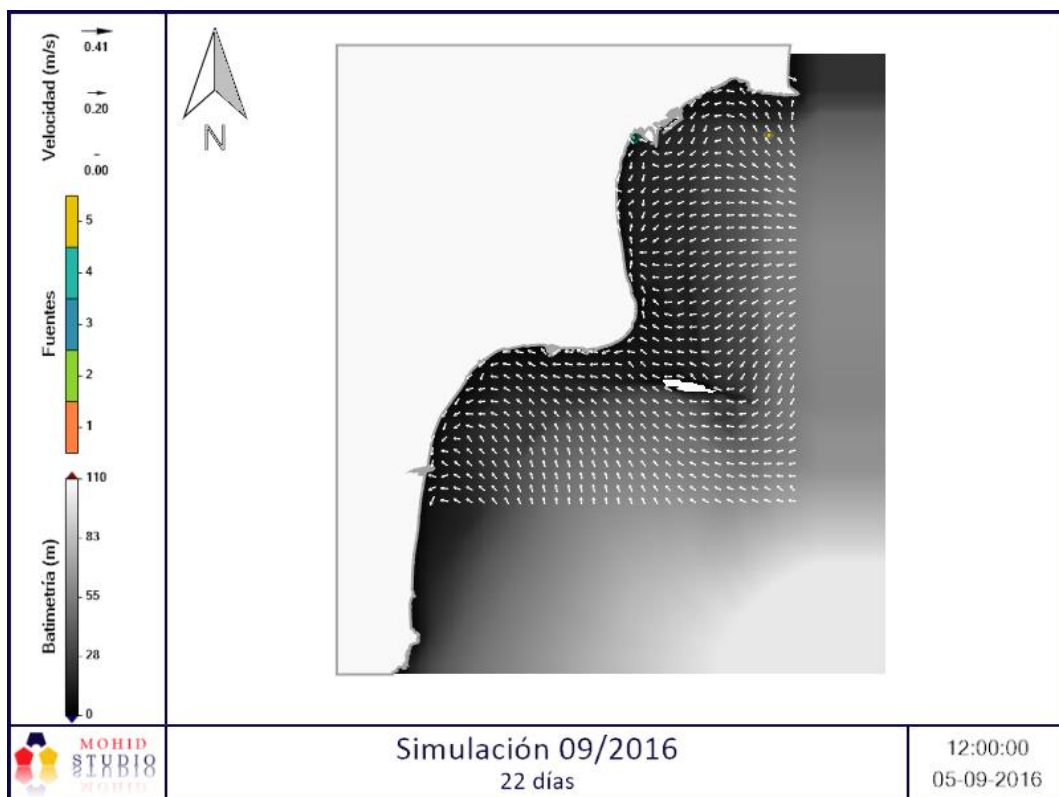
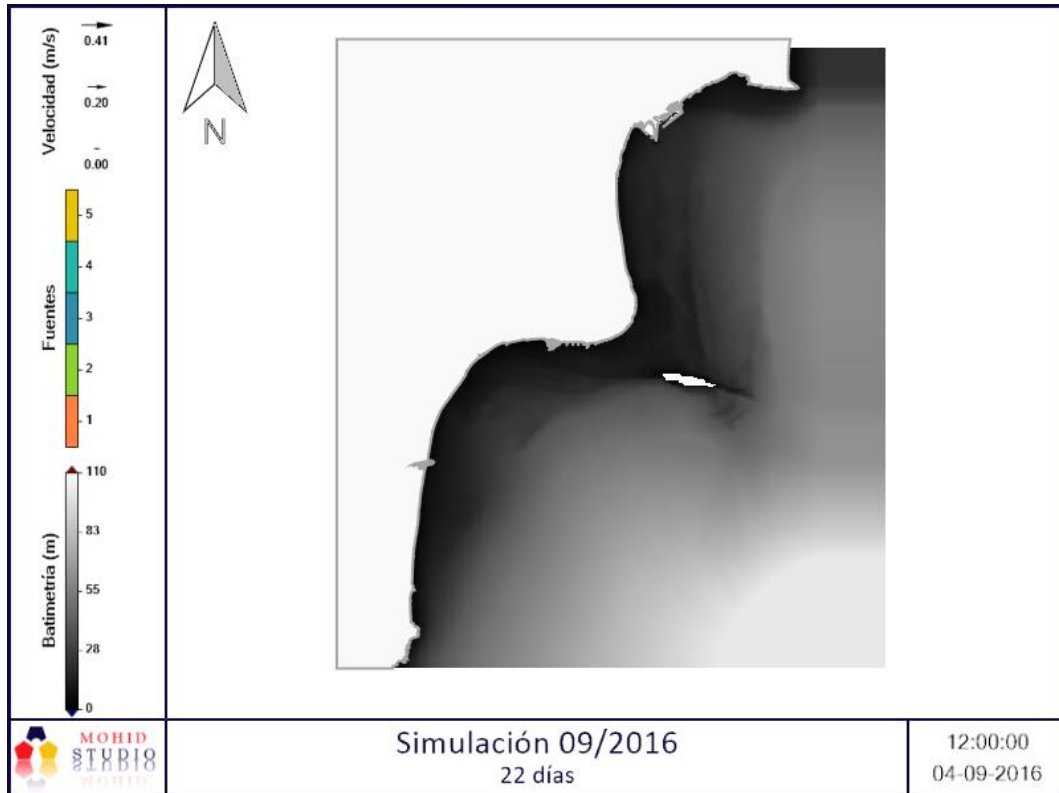


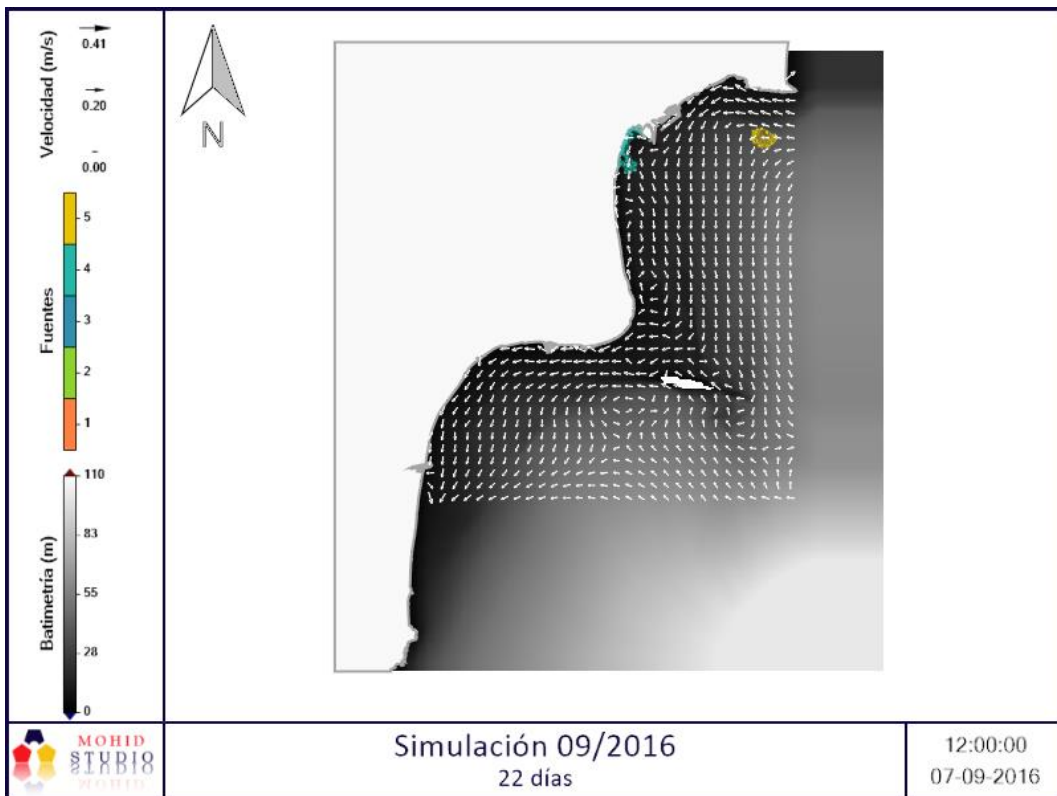
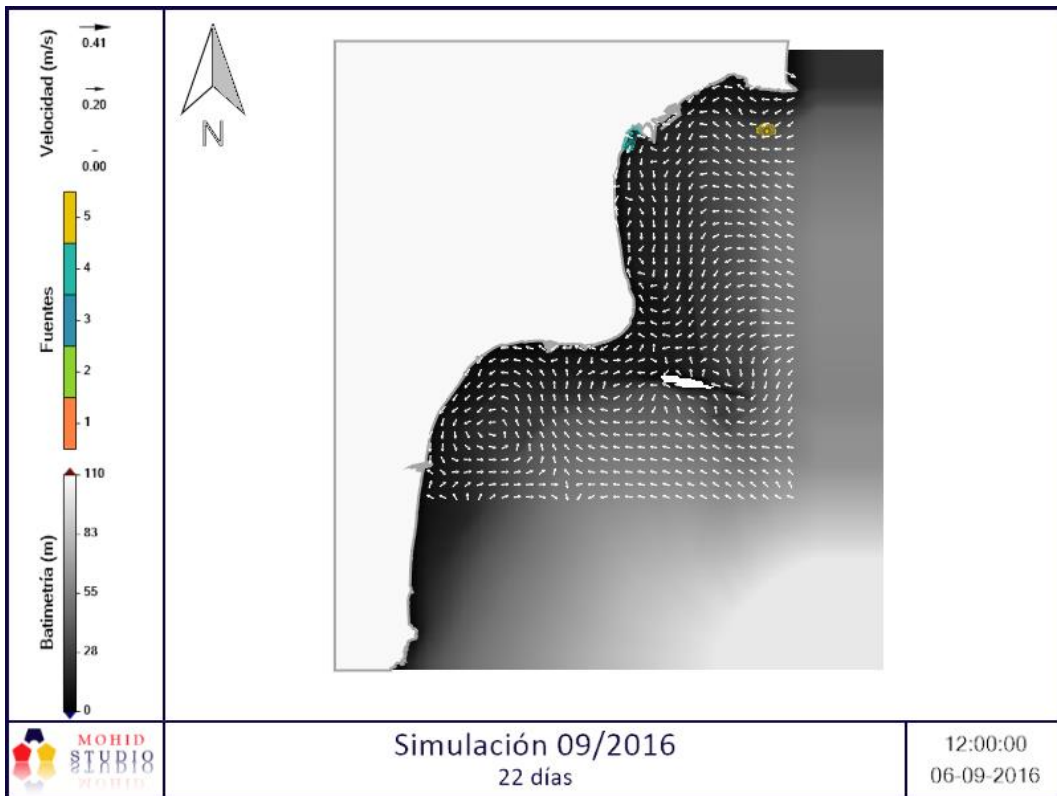


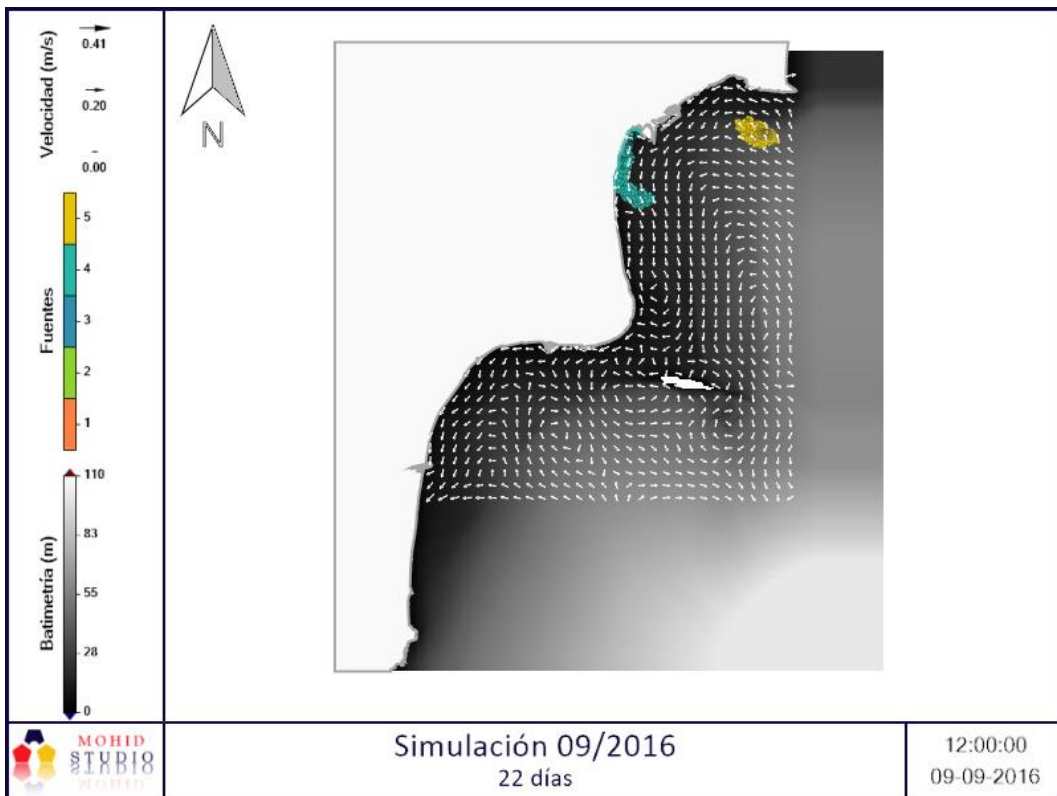
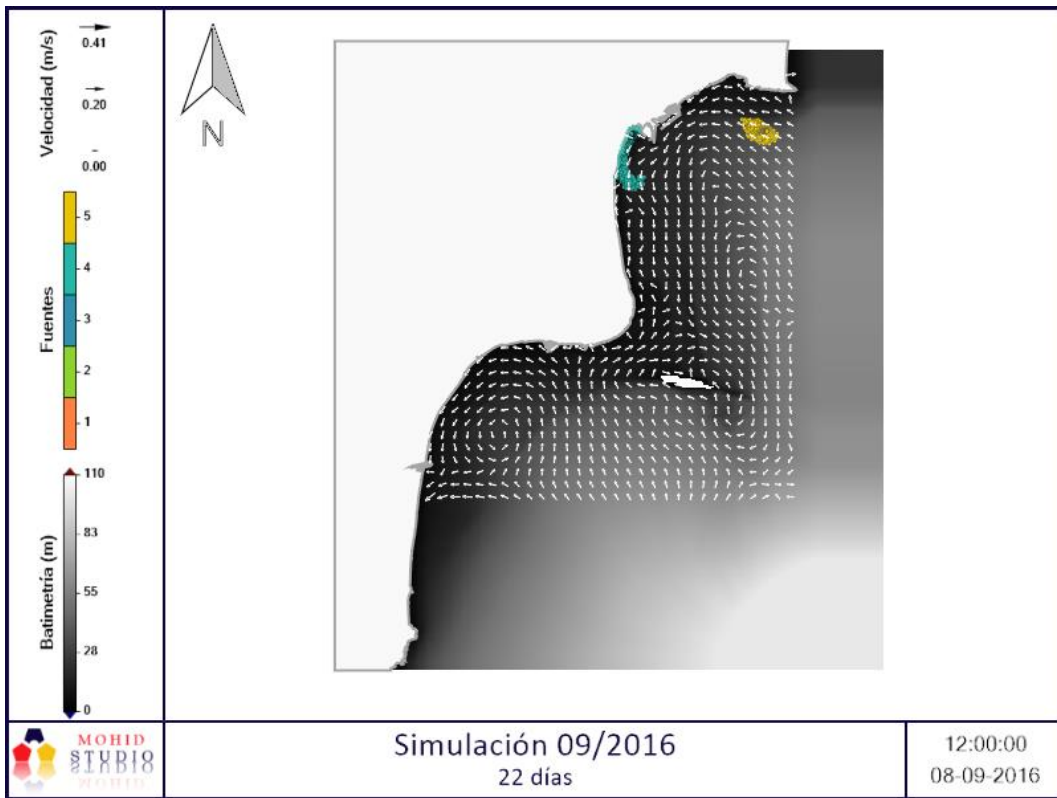


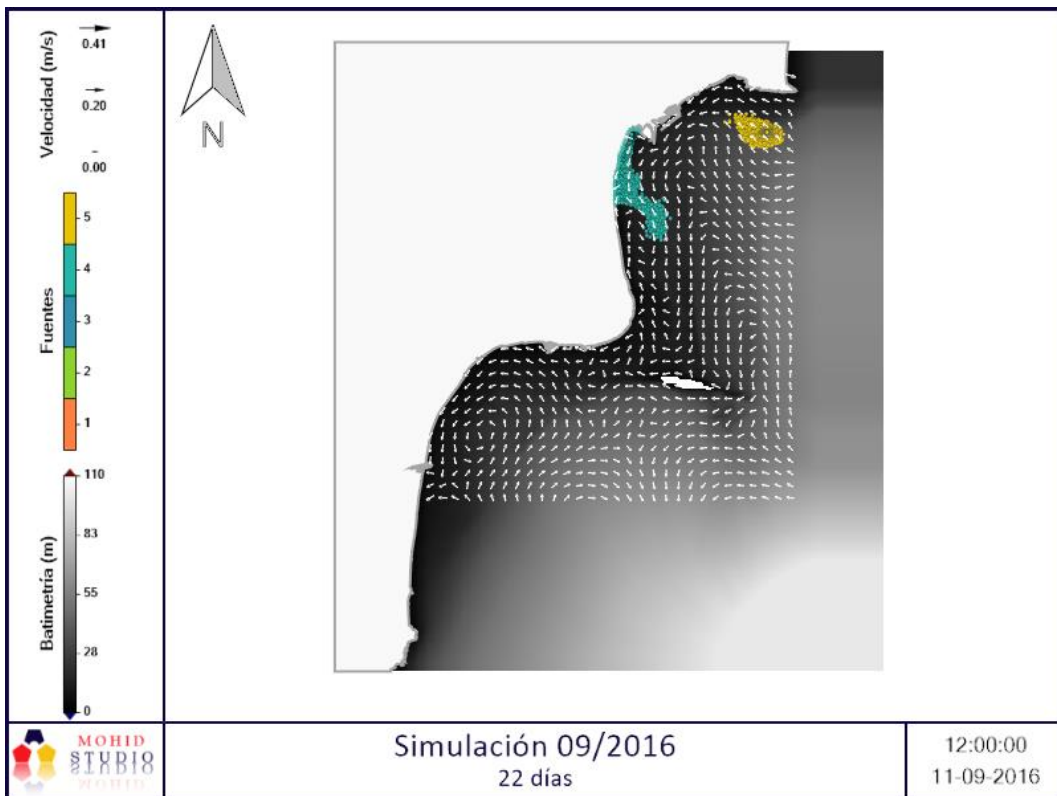
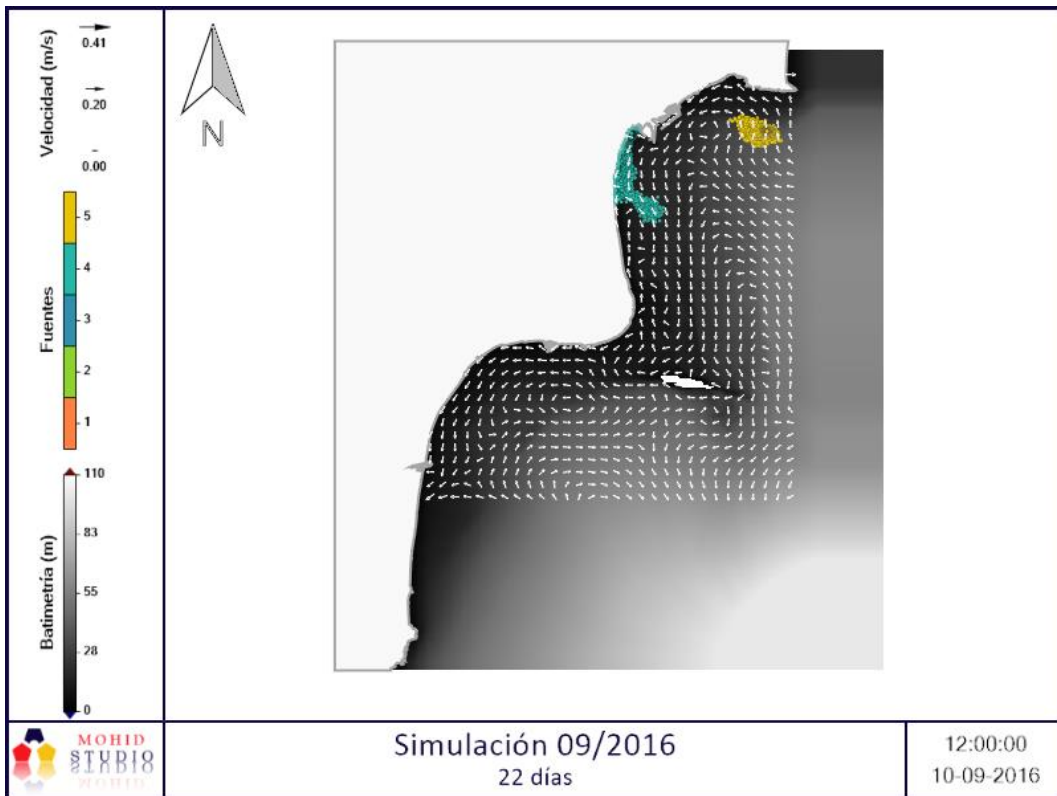


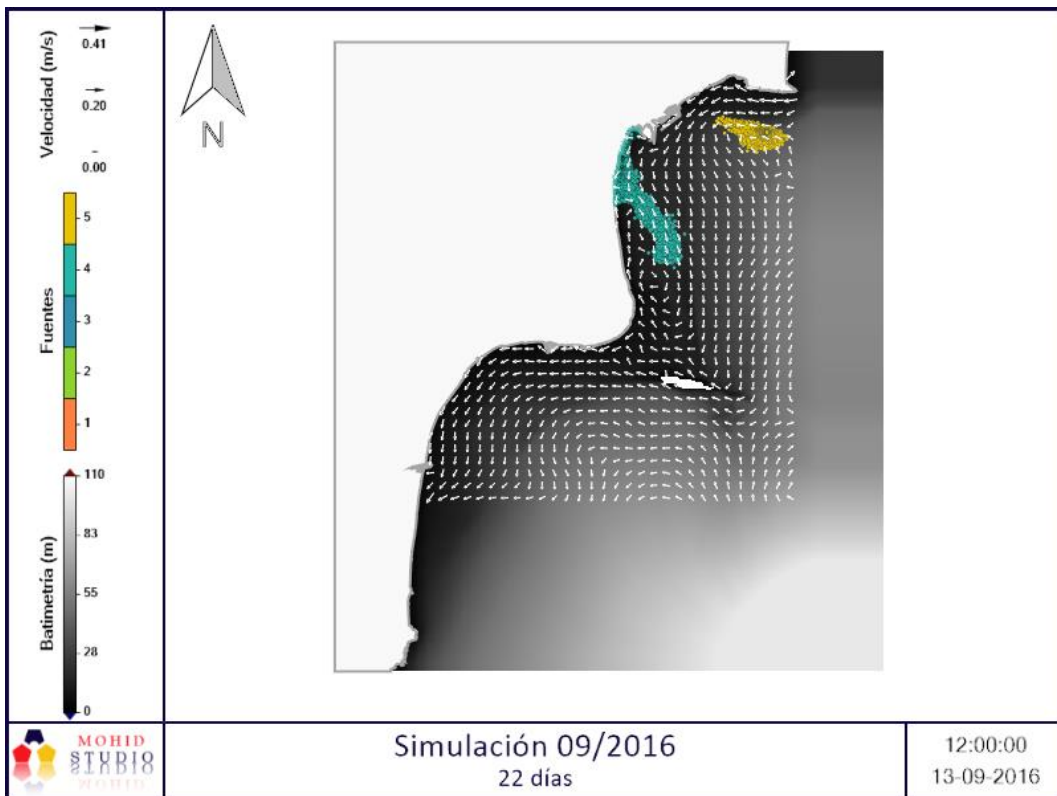
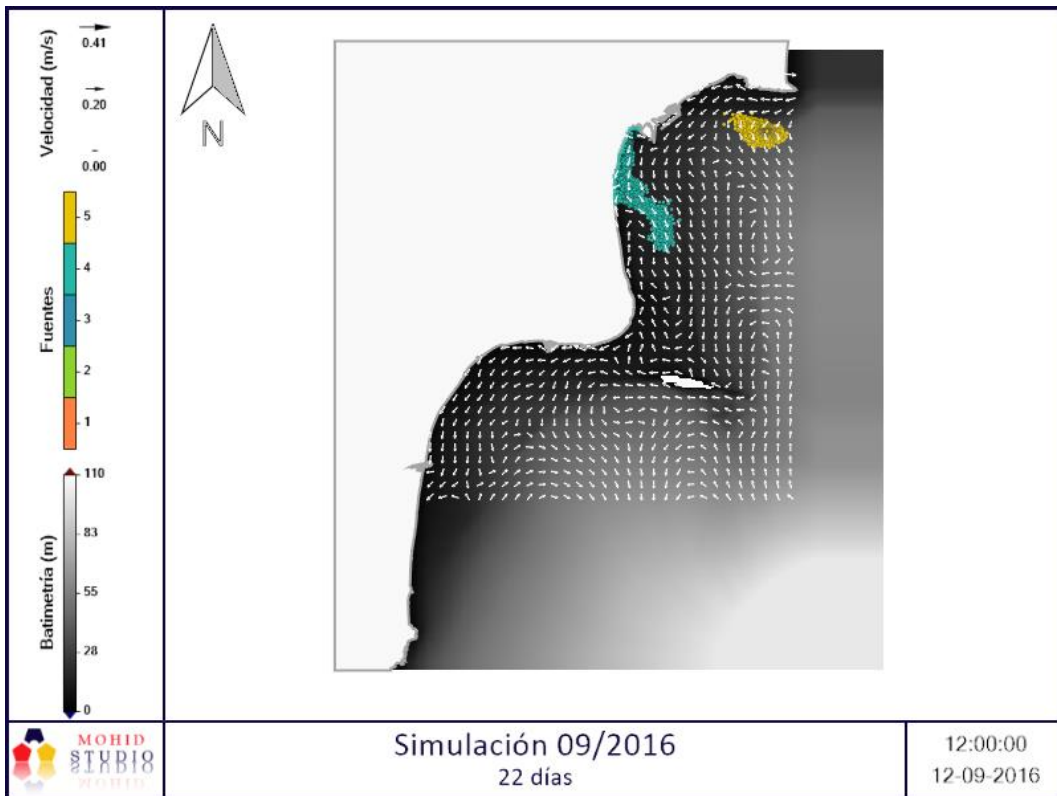
SIMULACIÓN 2. 09/2016 – 22 días

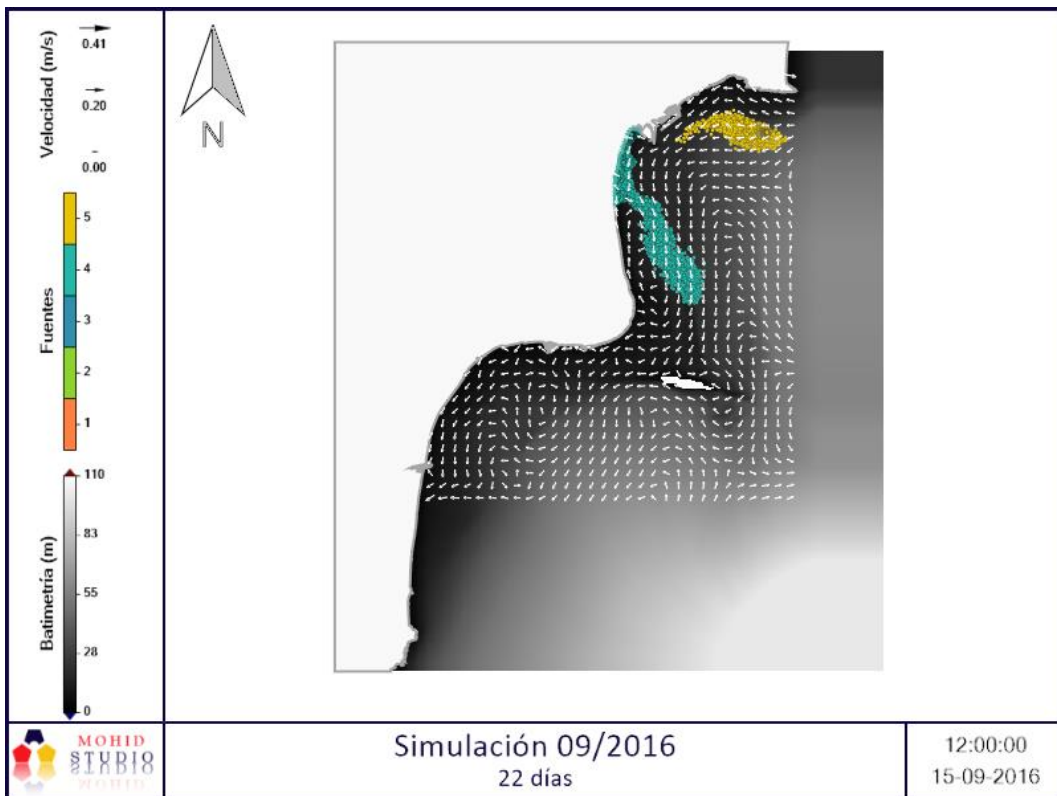
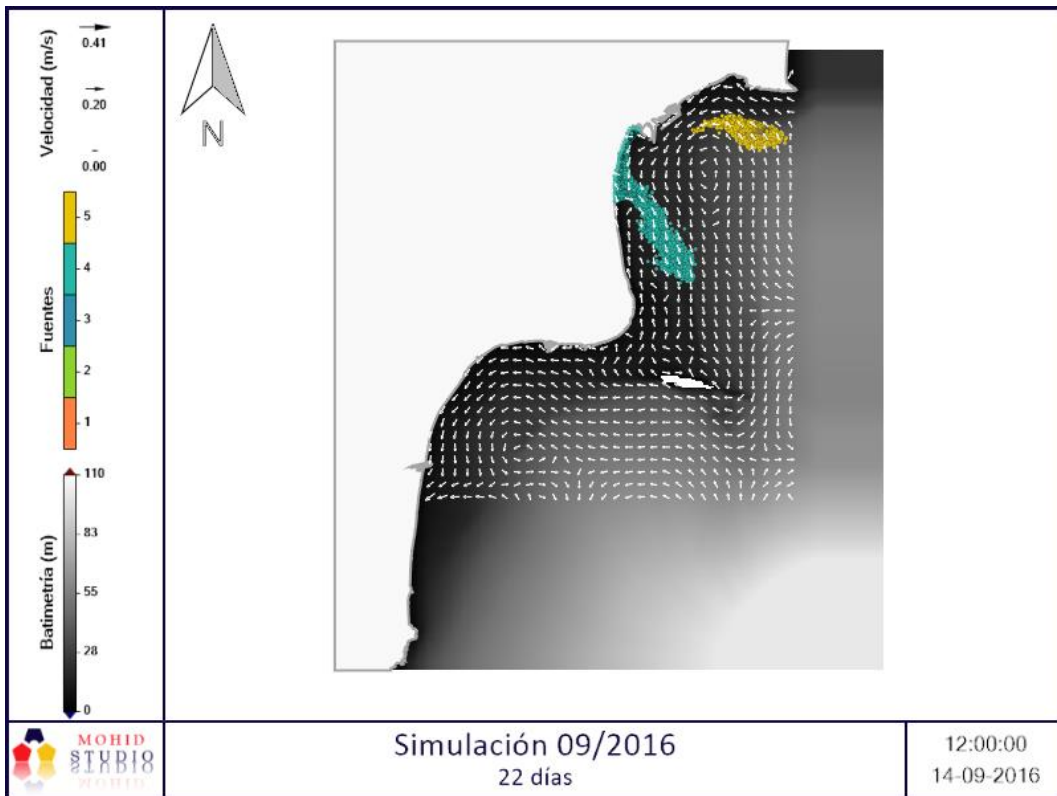


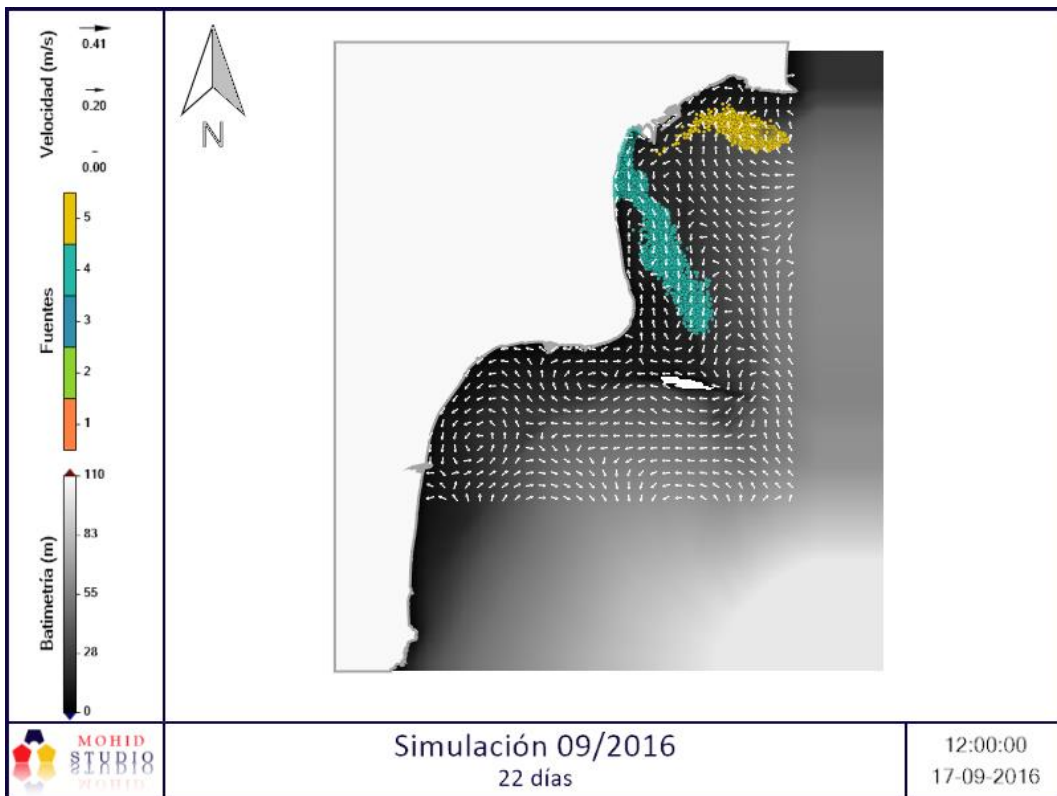
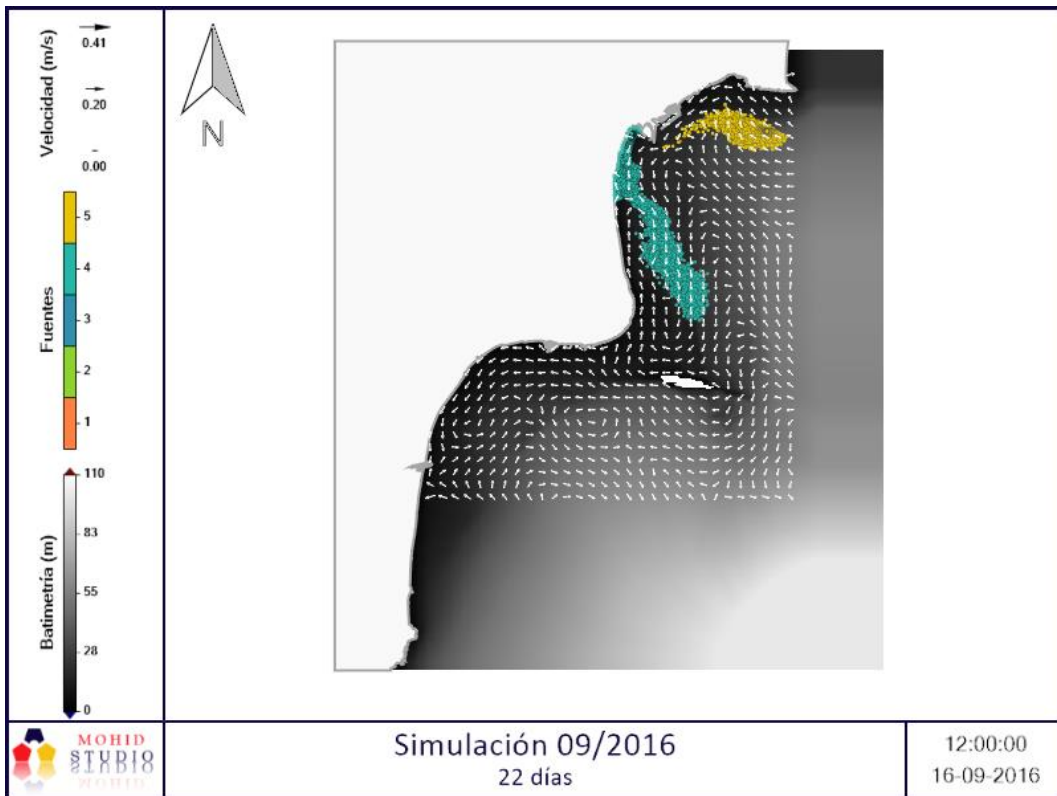


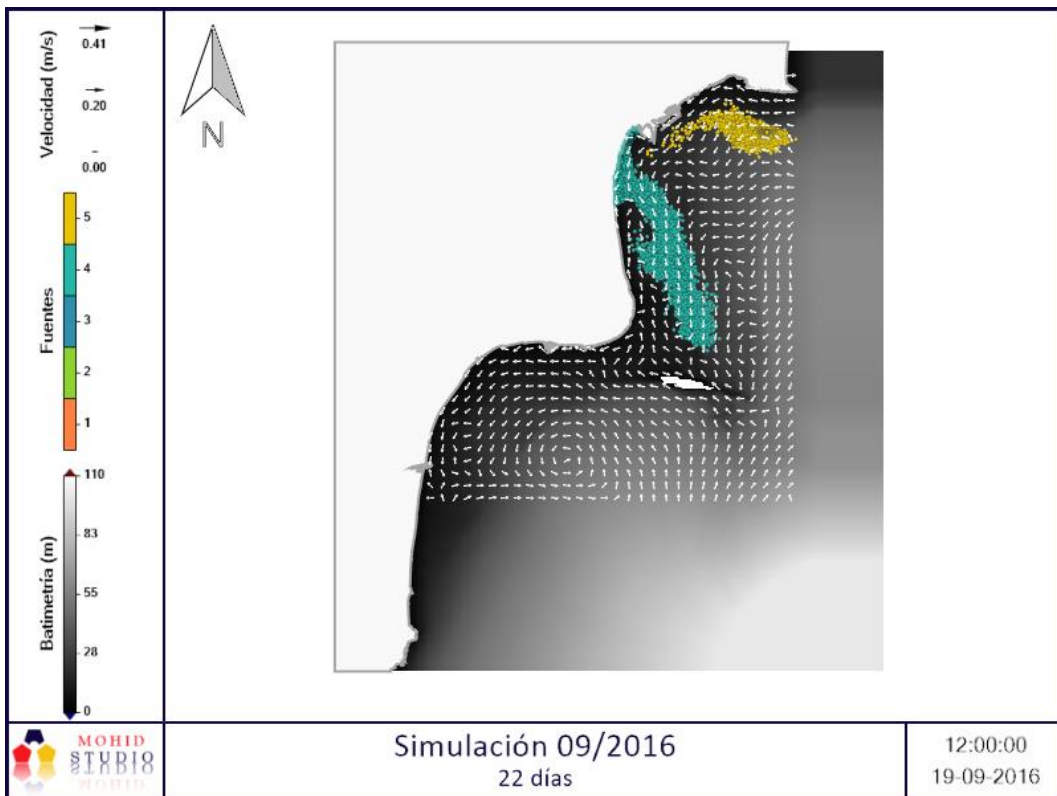
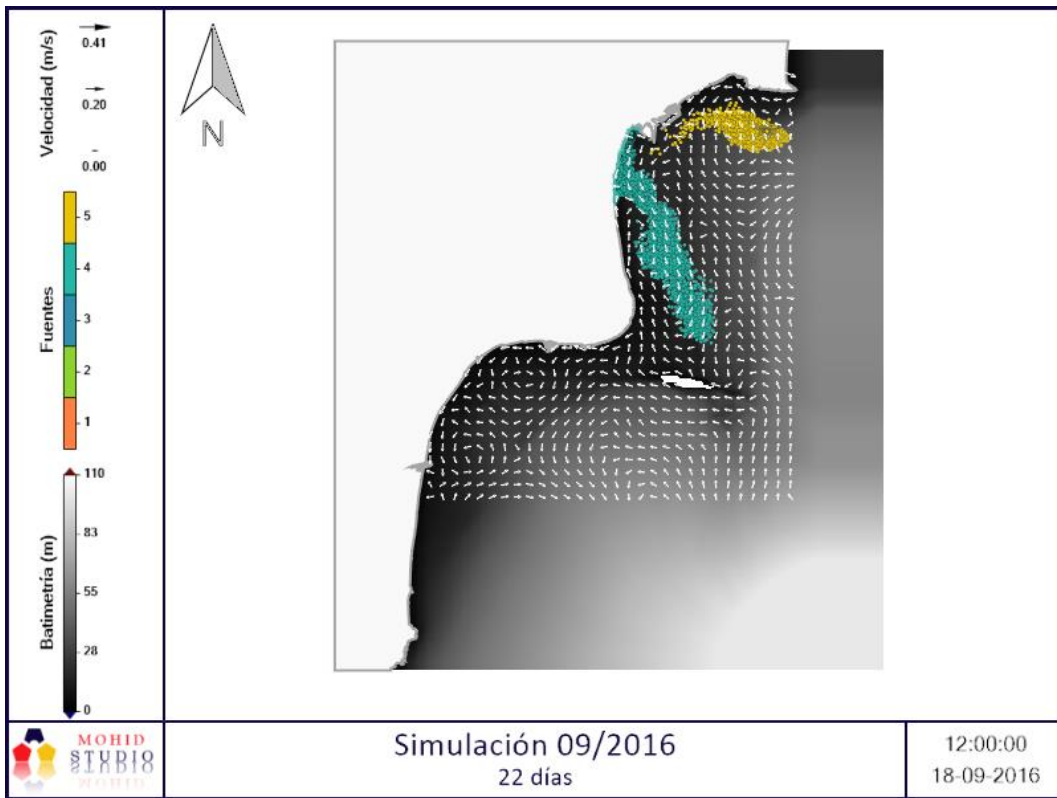


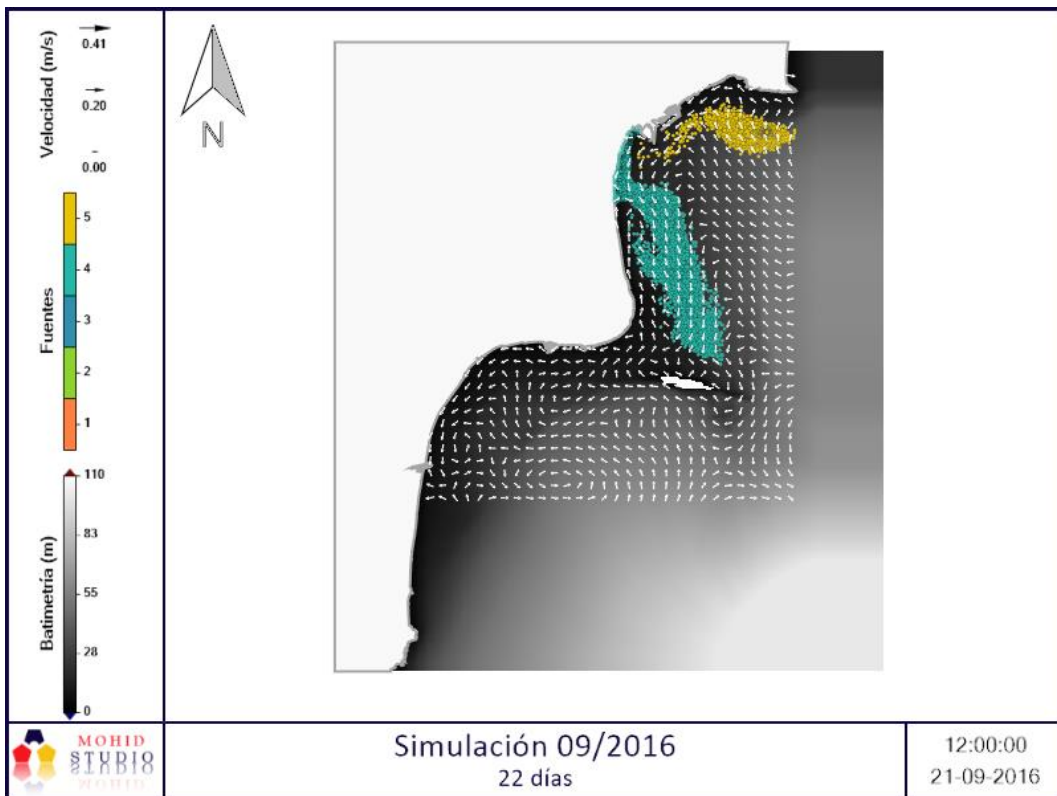
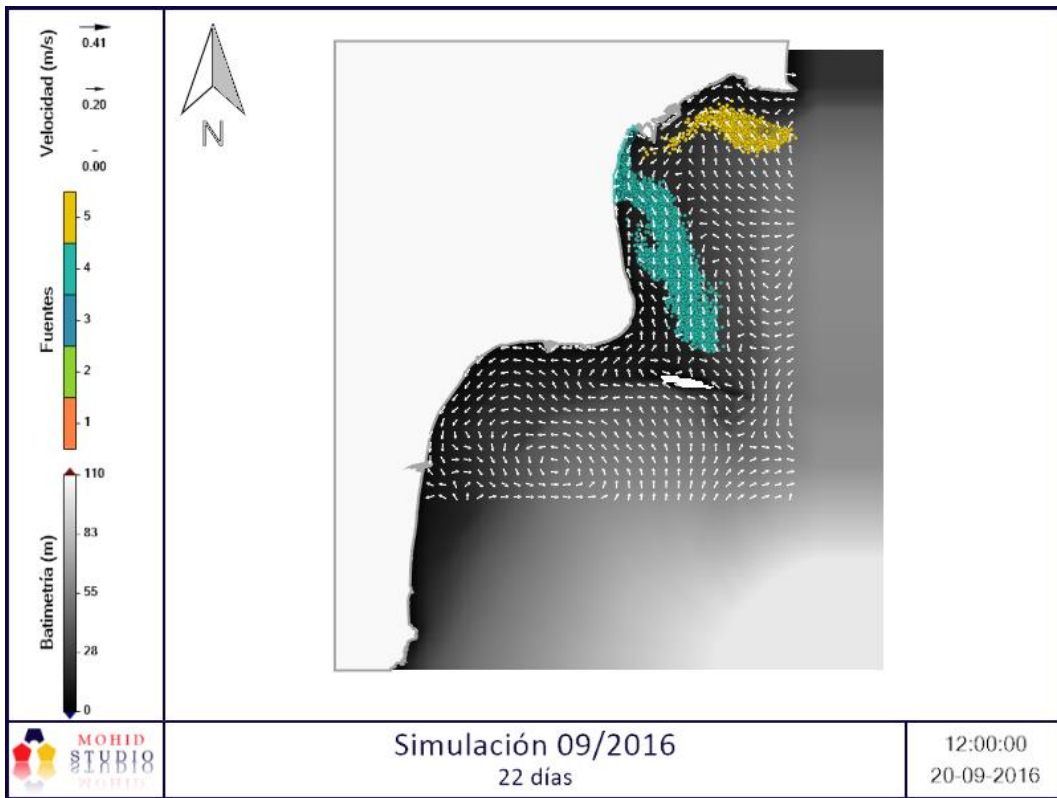


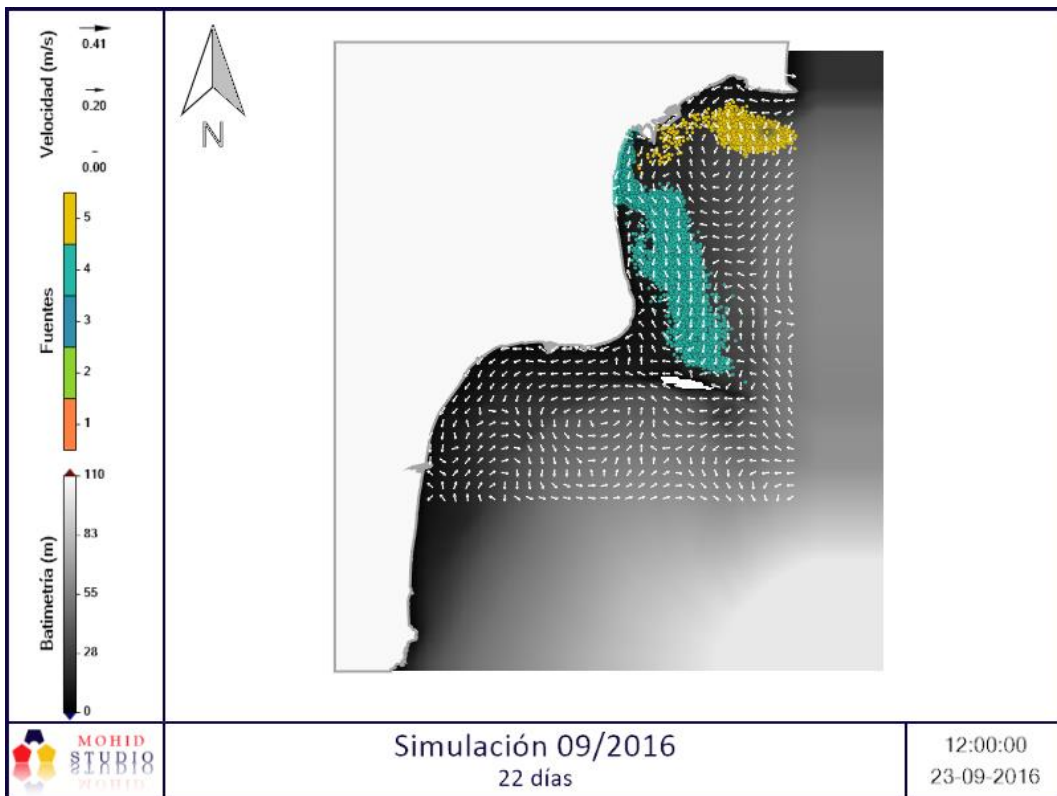
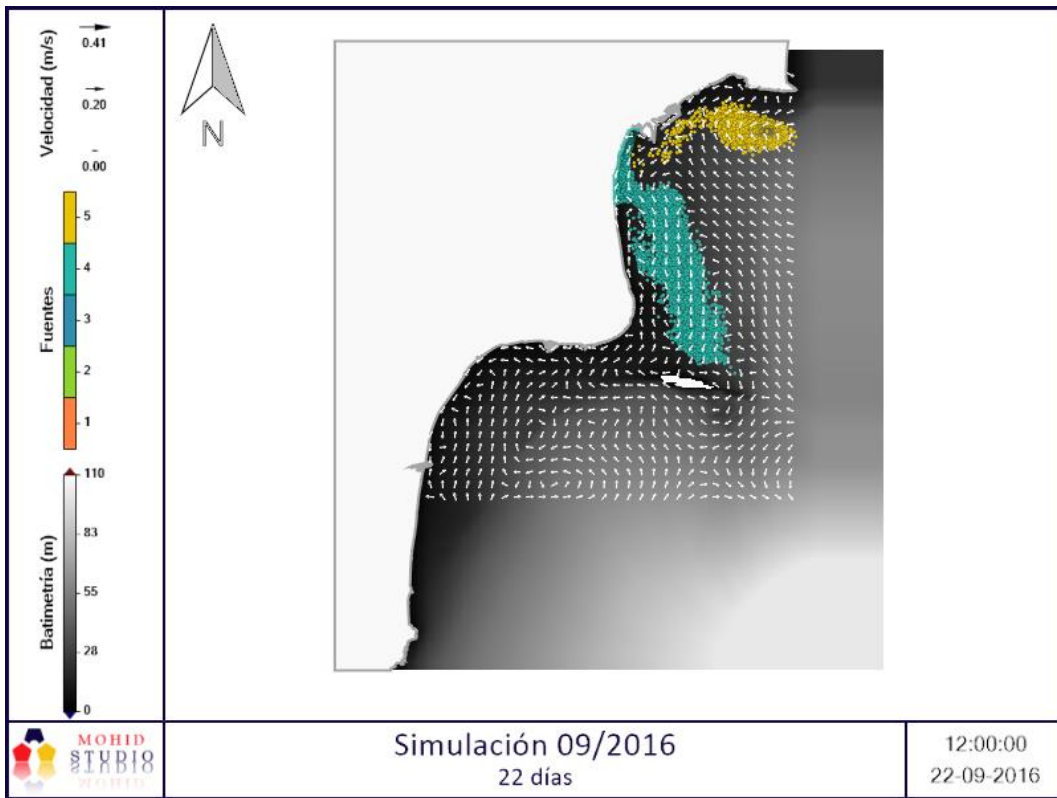


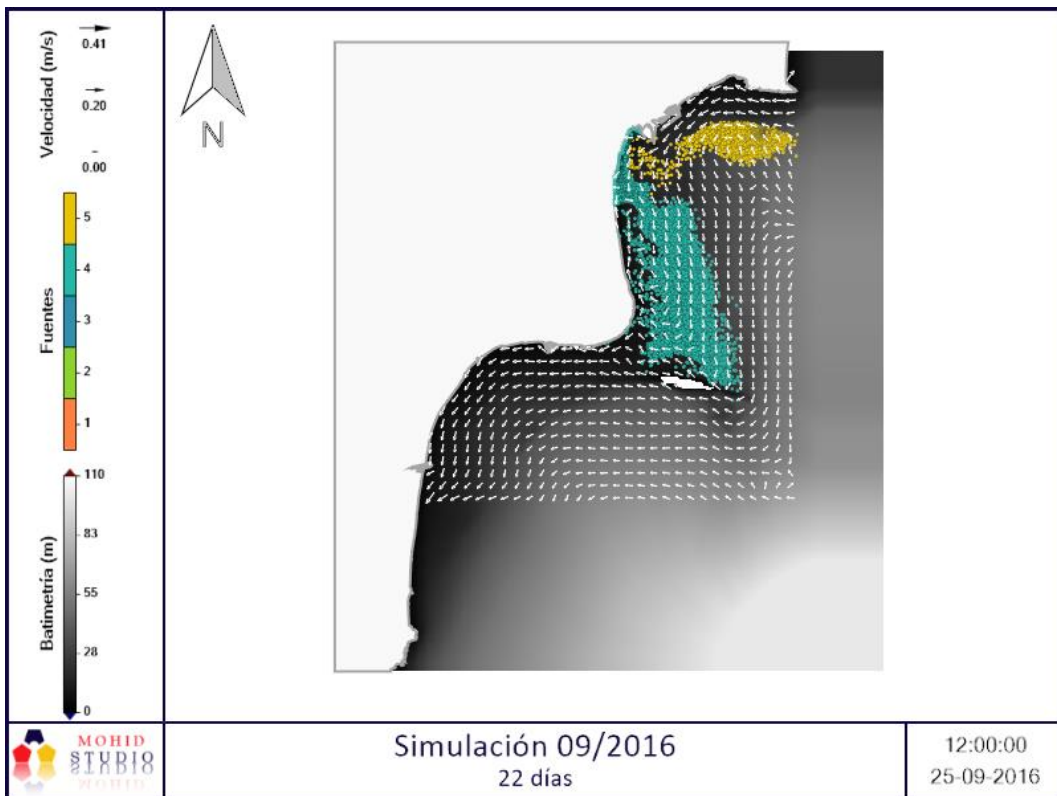
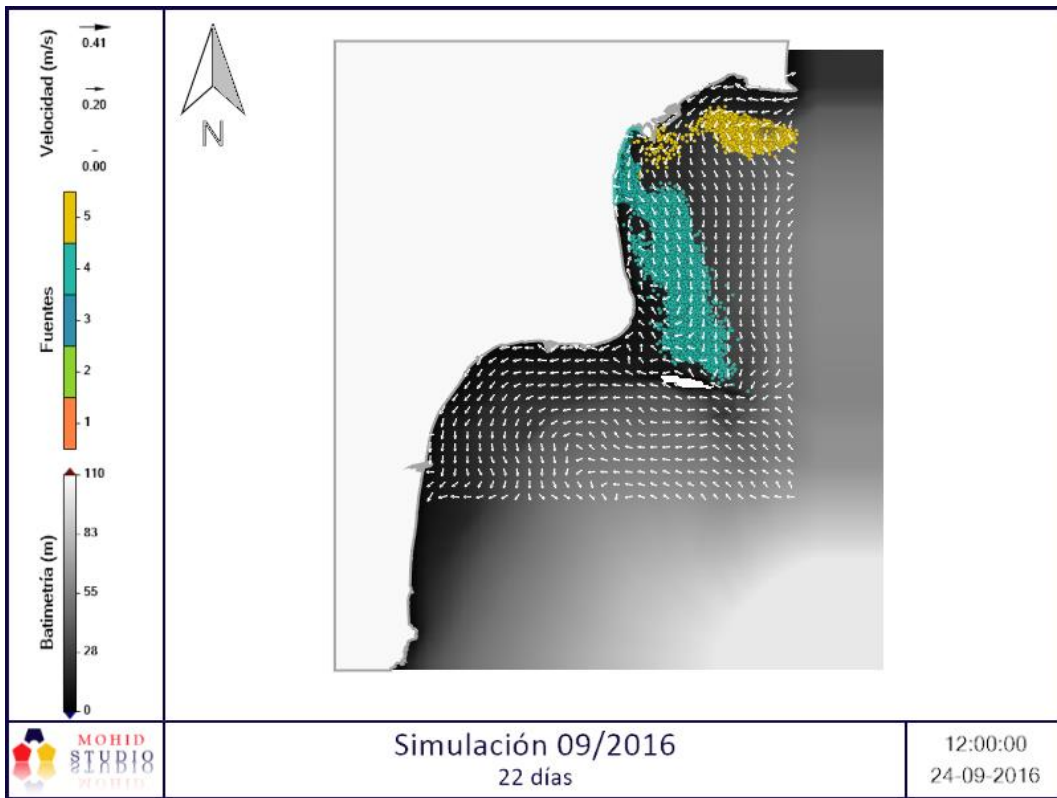


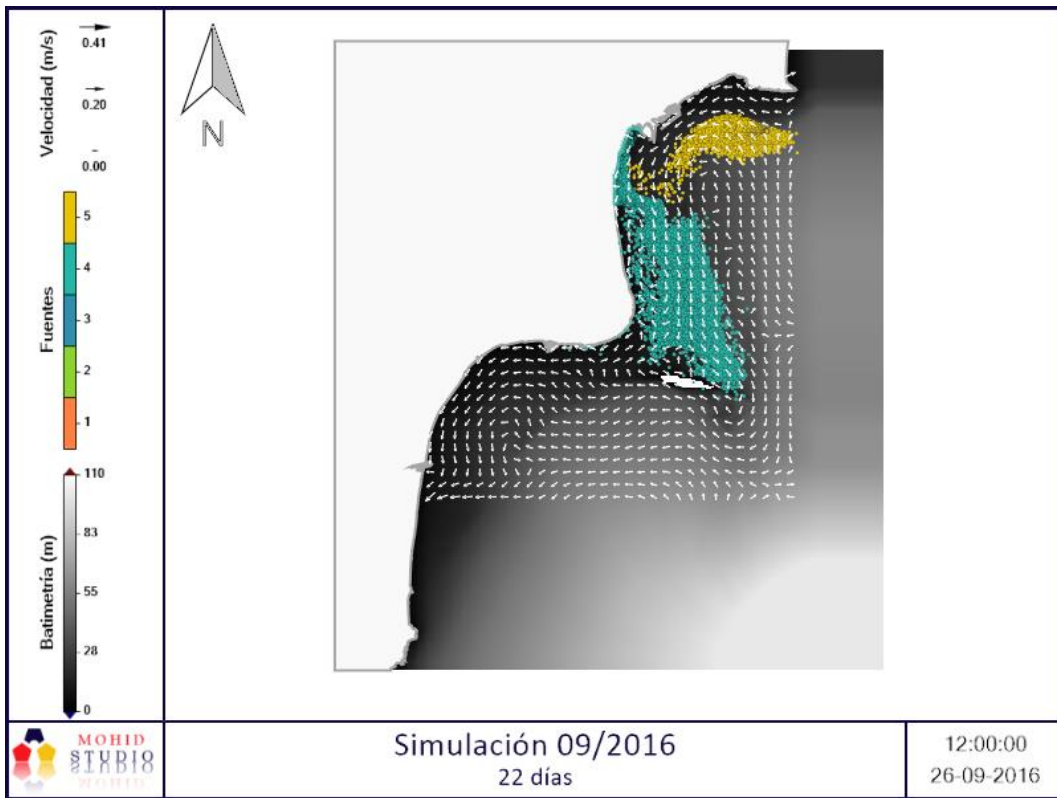




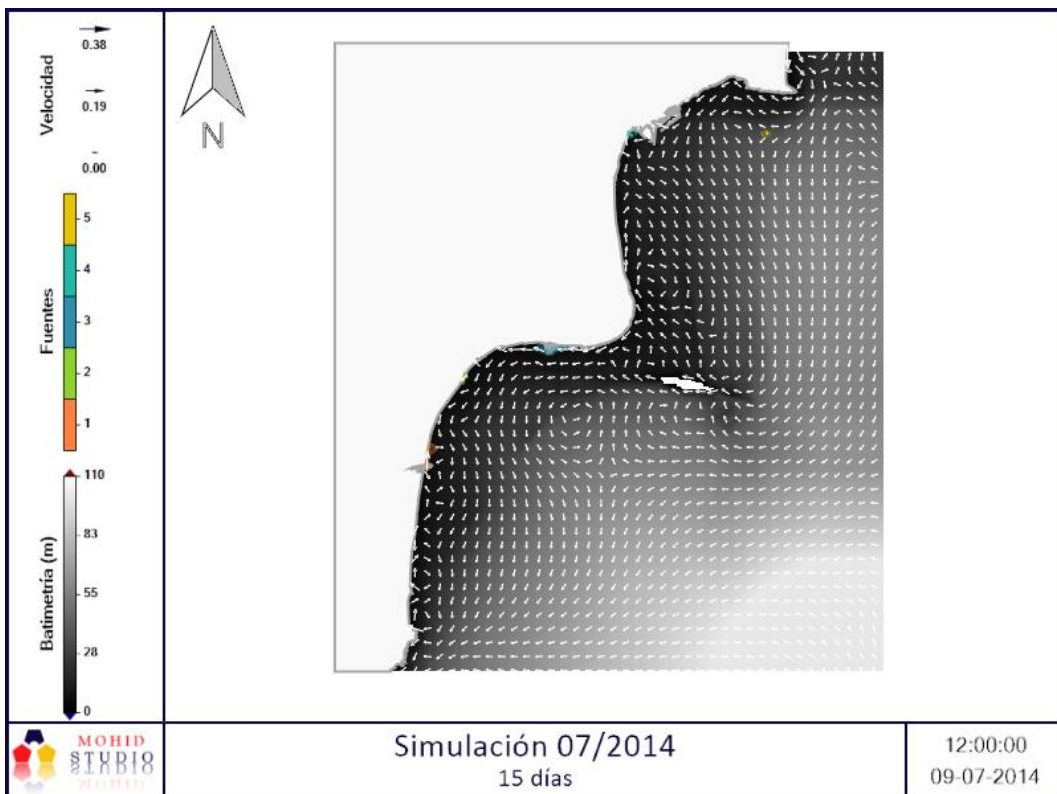
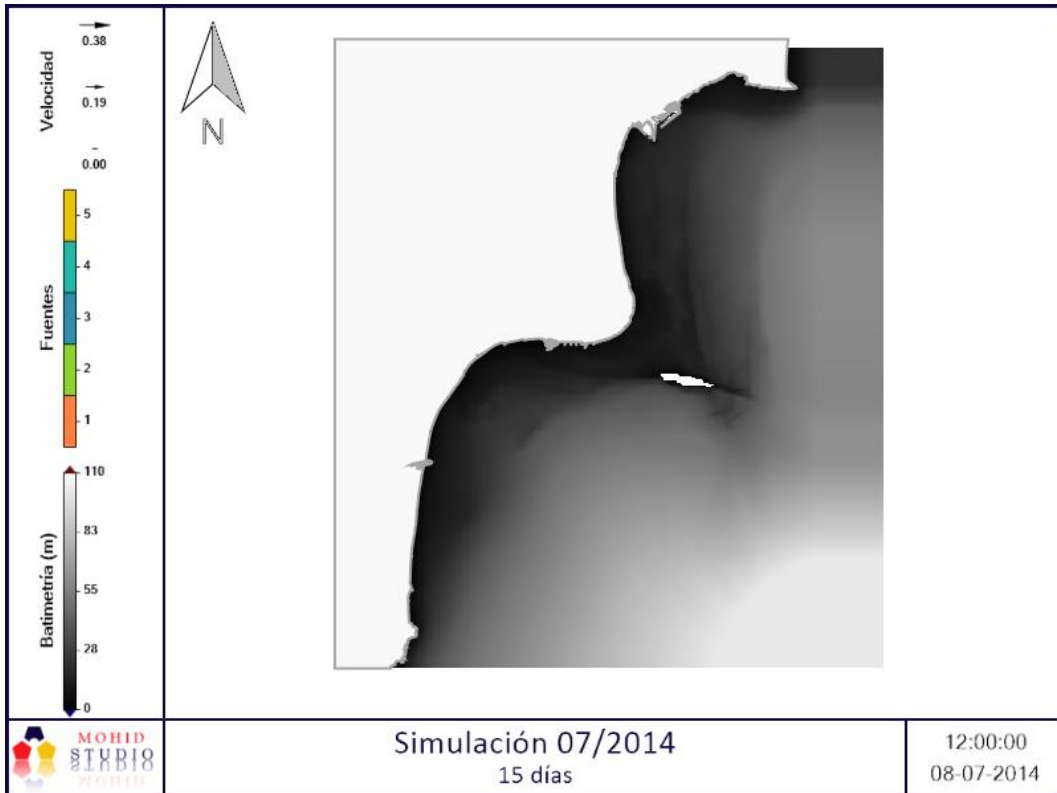


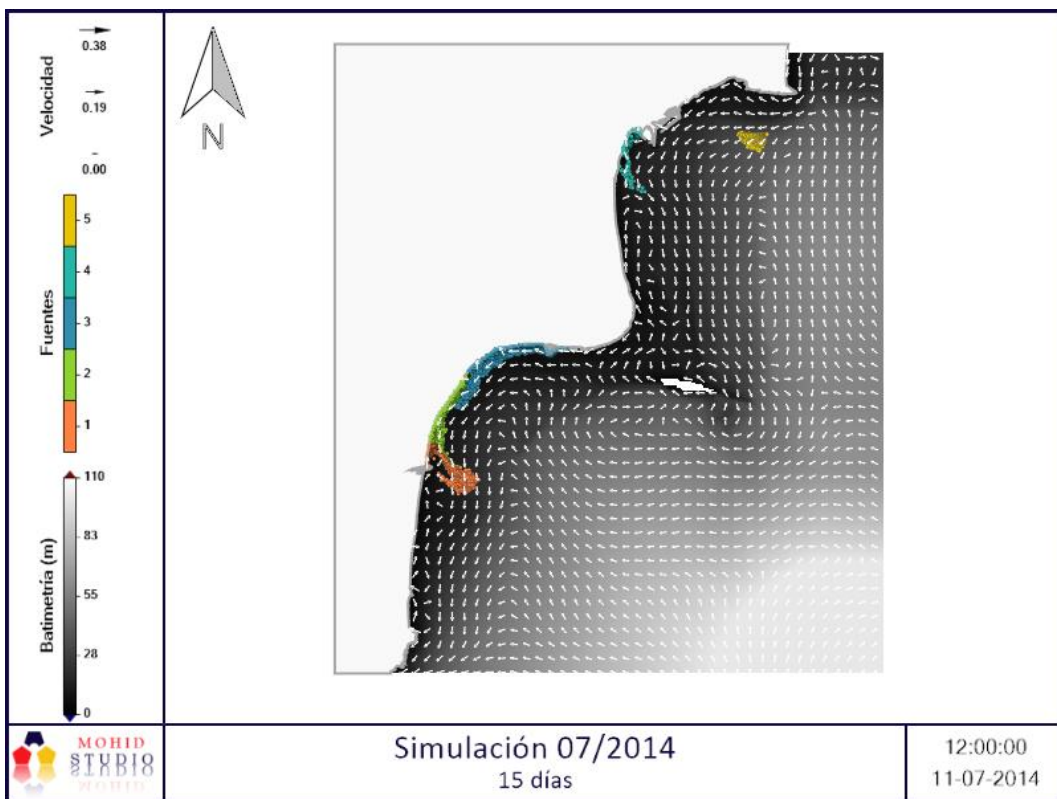
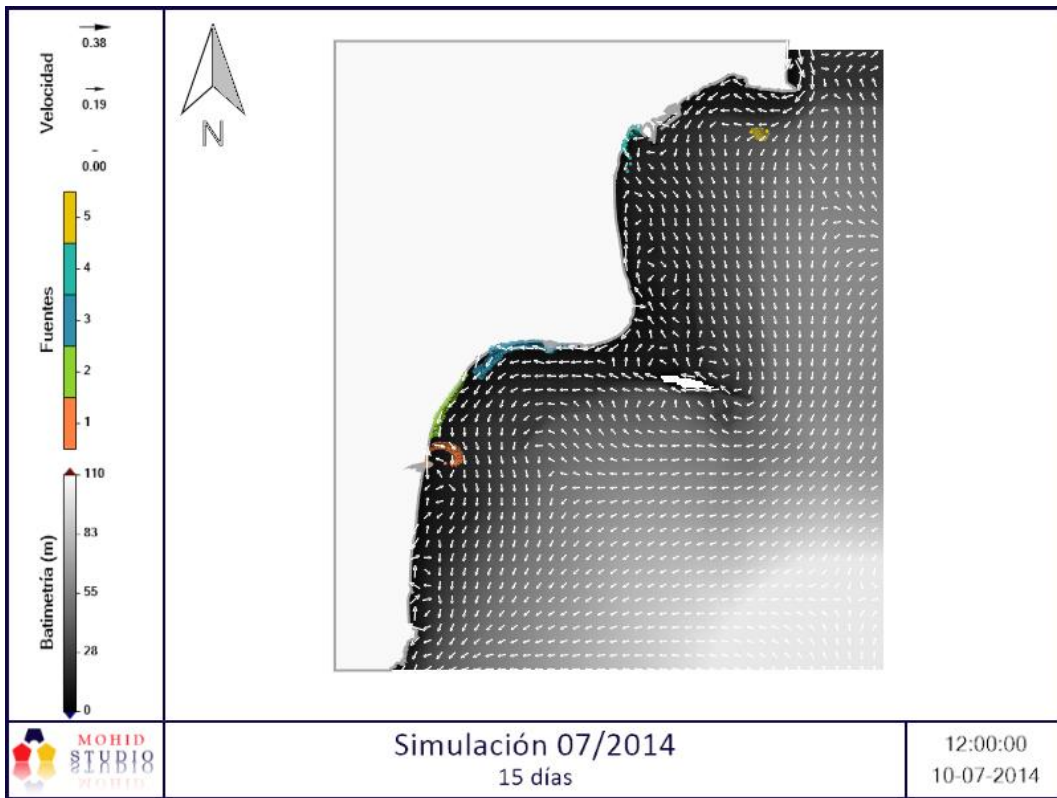


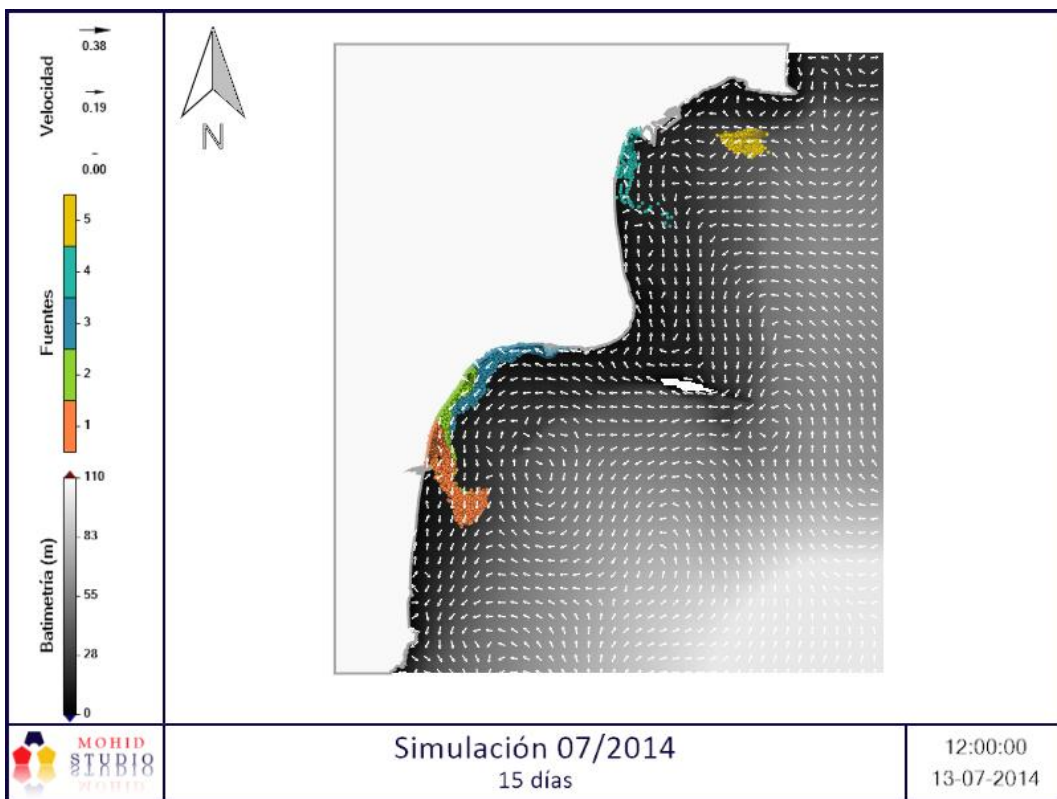
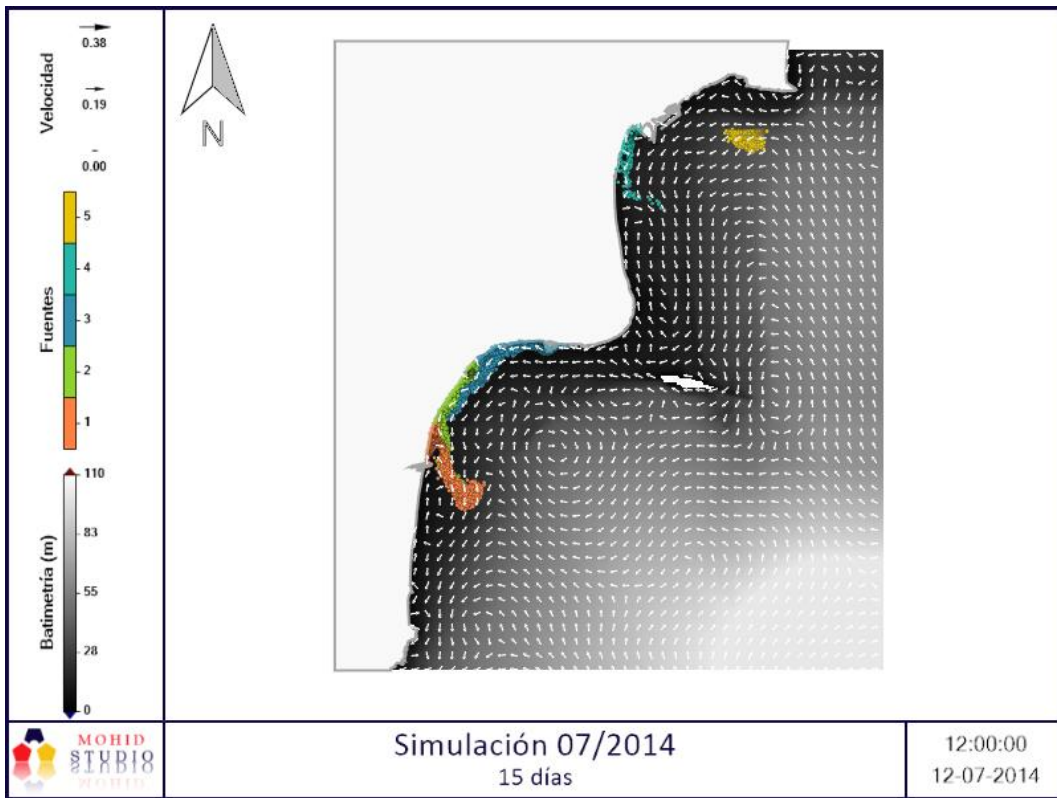


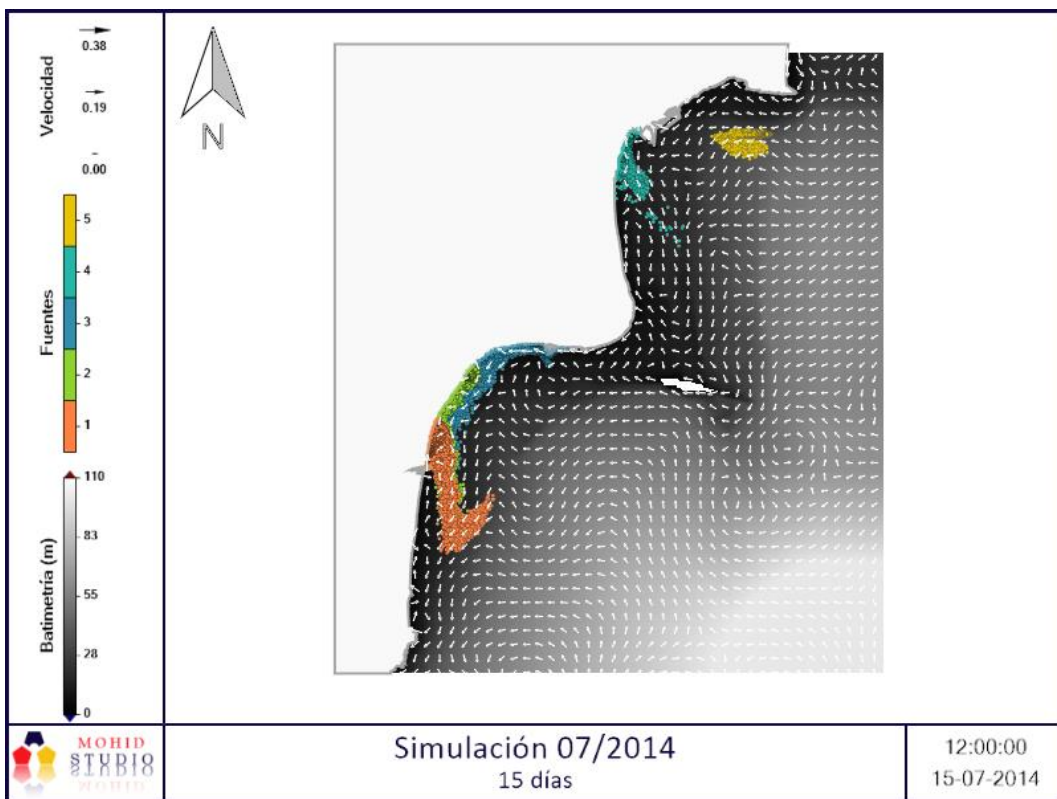
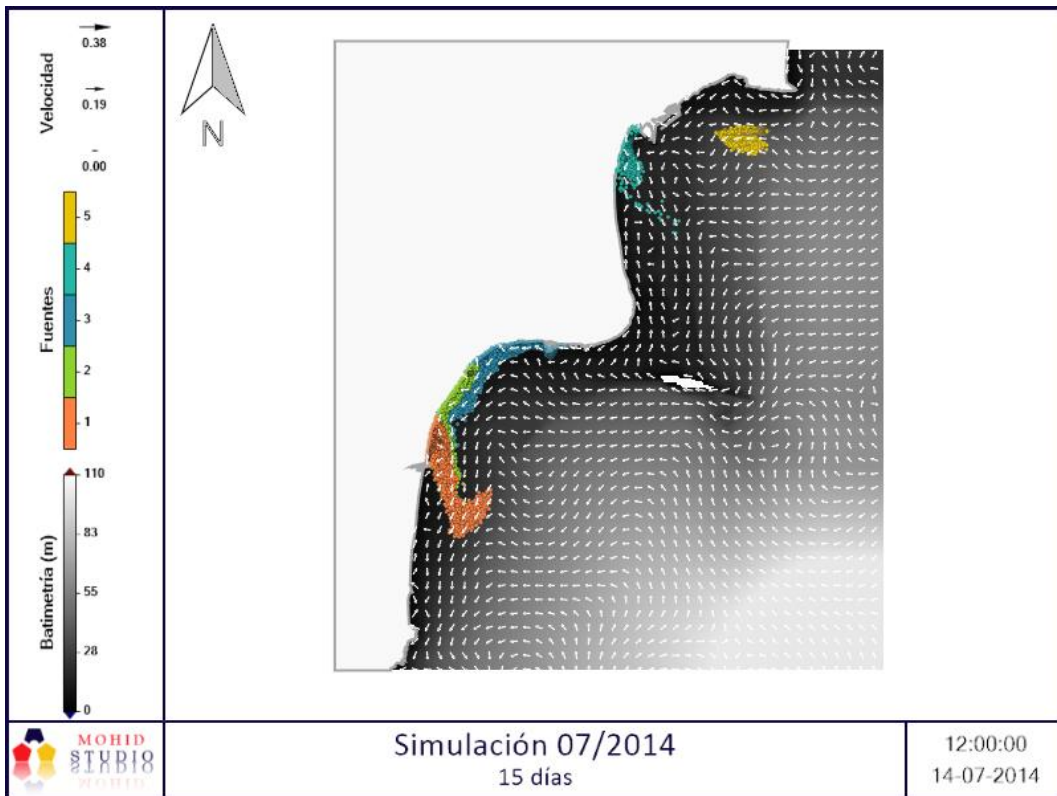


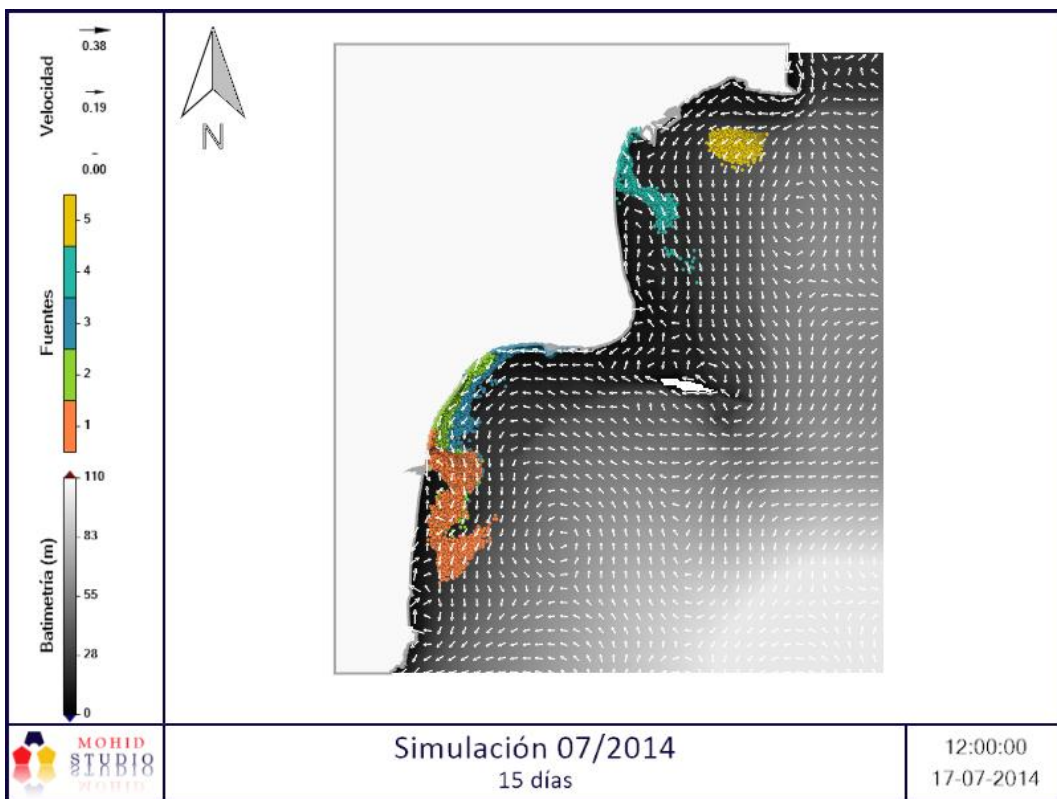
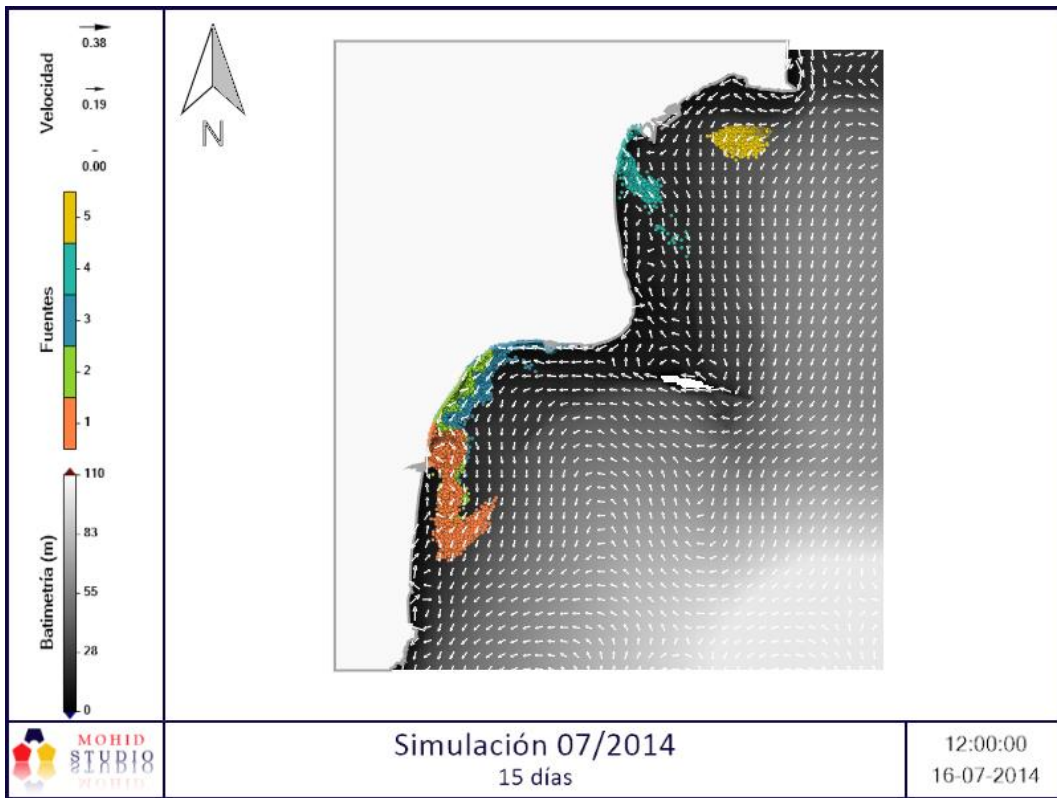
SIMULACIÓN 3. 07/2014 – 15 días

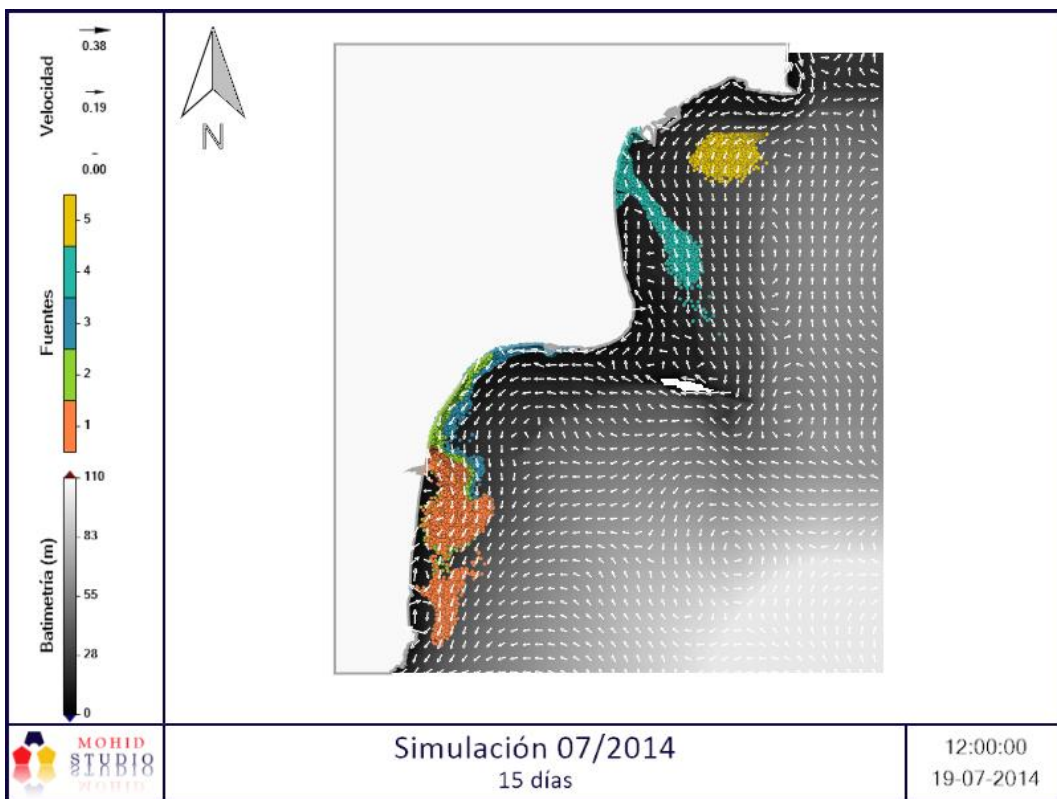
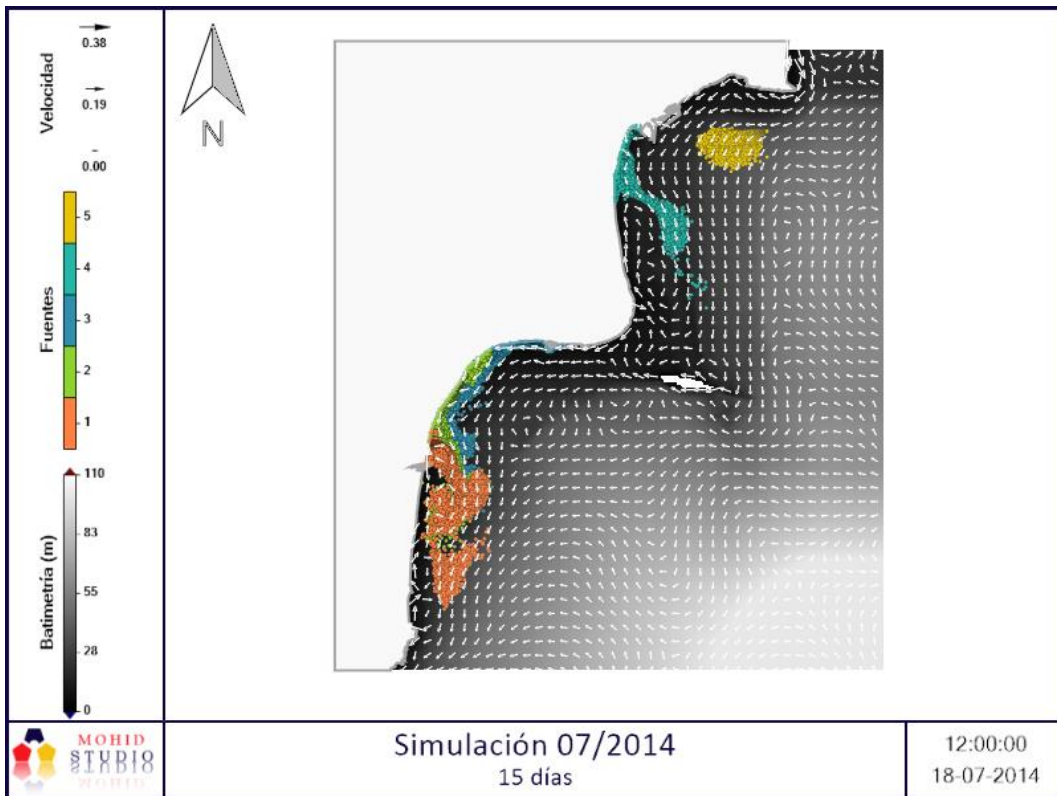


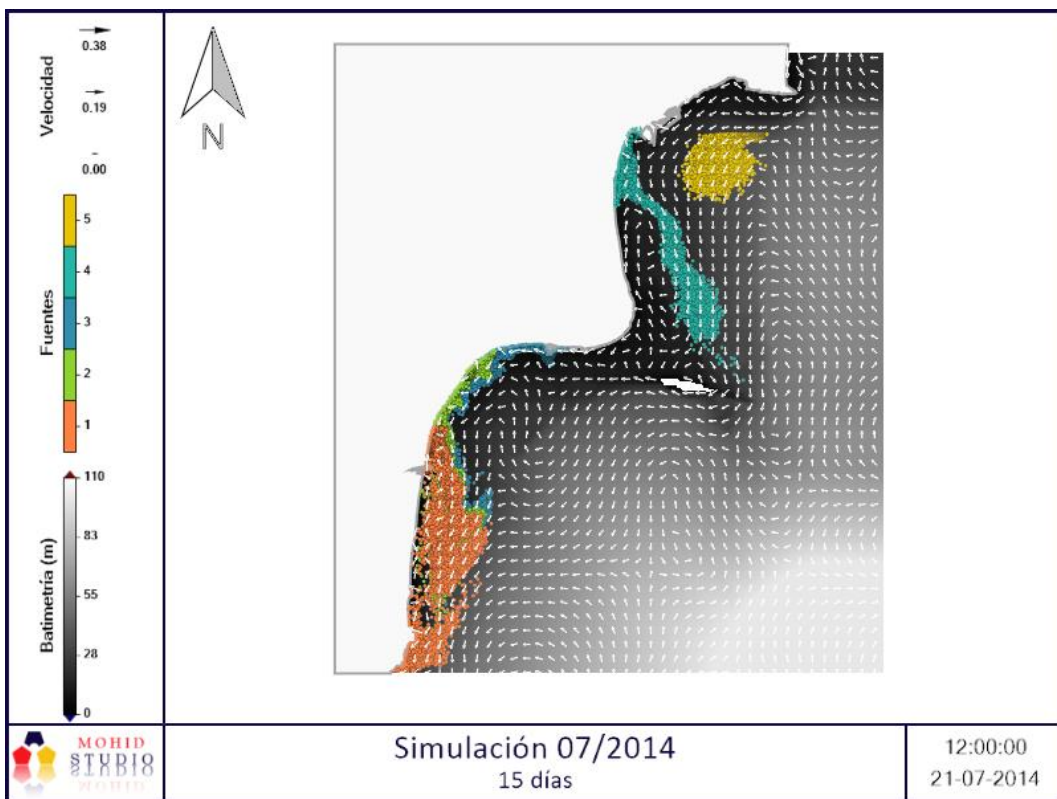
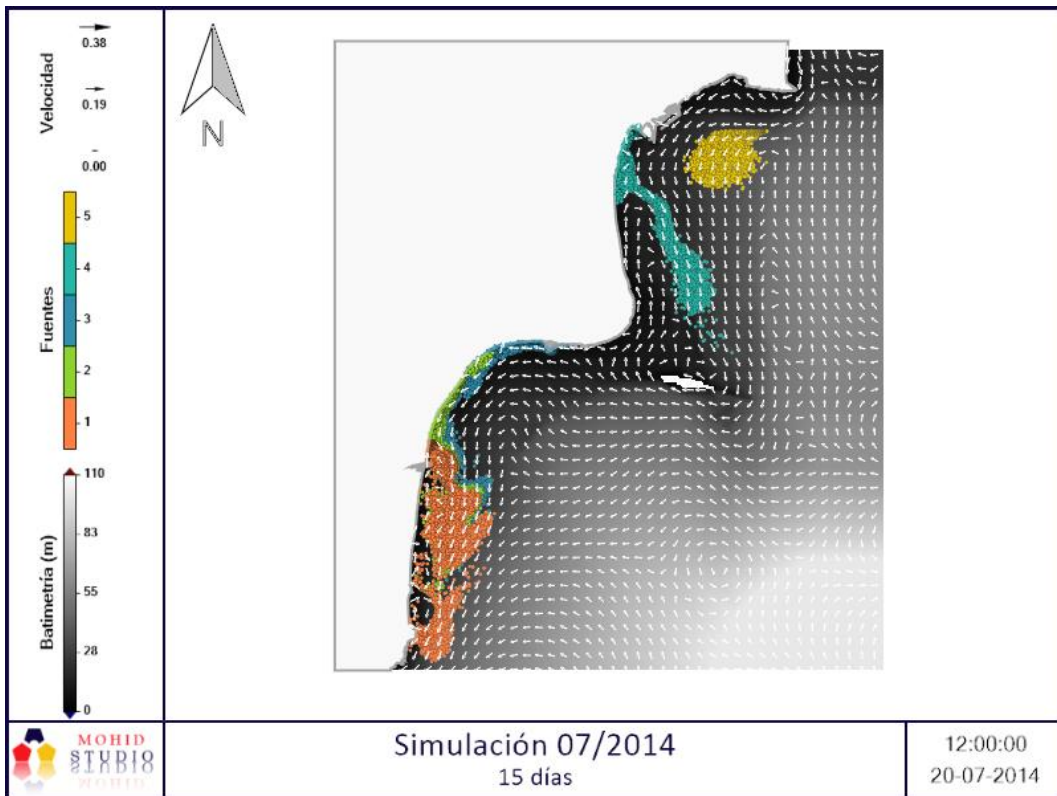


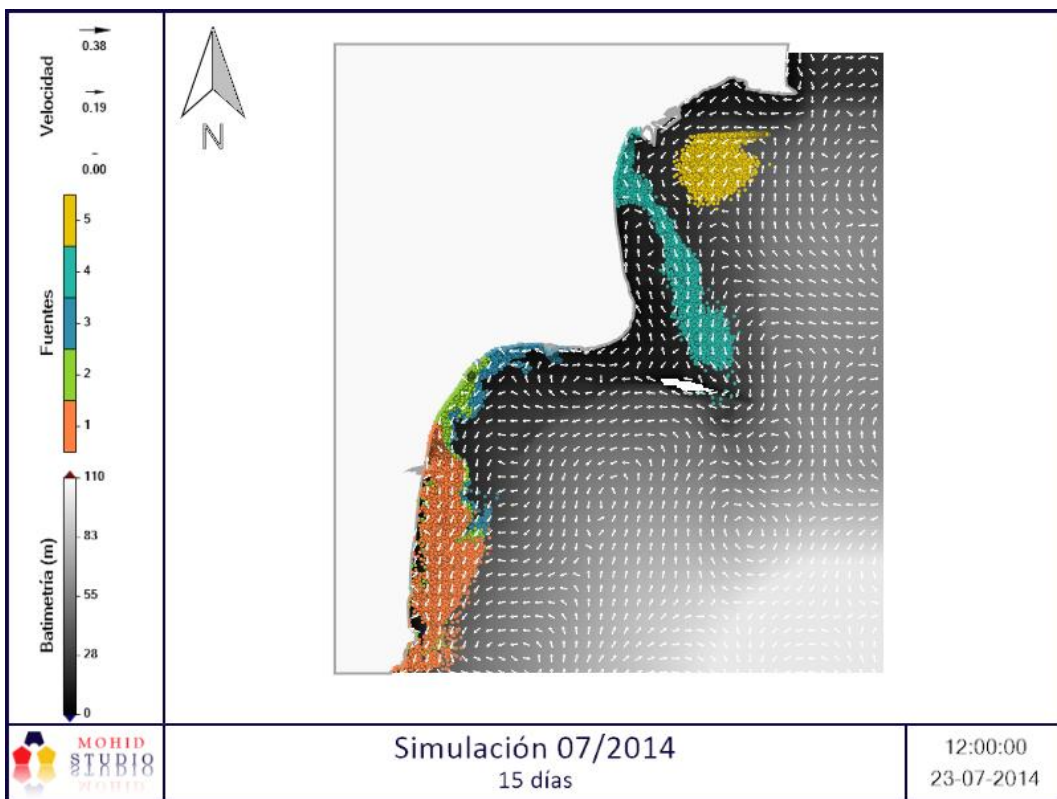
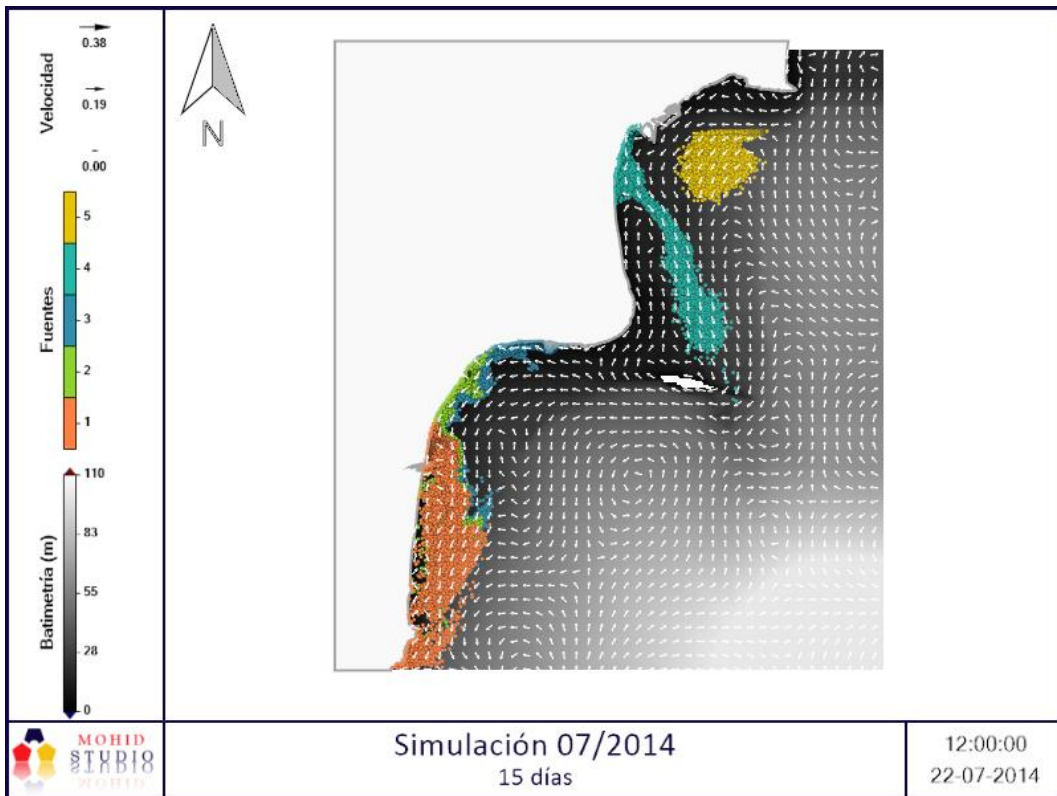




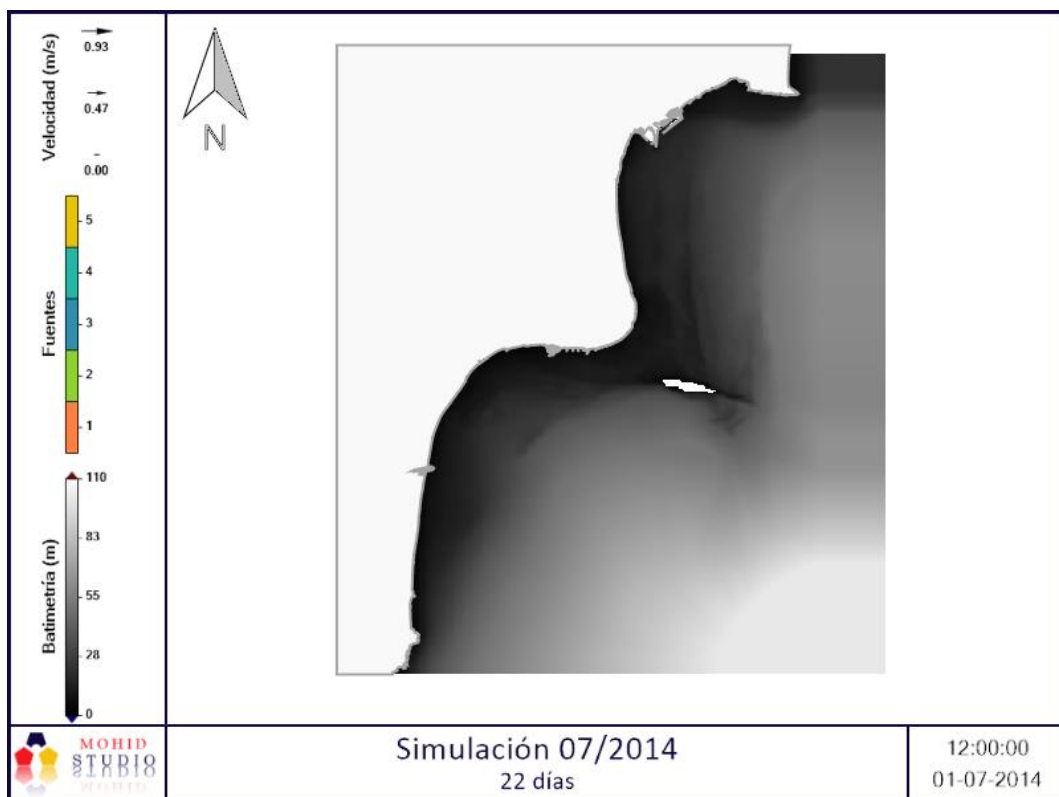
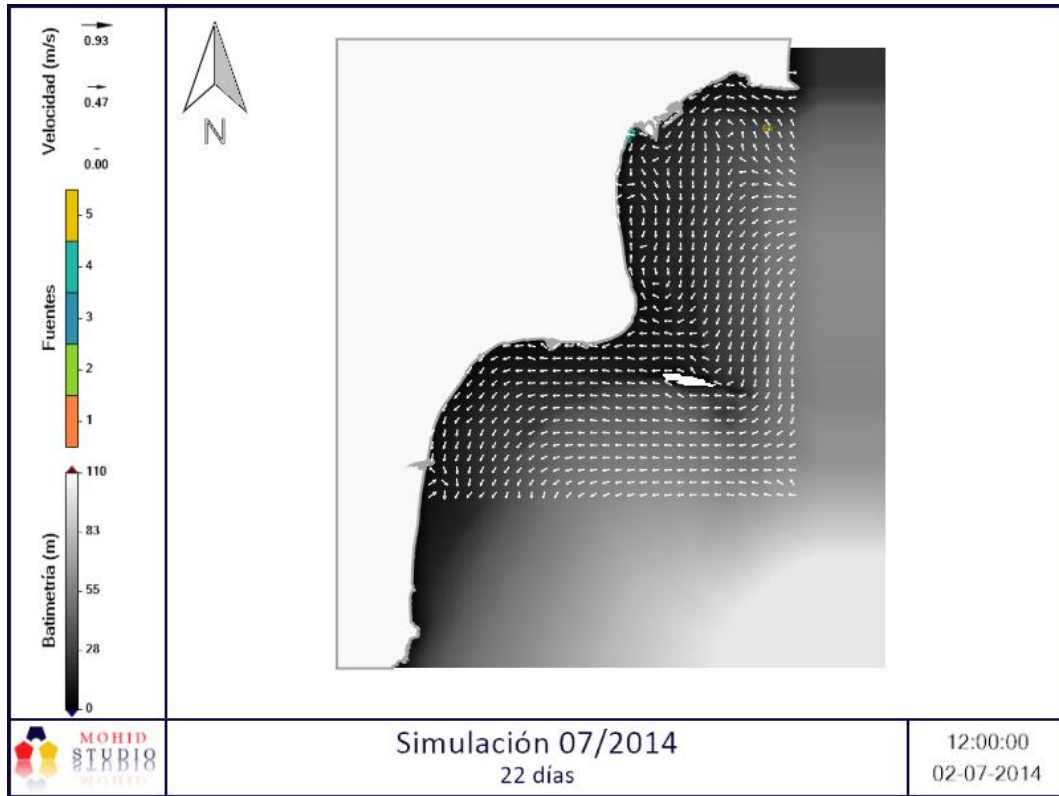


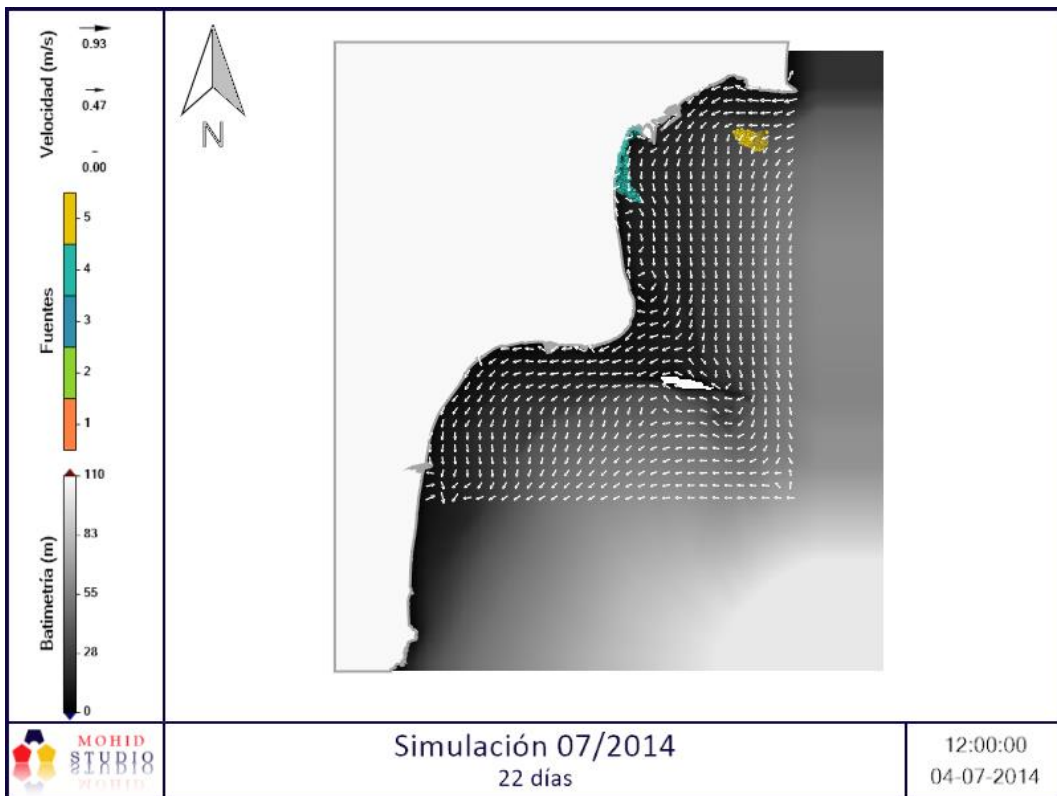
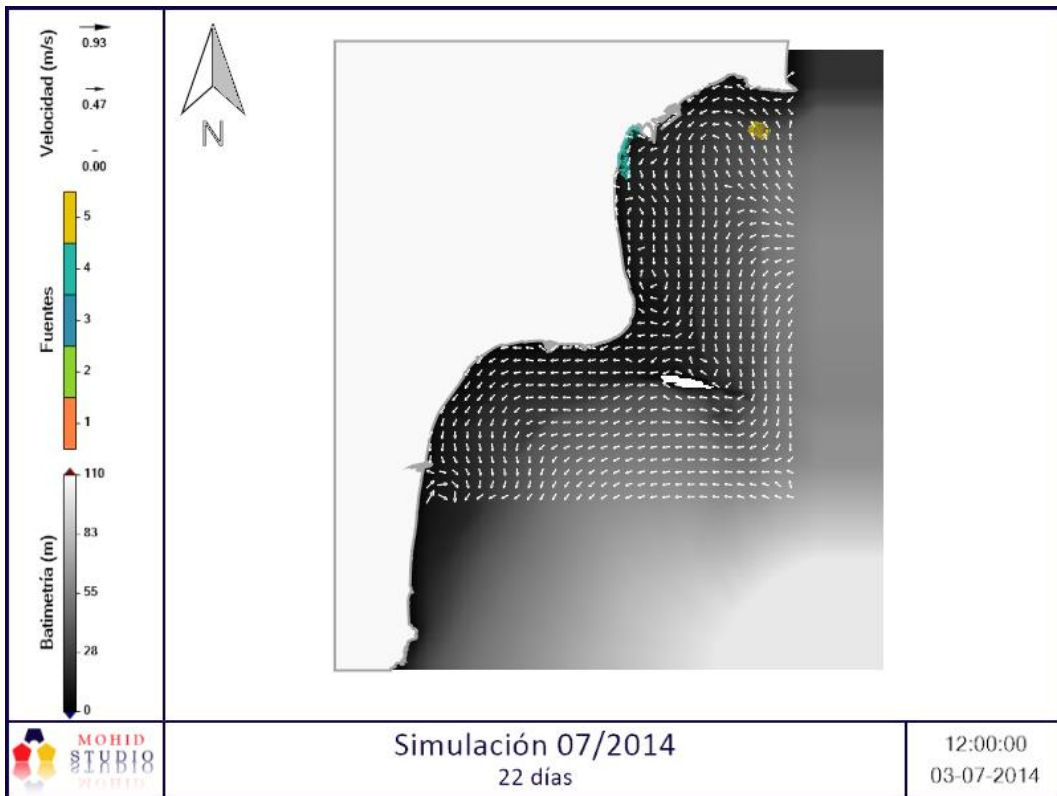


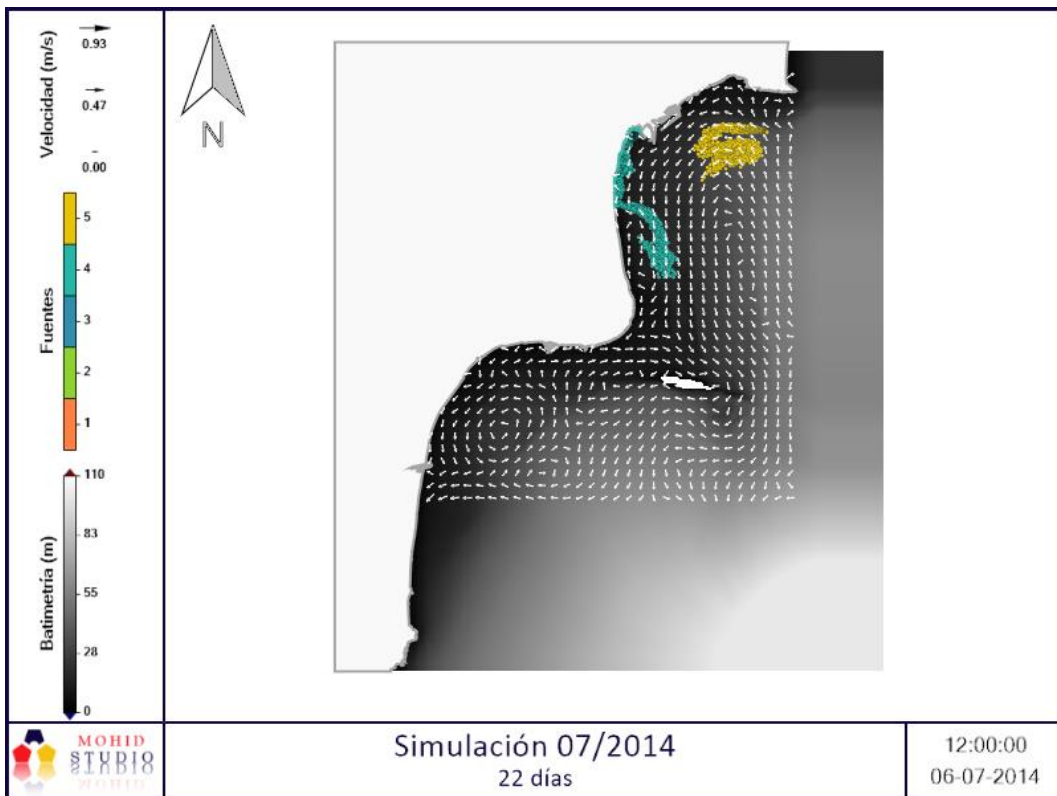
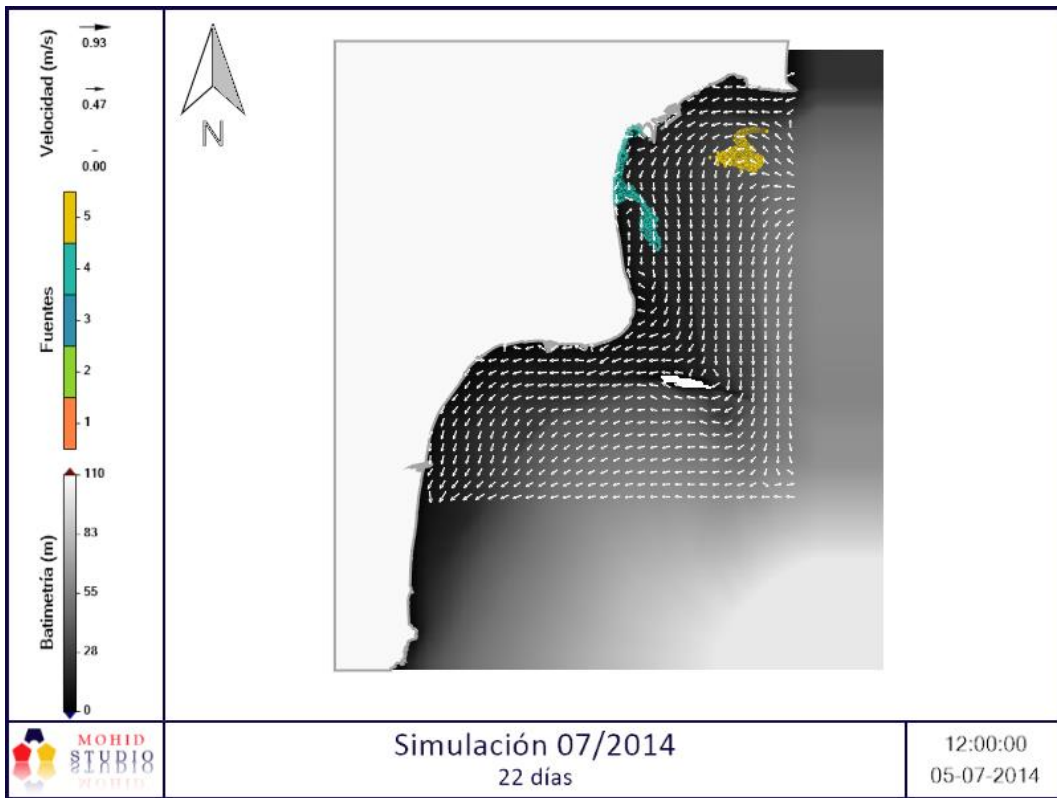


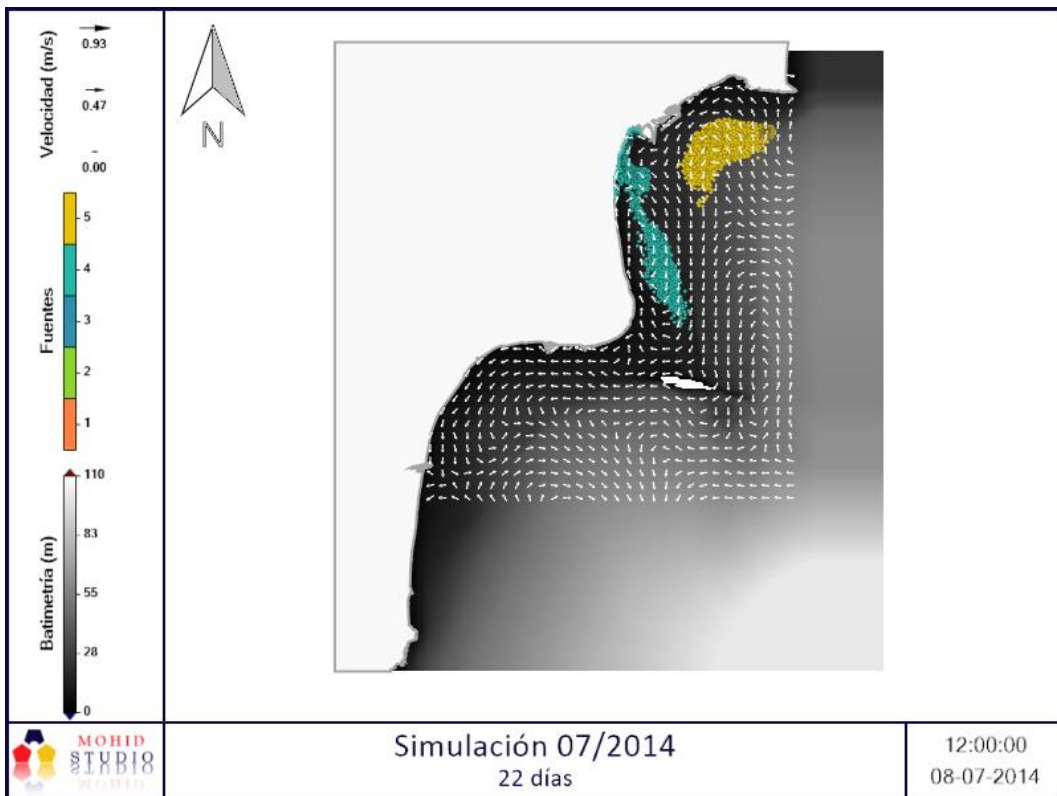
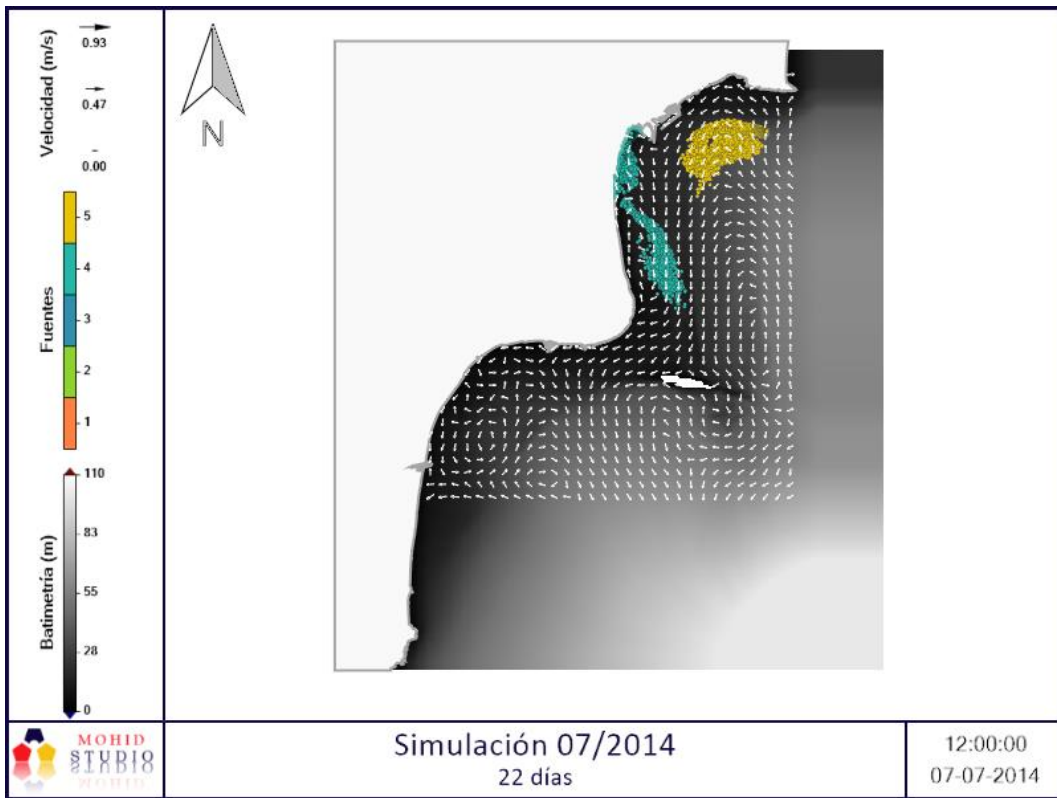


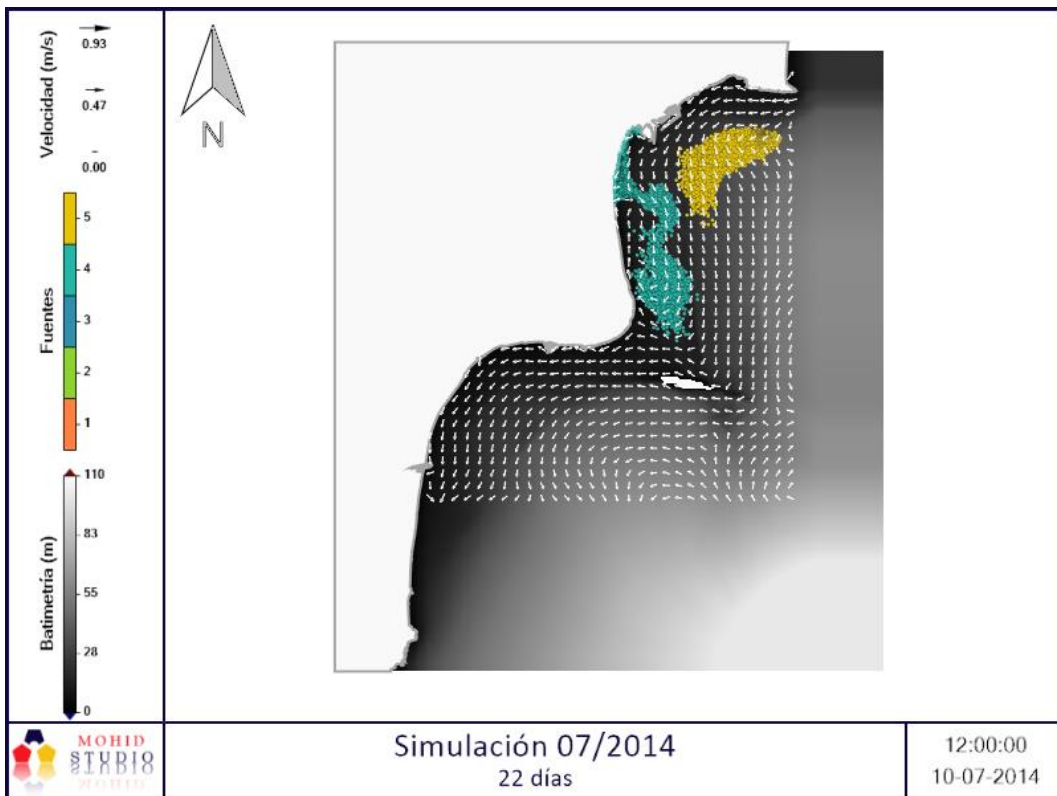
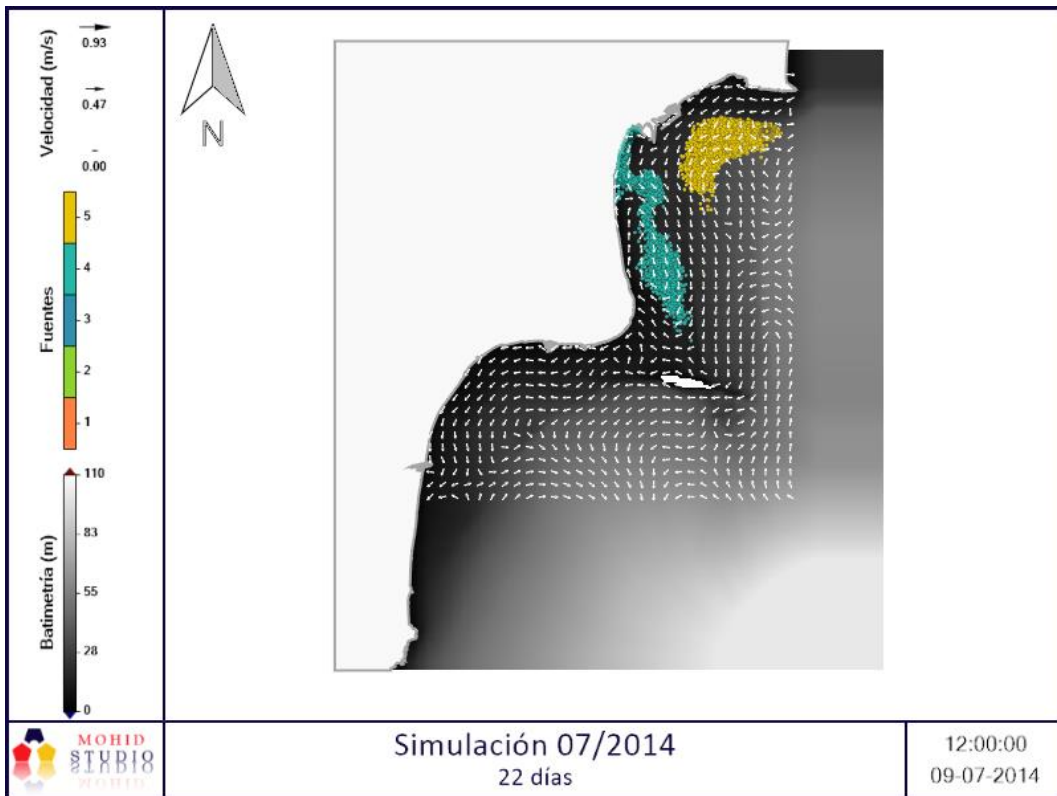
SIMULACIÓN 4. 07/2014 – 22 días

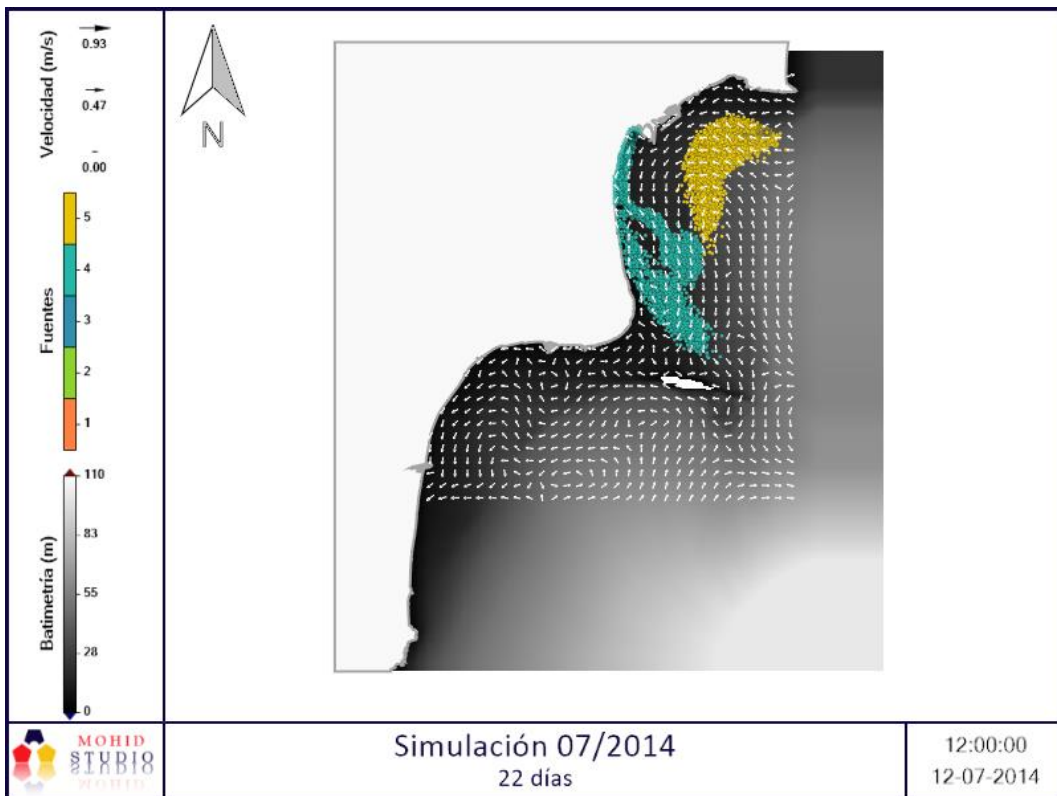
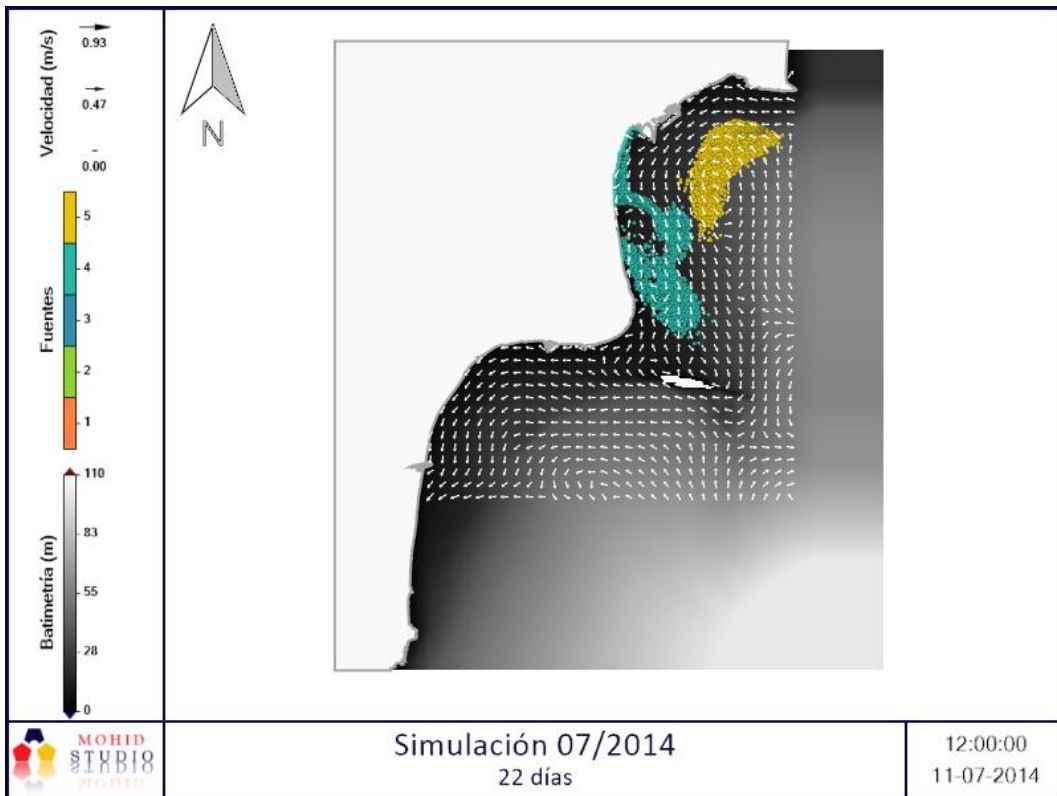


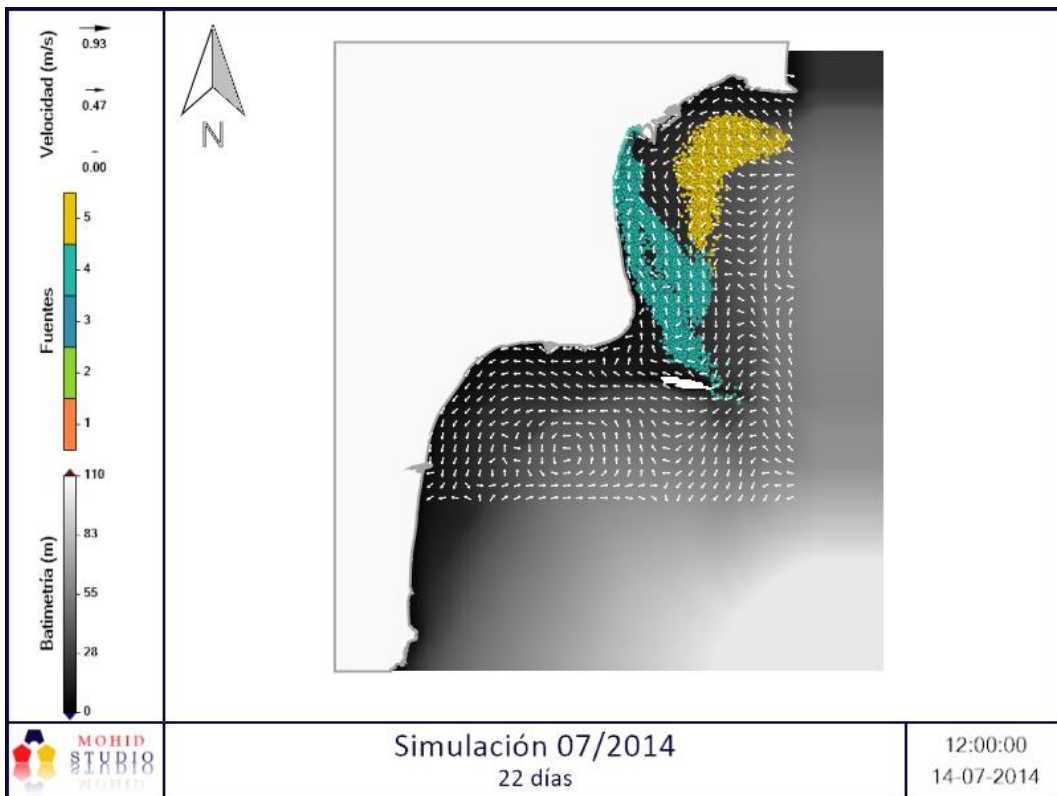
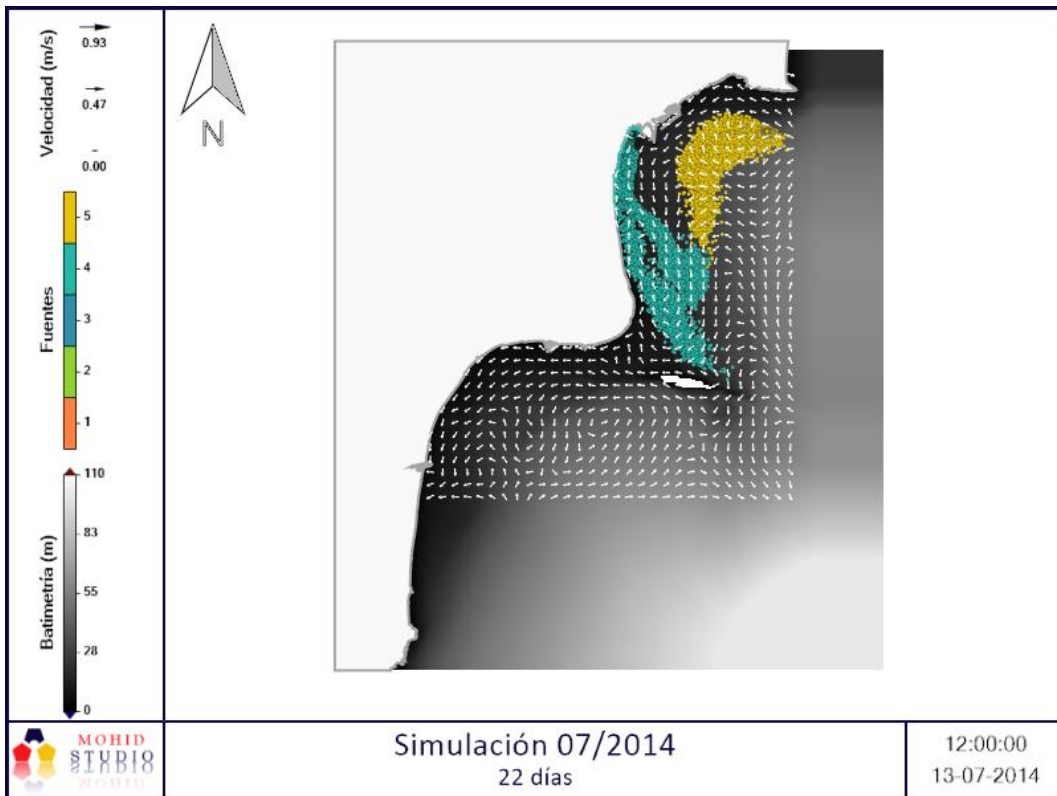


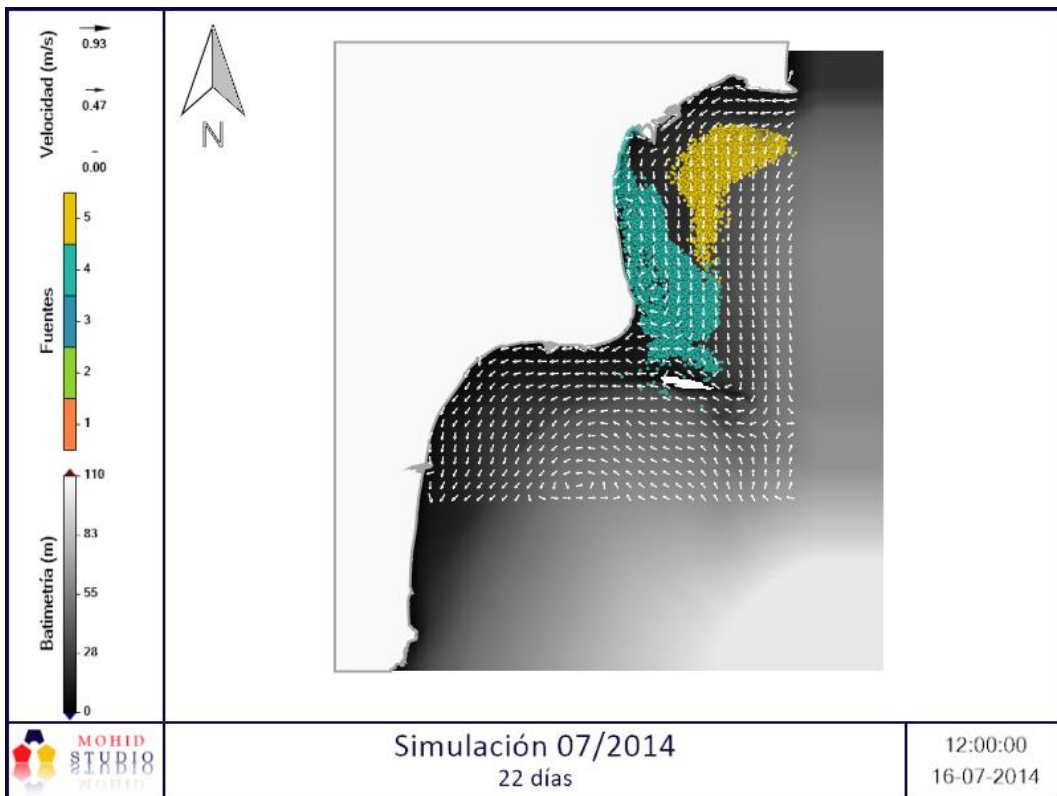
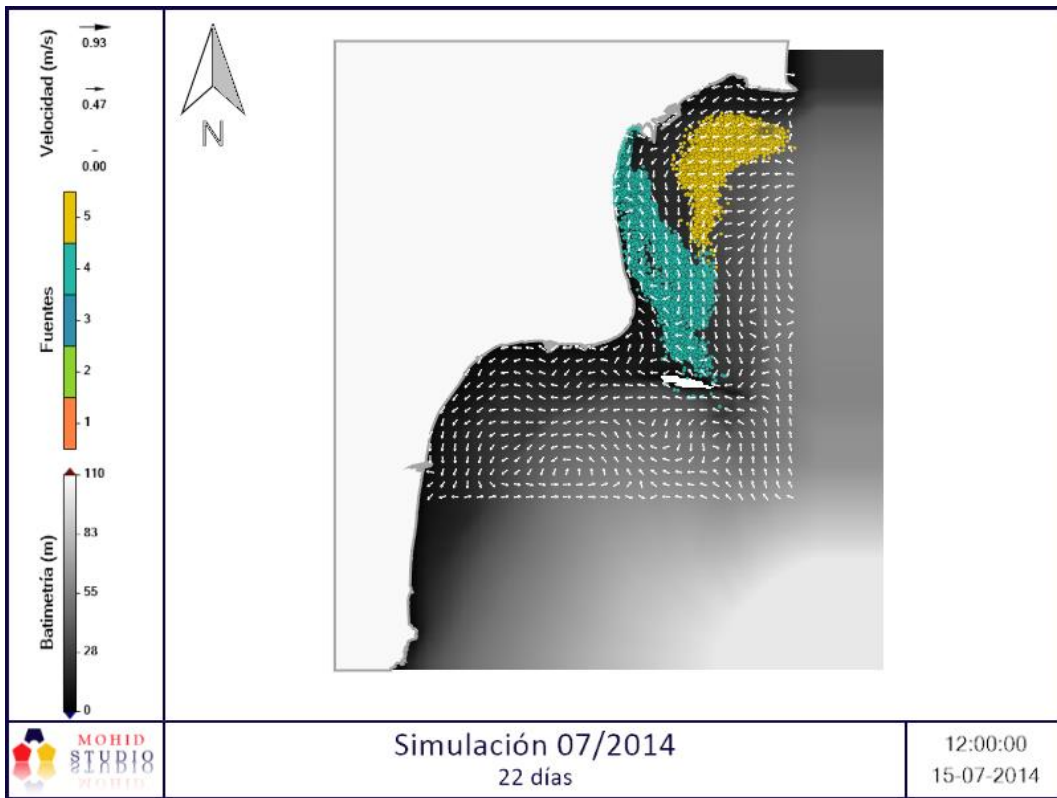


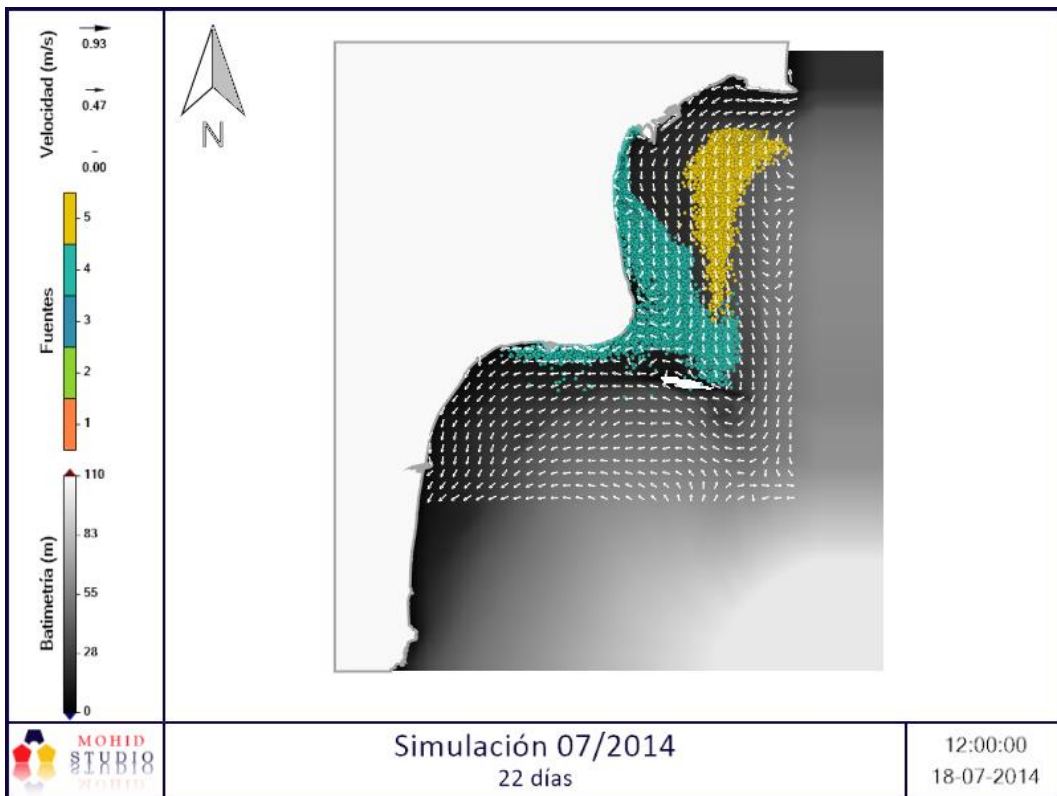
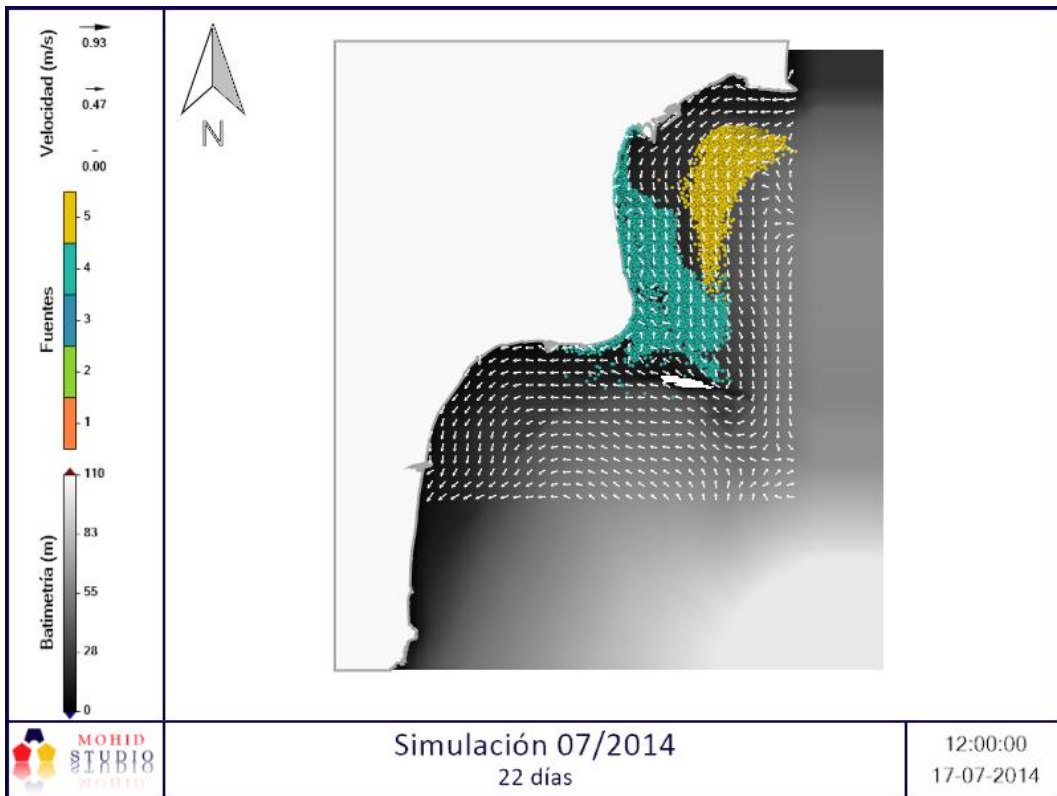


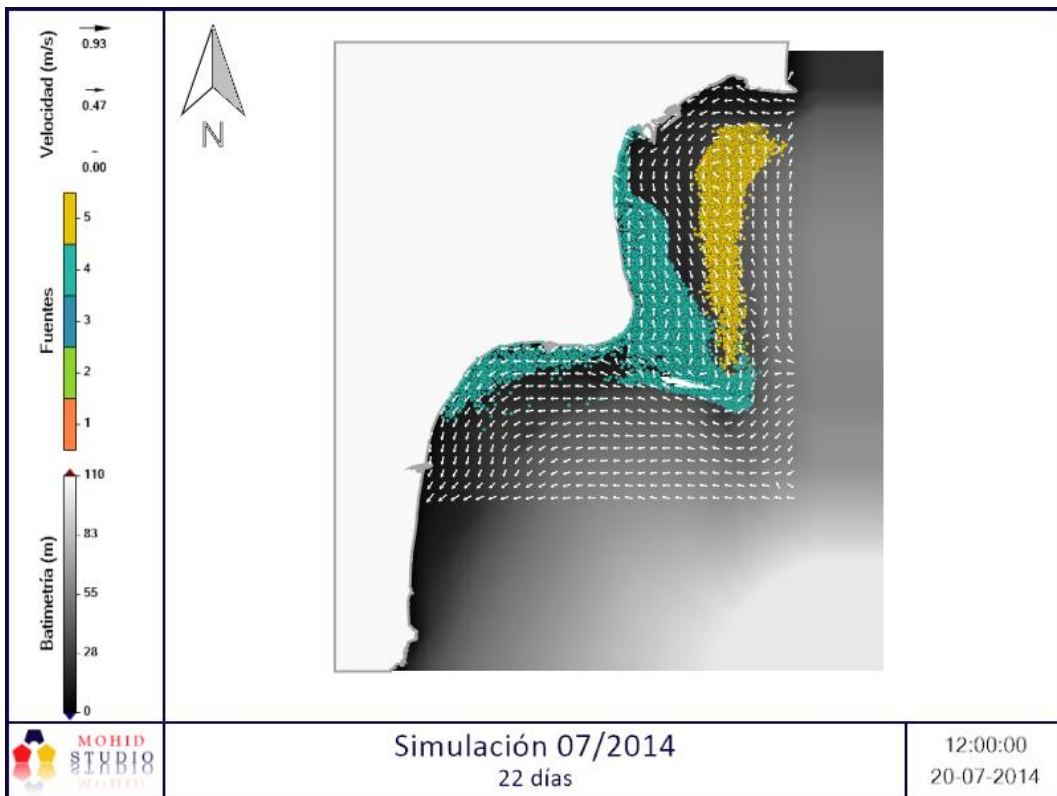
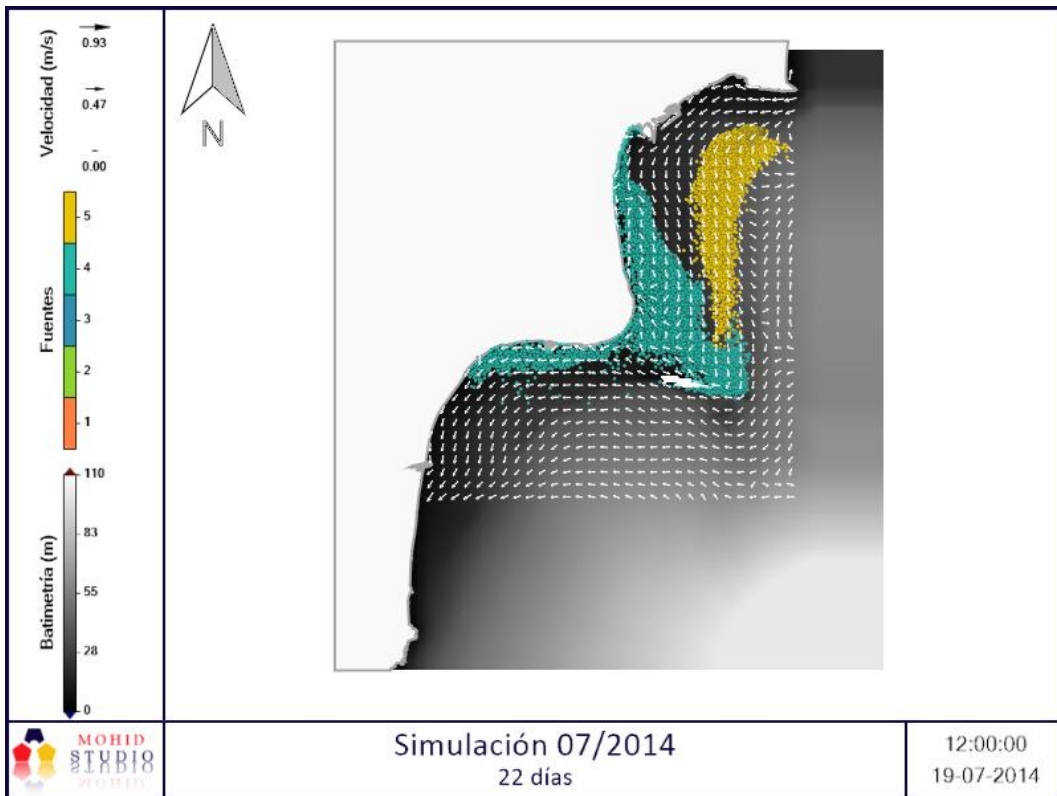


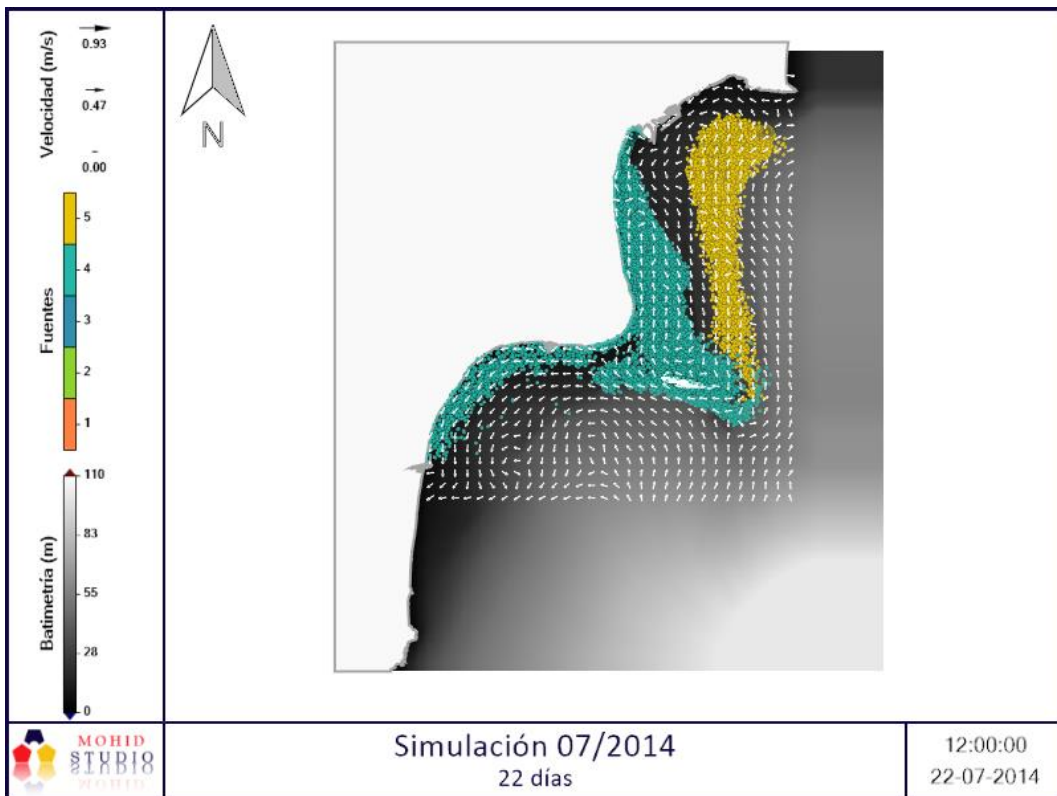
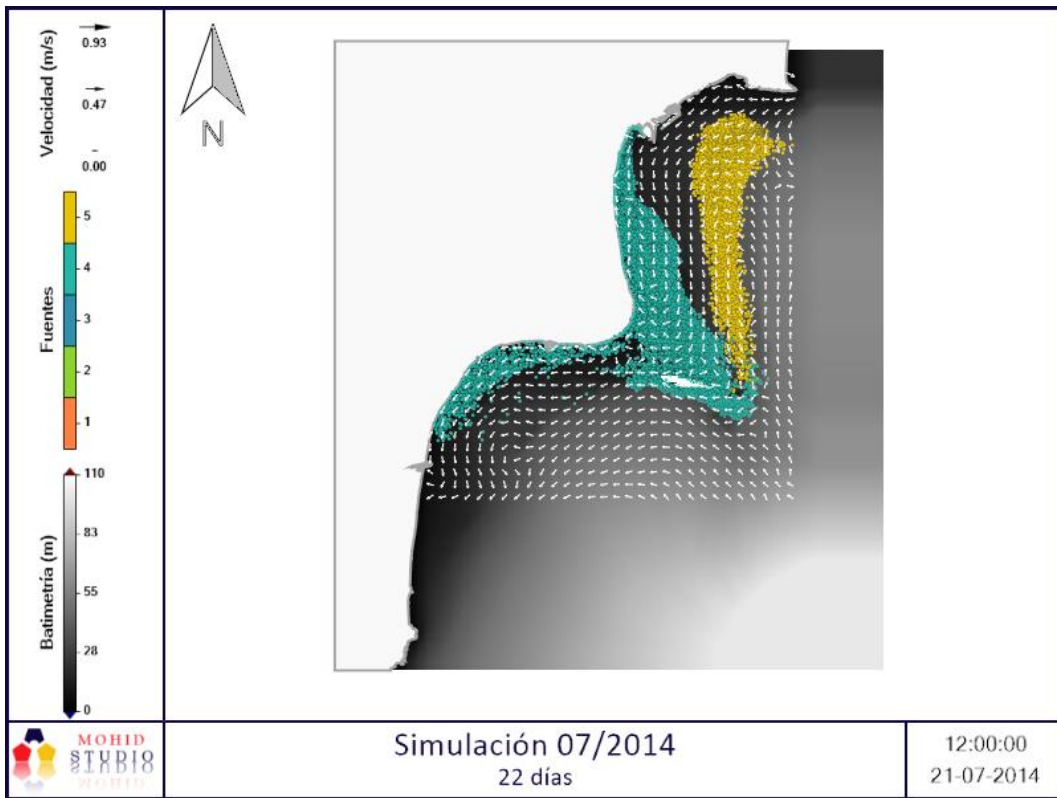


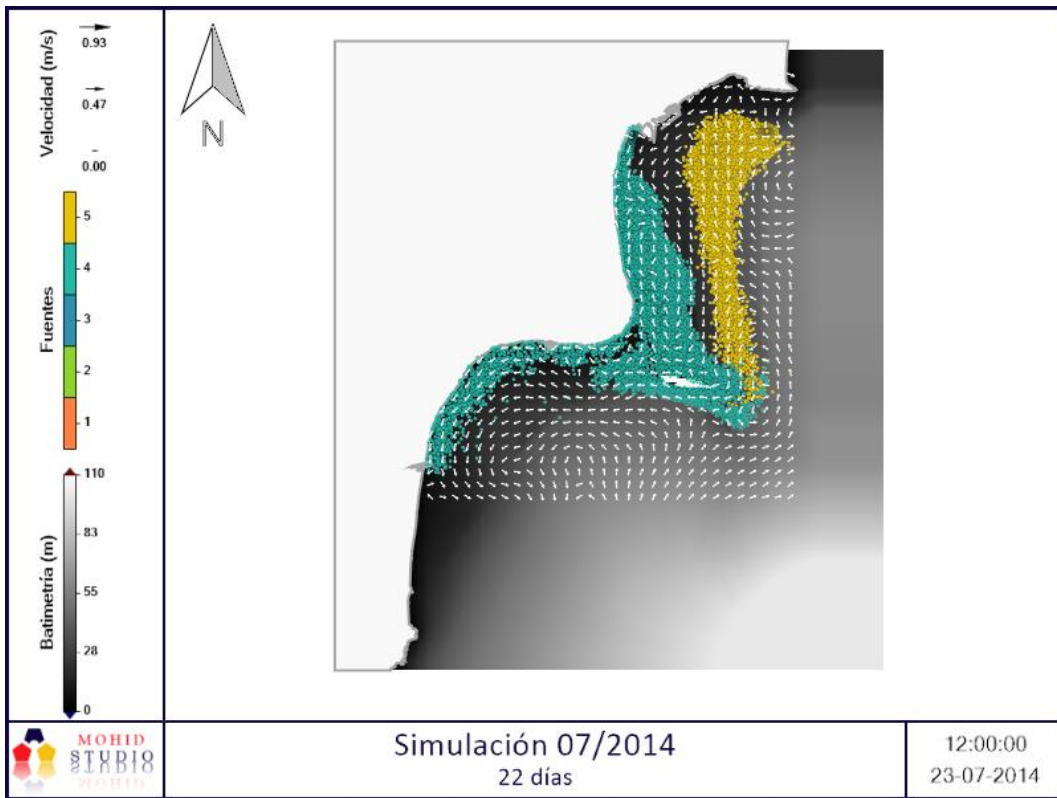




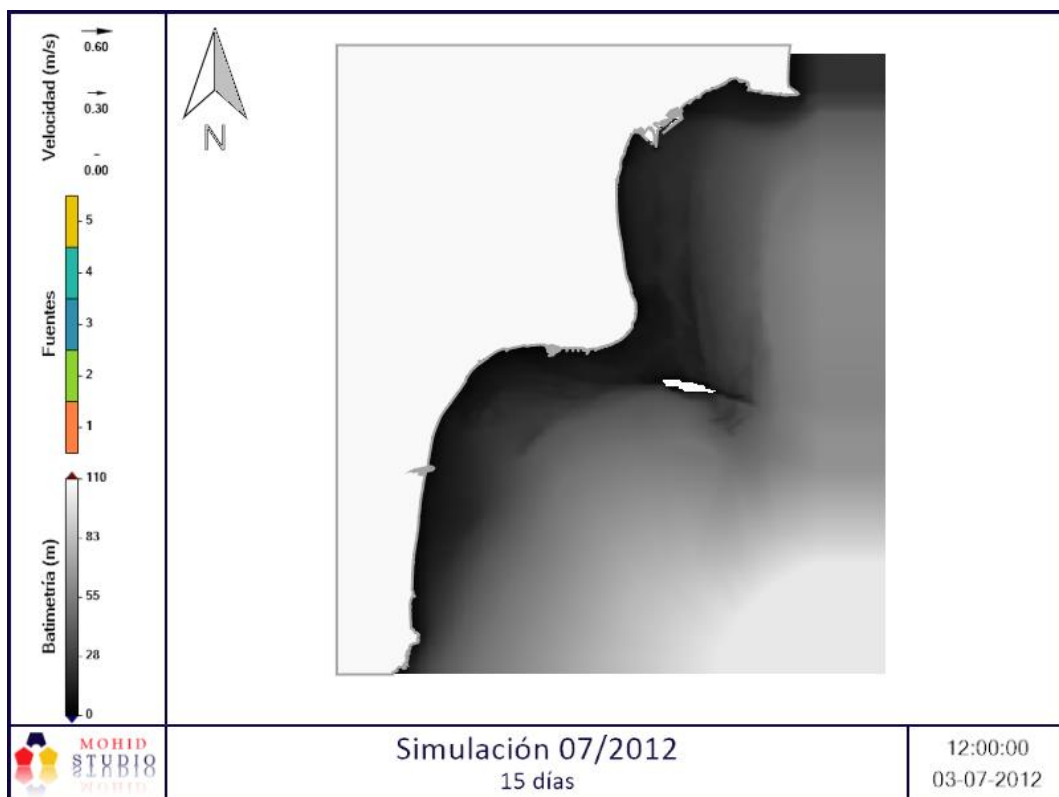
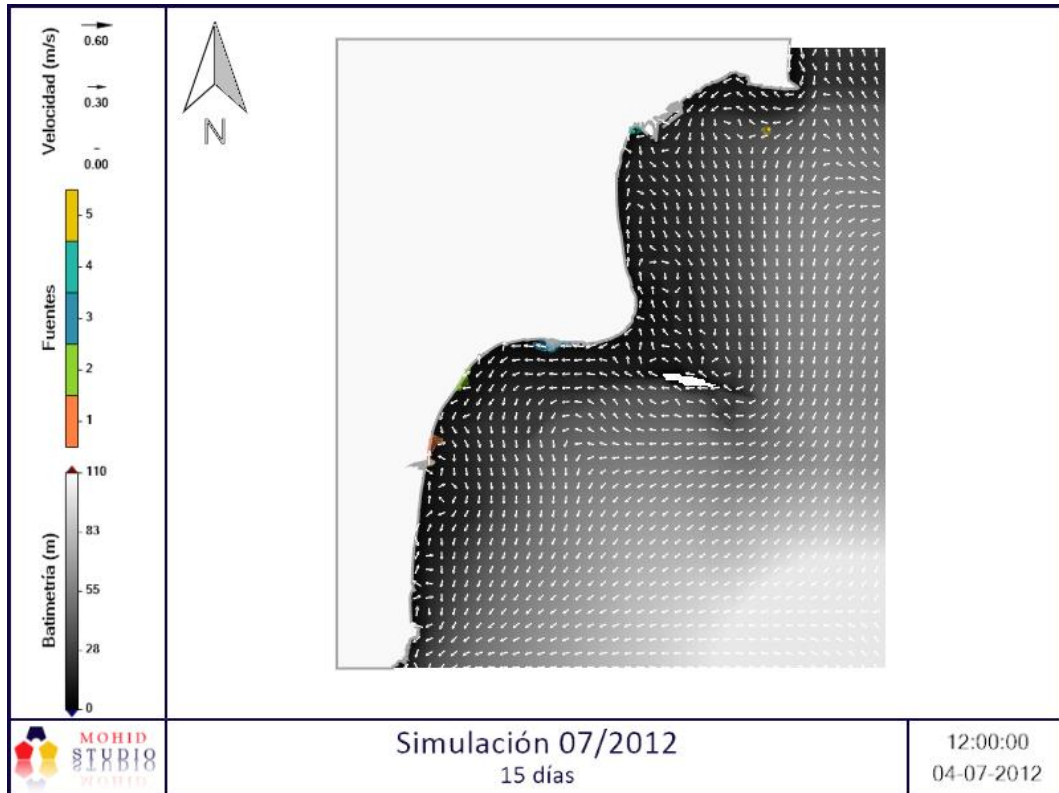


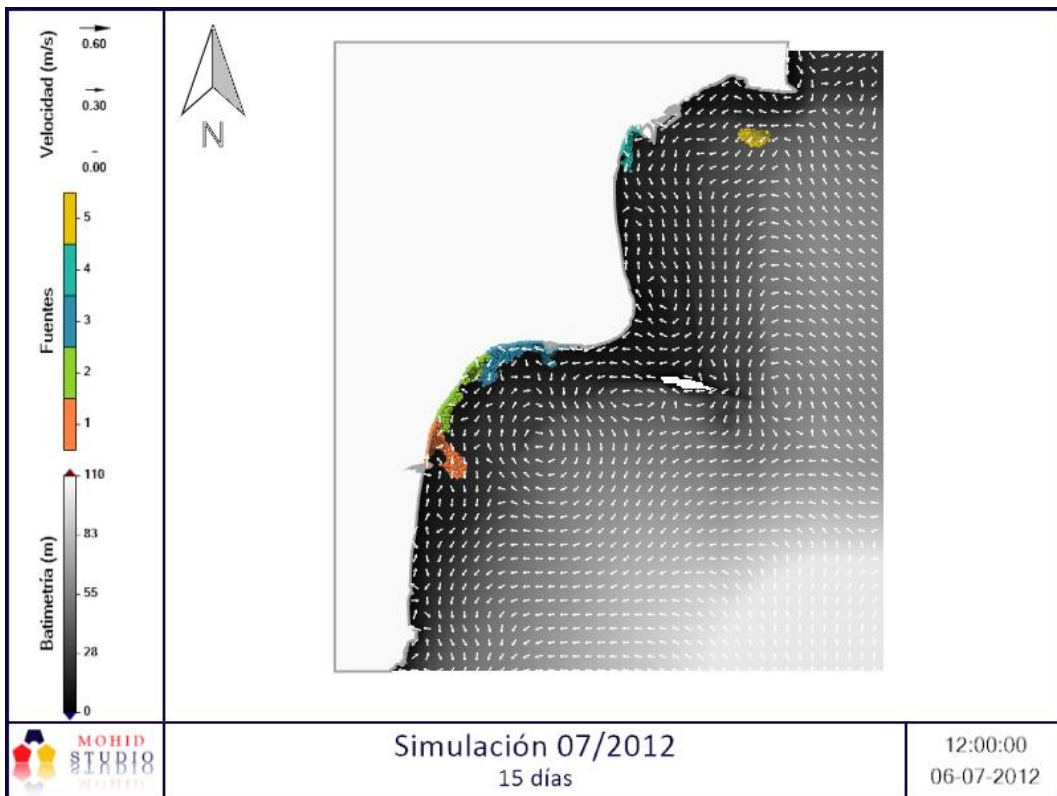
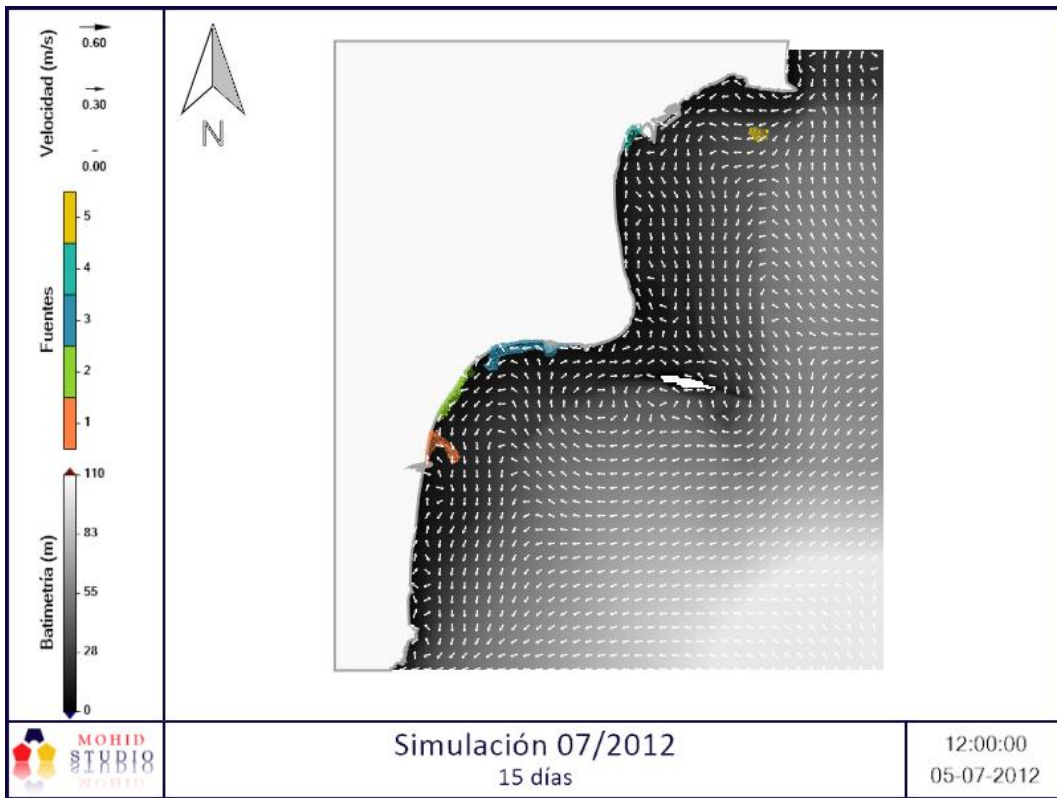


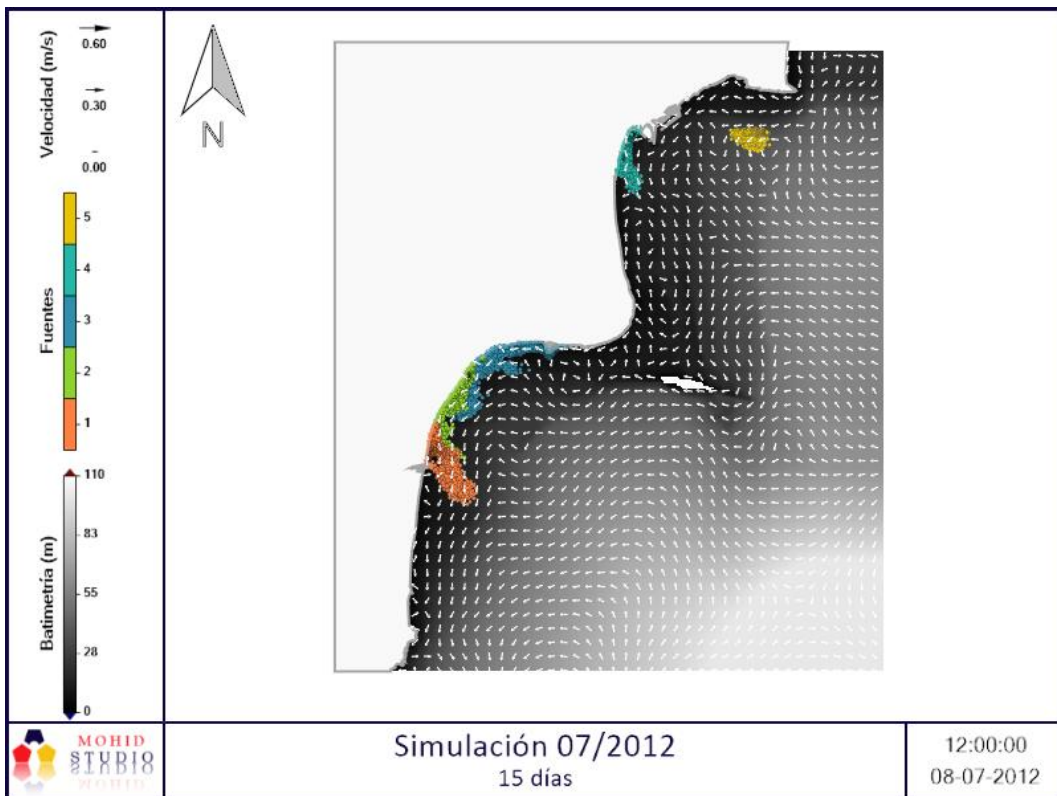
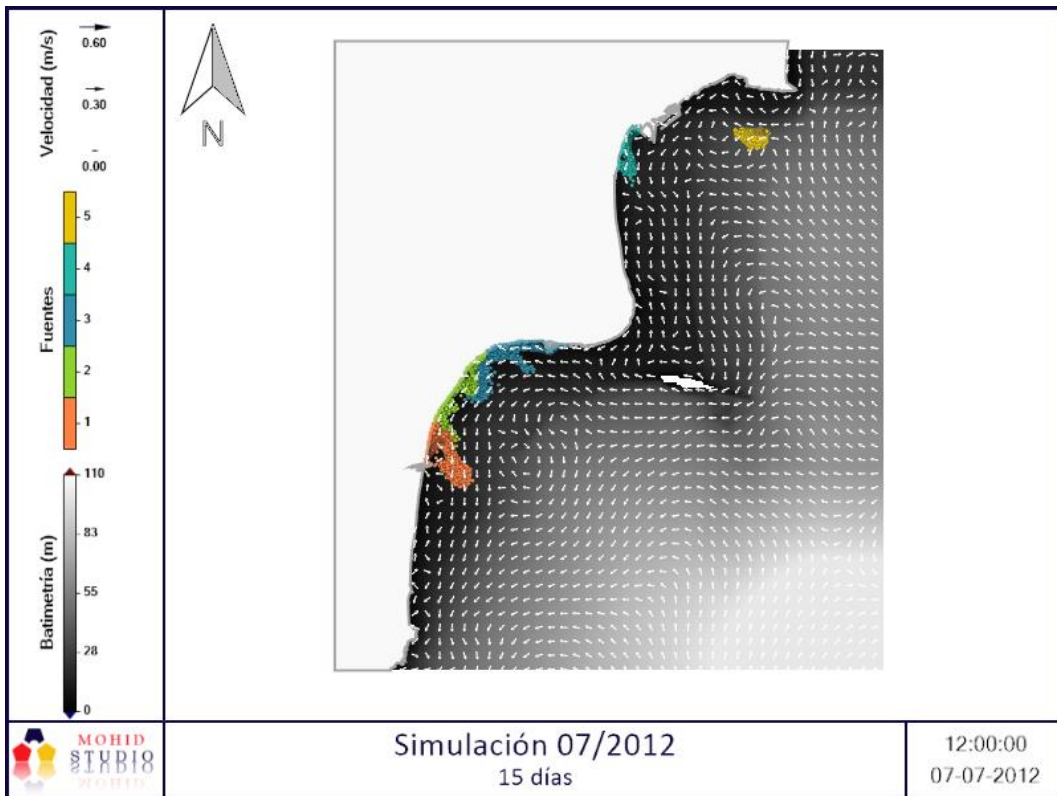


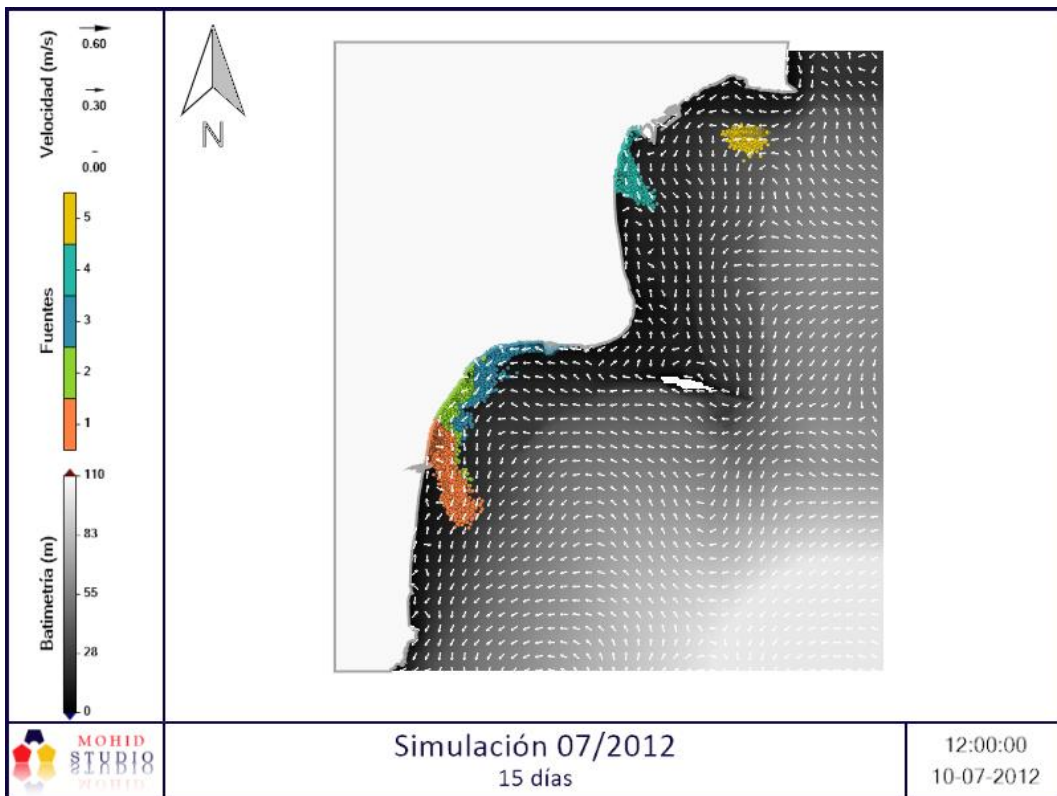
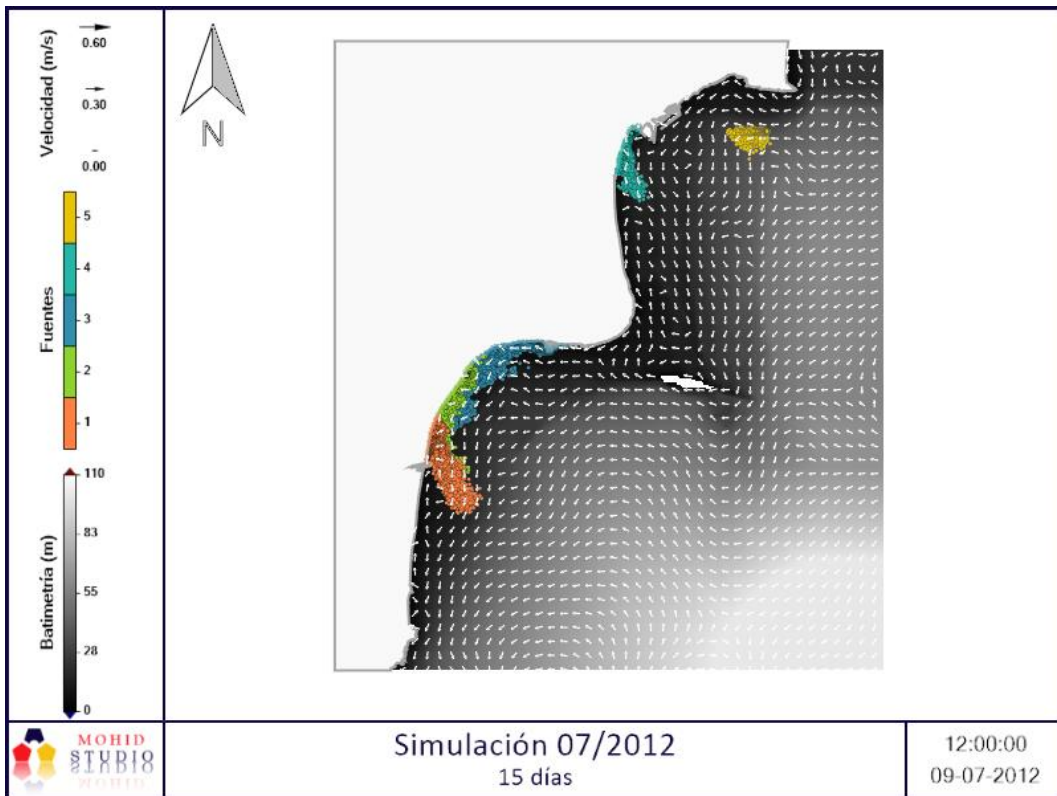


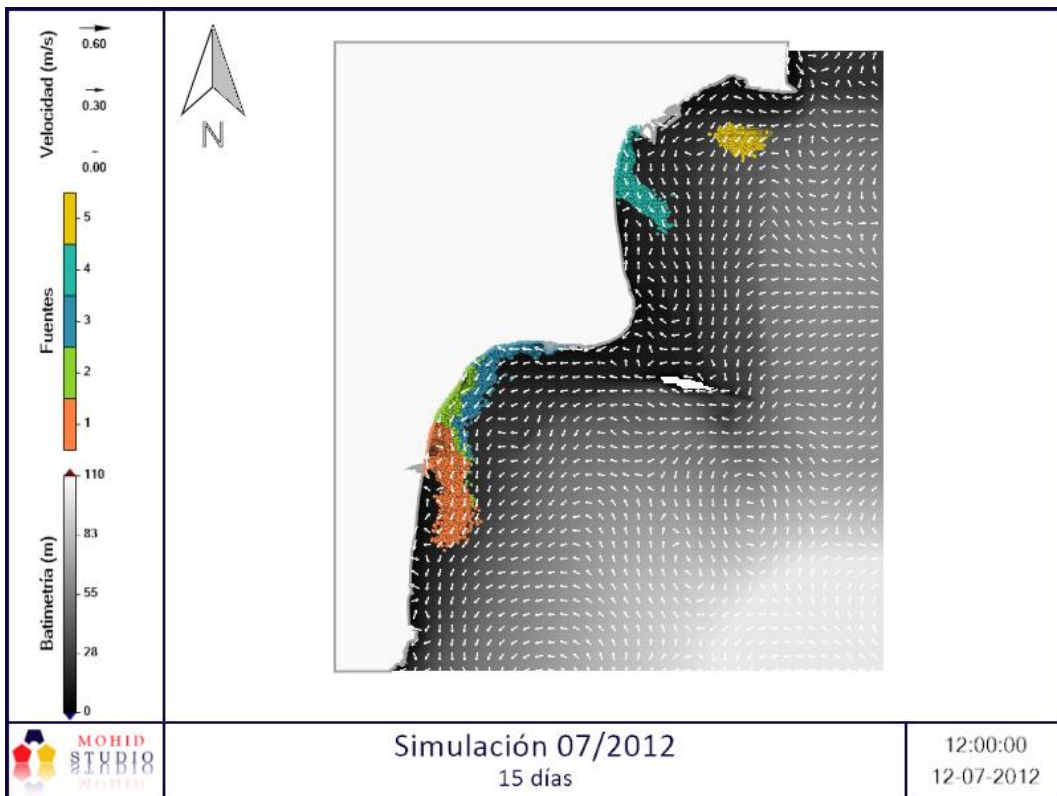
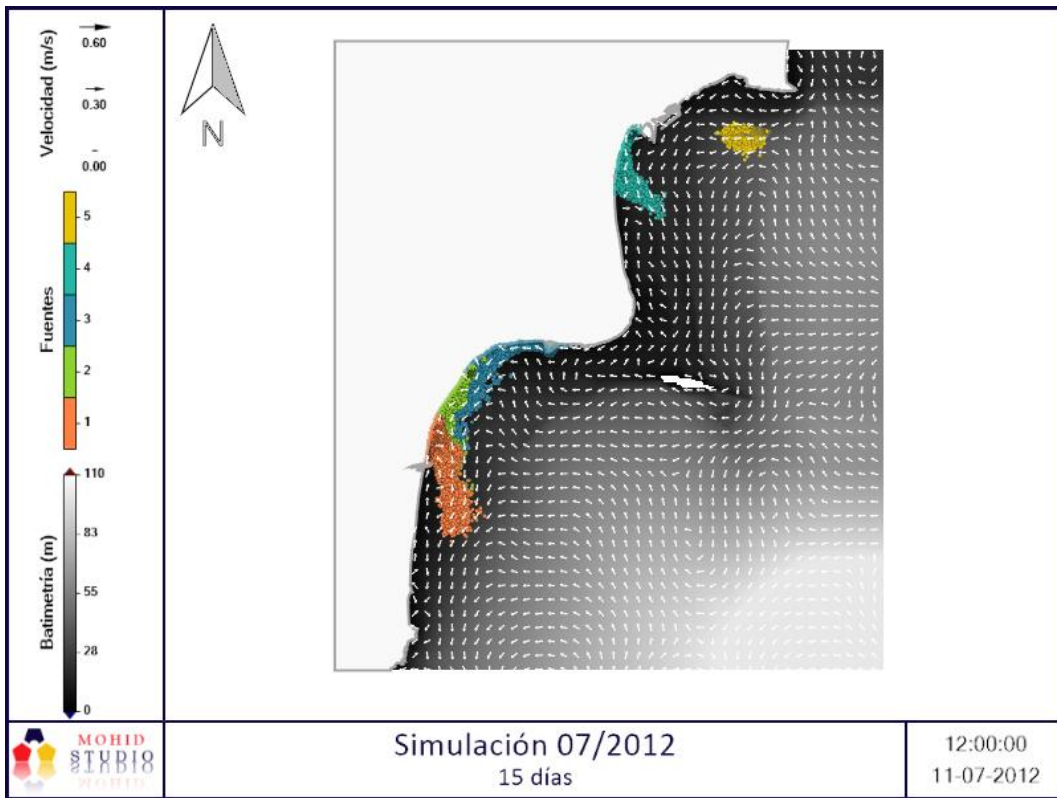
SIMULACIÓN 5. 07/2012 – 15 días

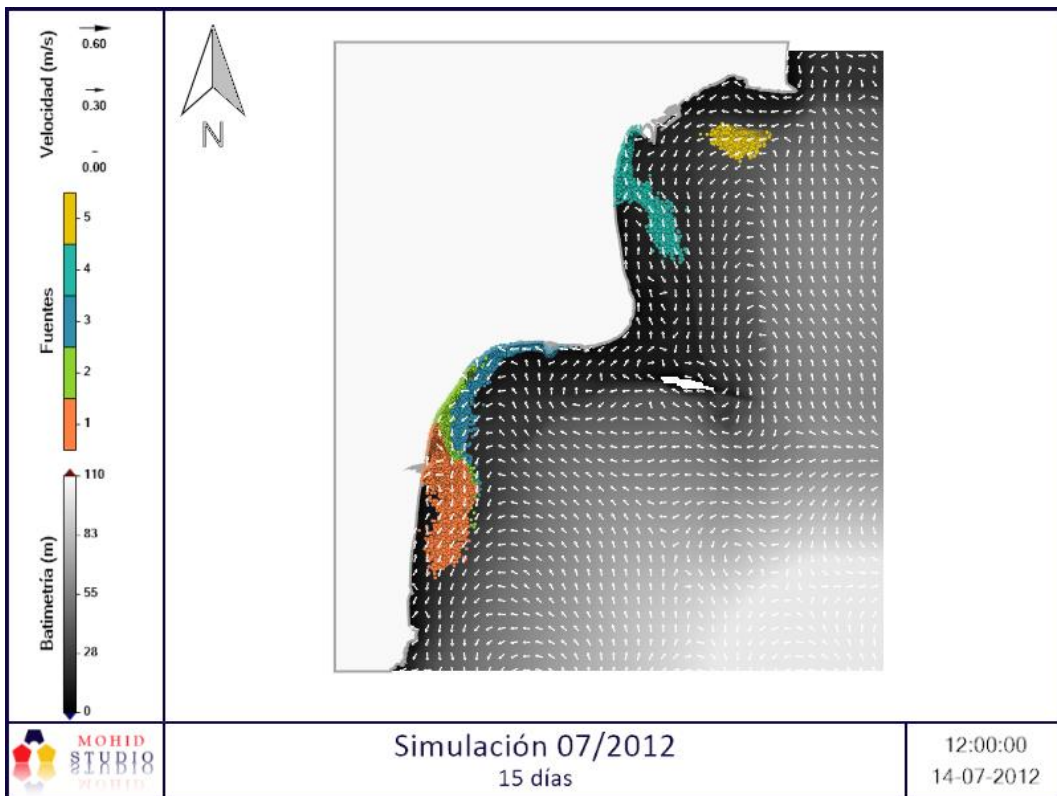
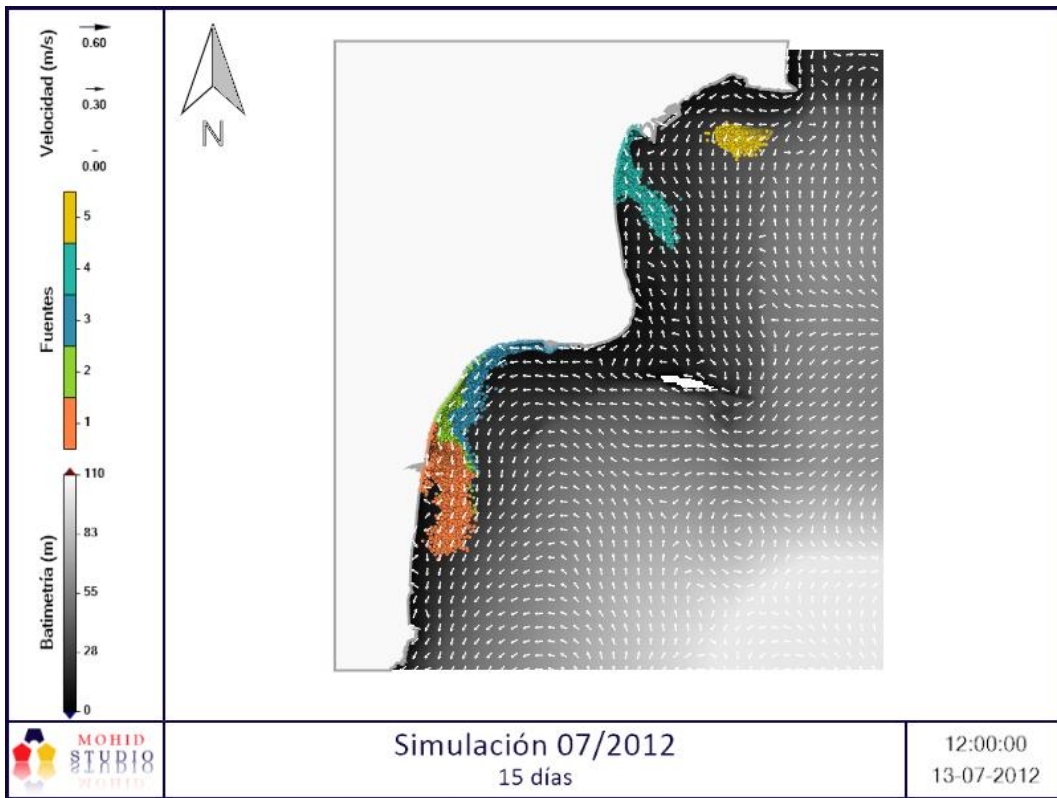


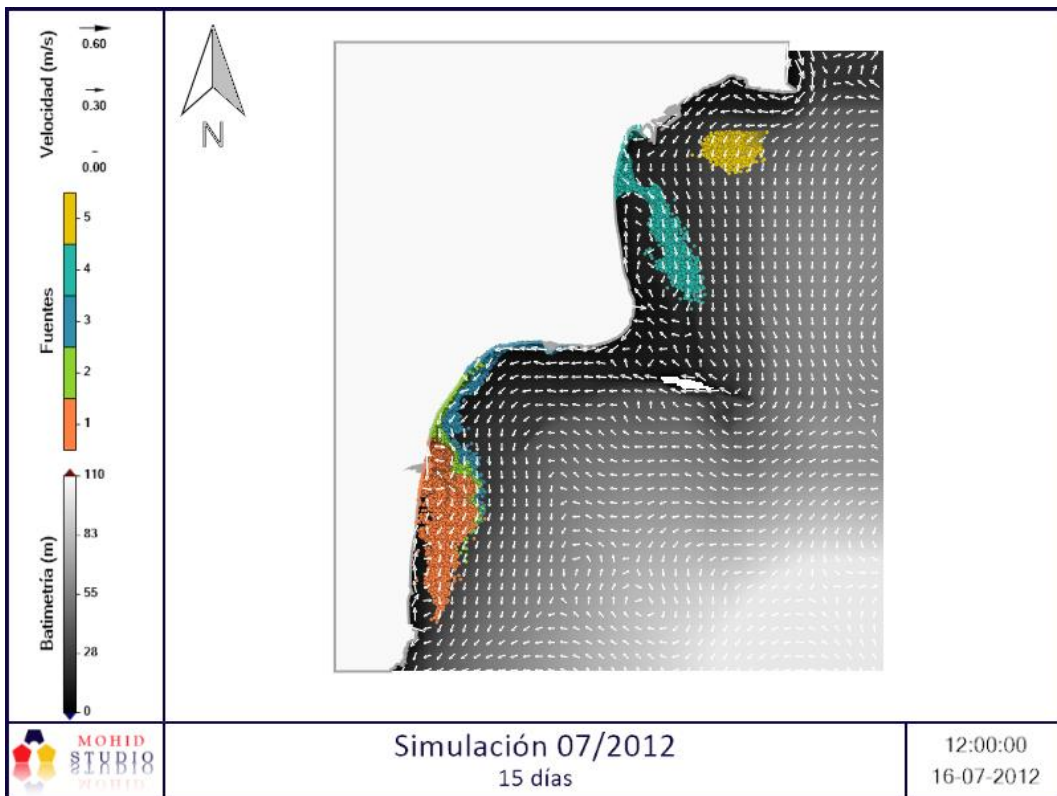
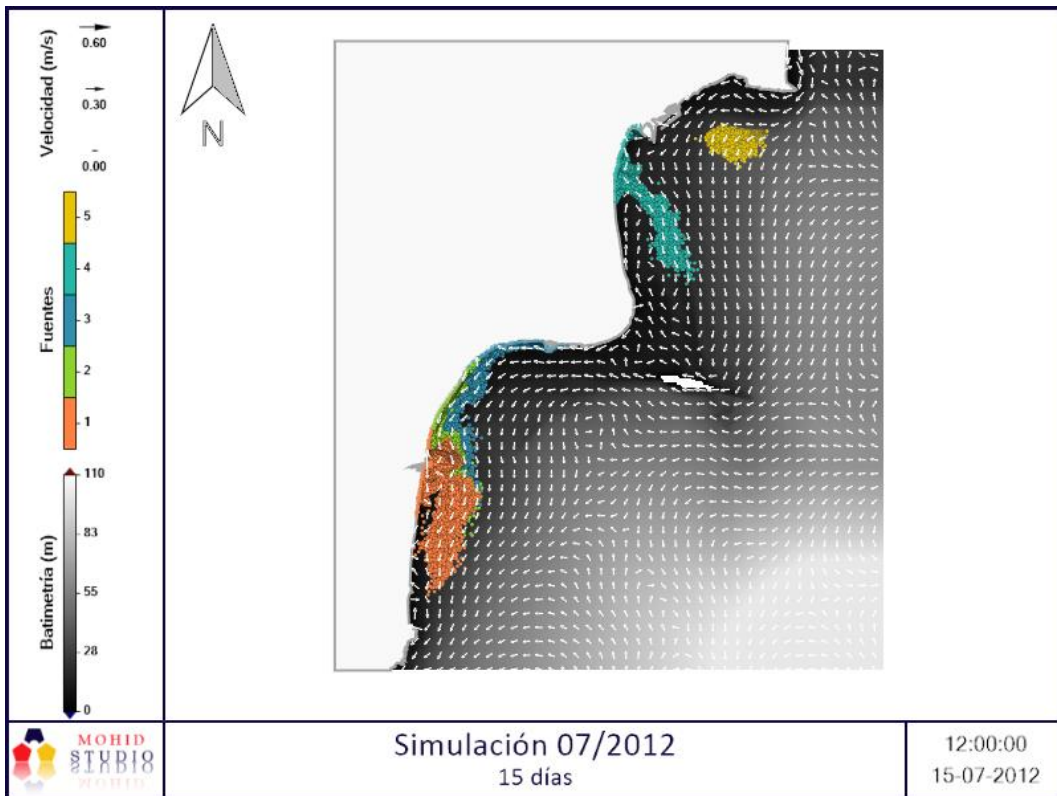


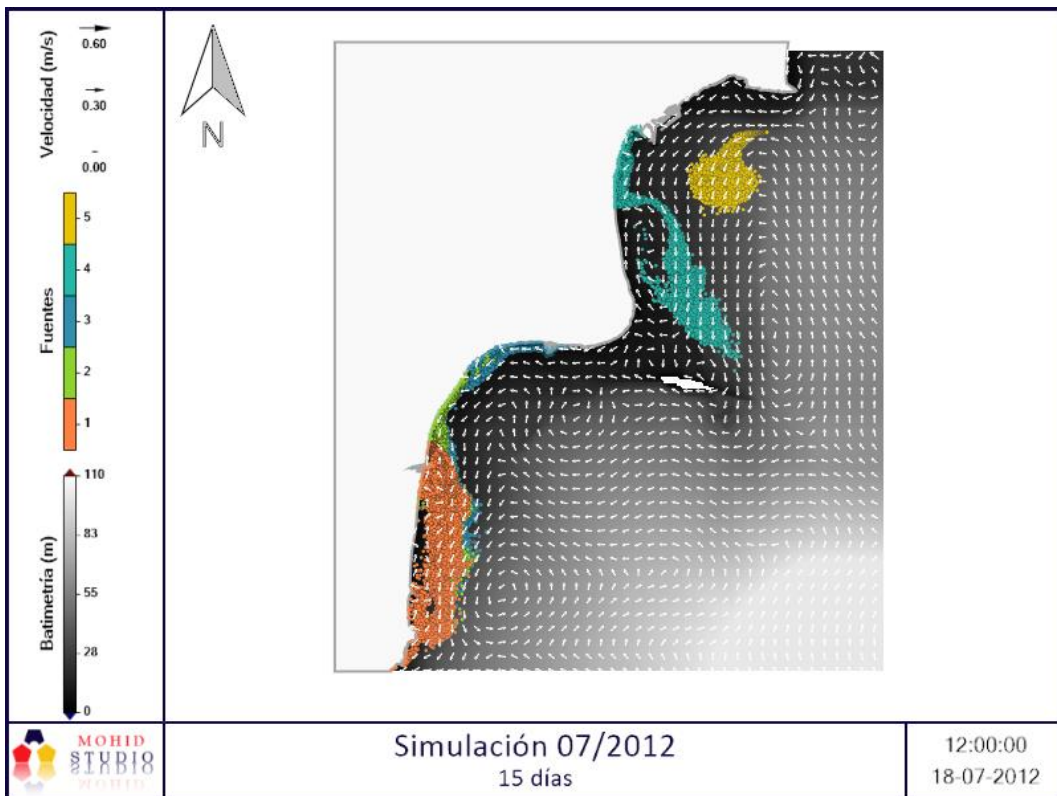
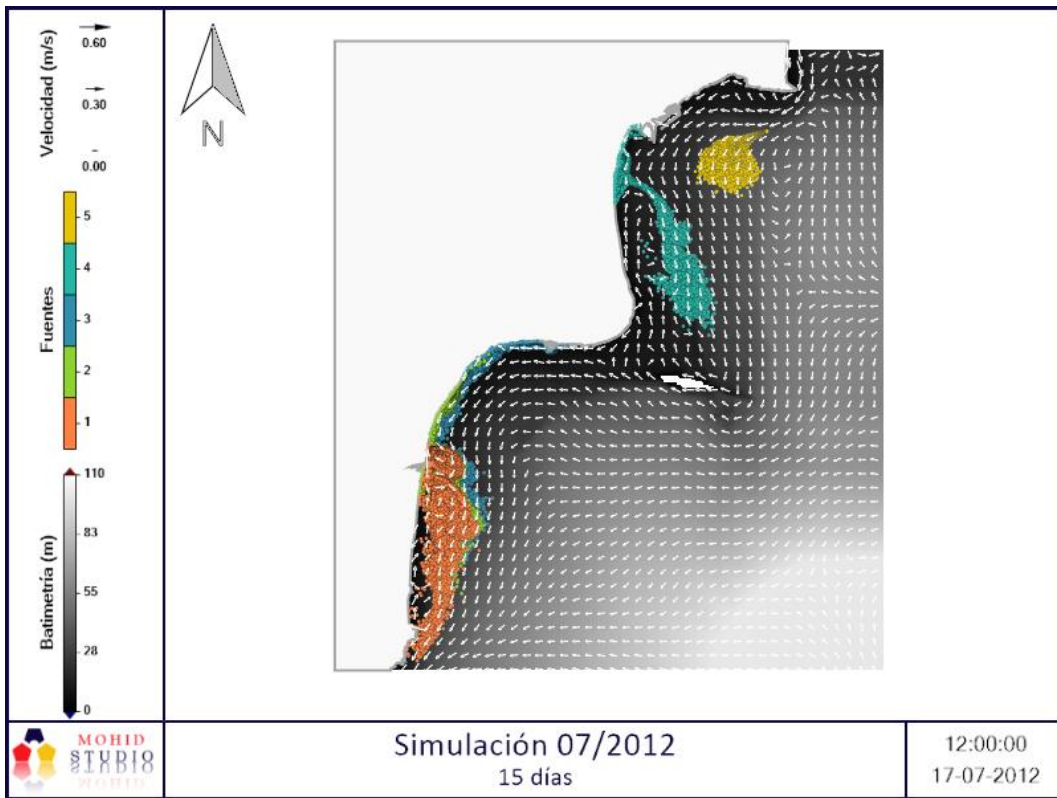




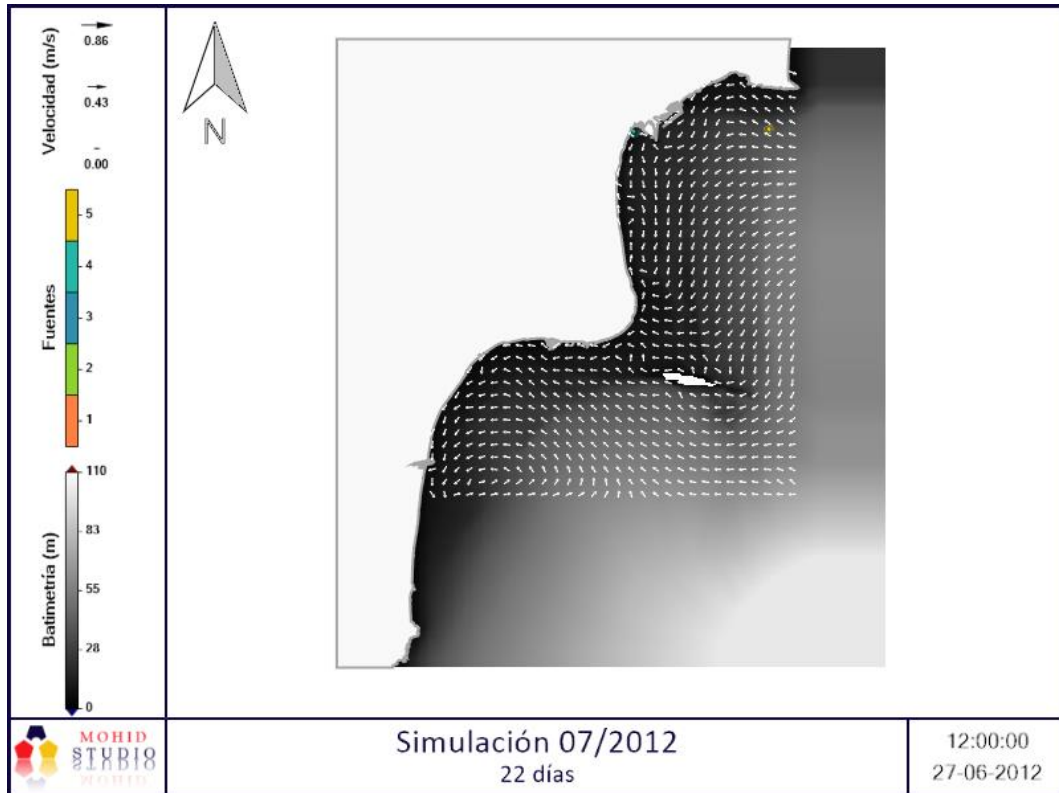
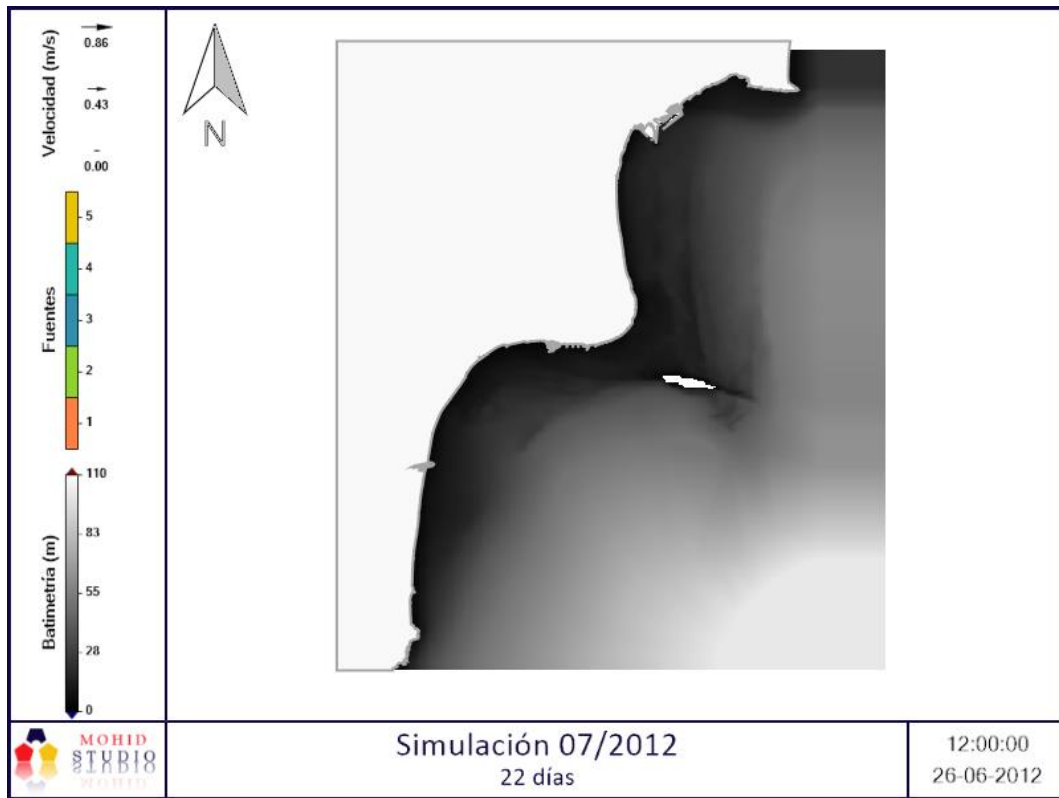


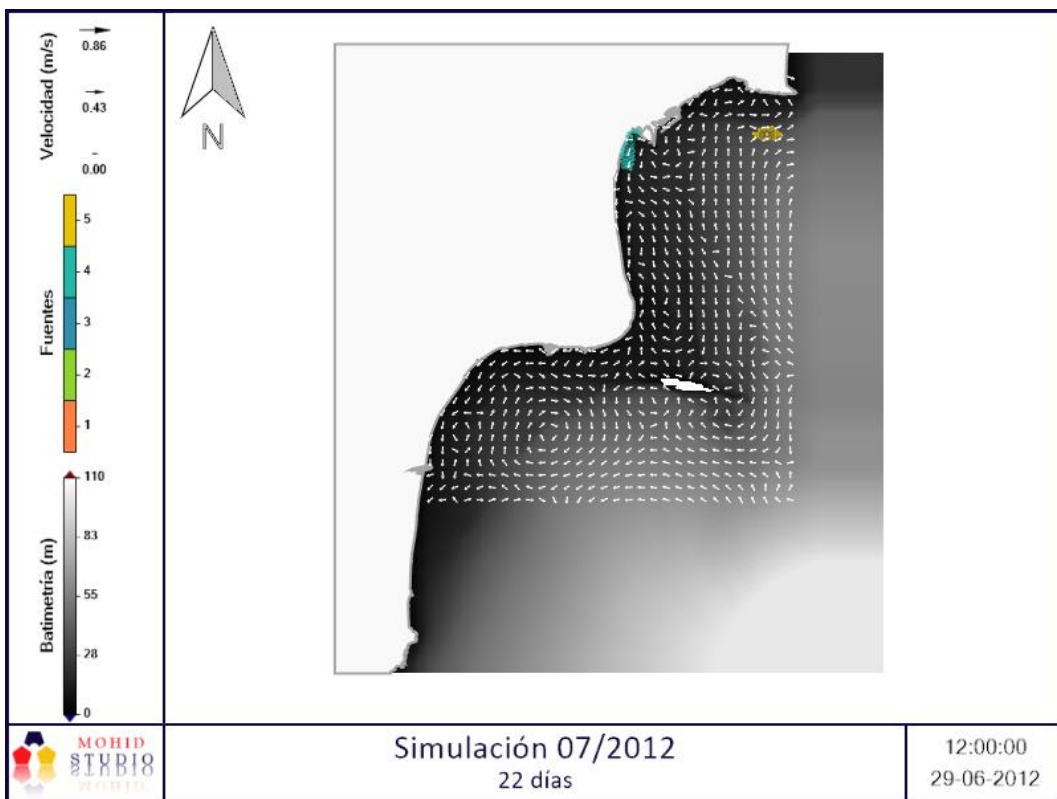


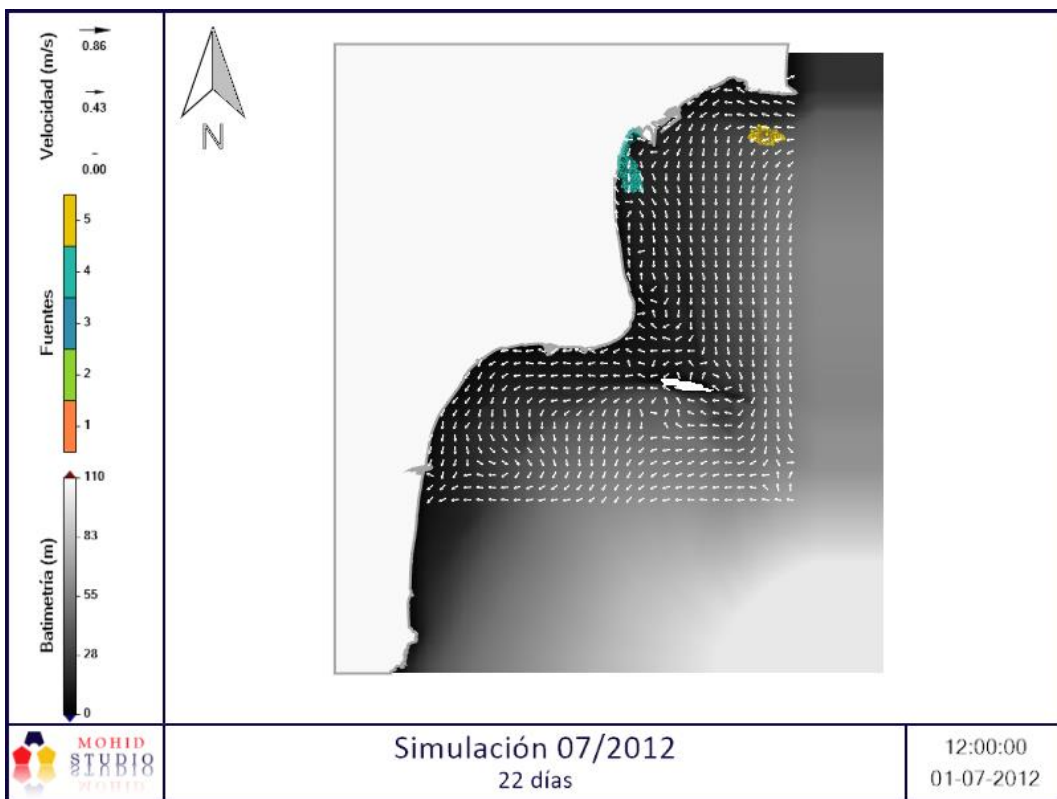
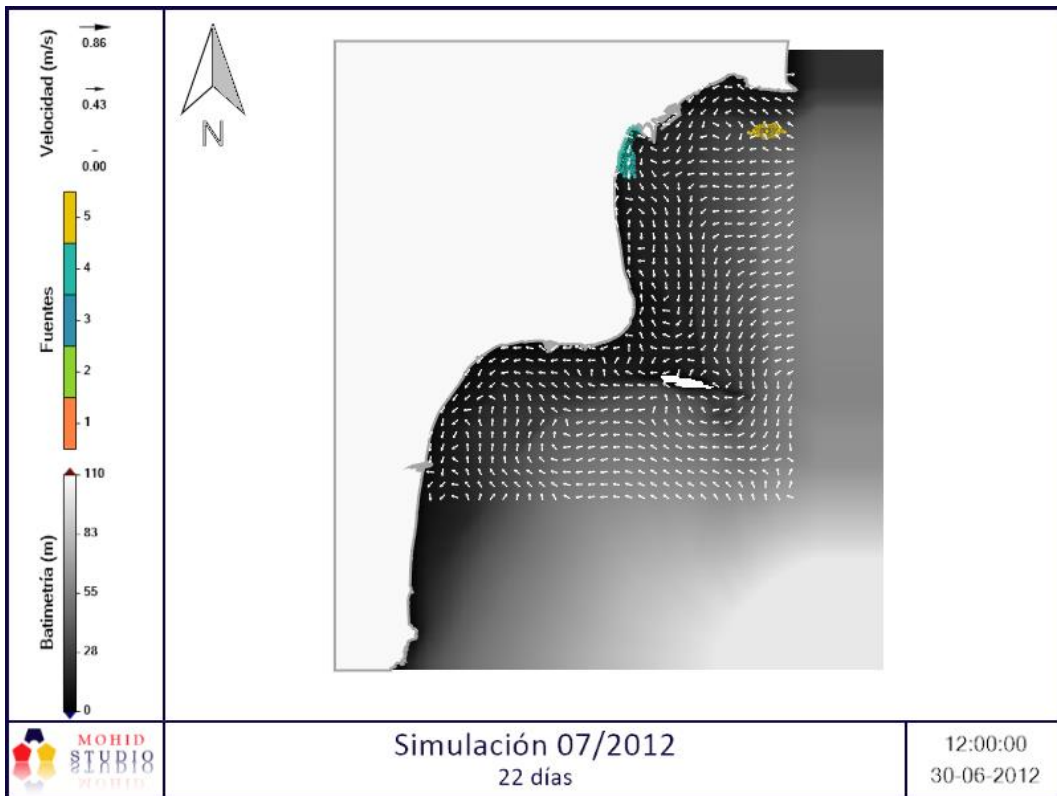


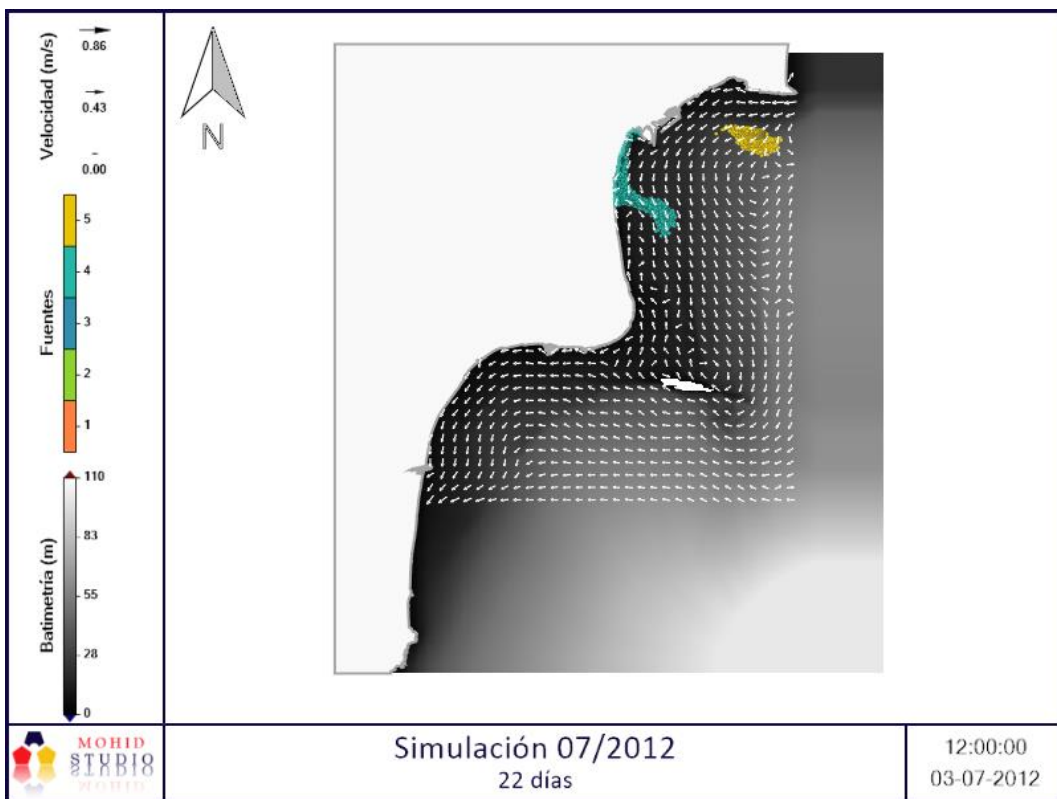
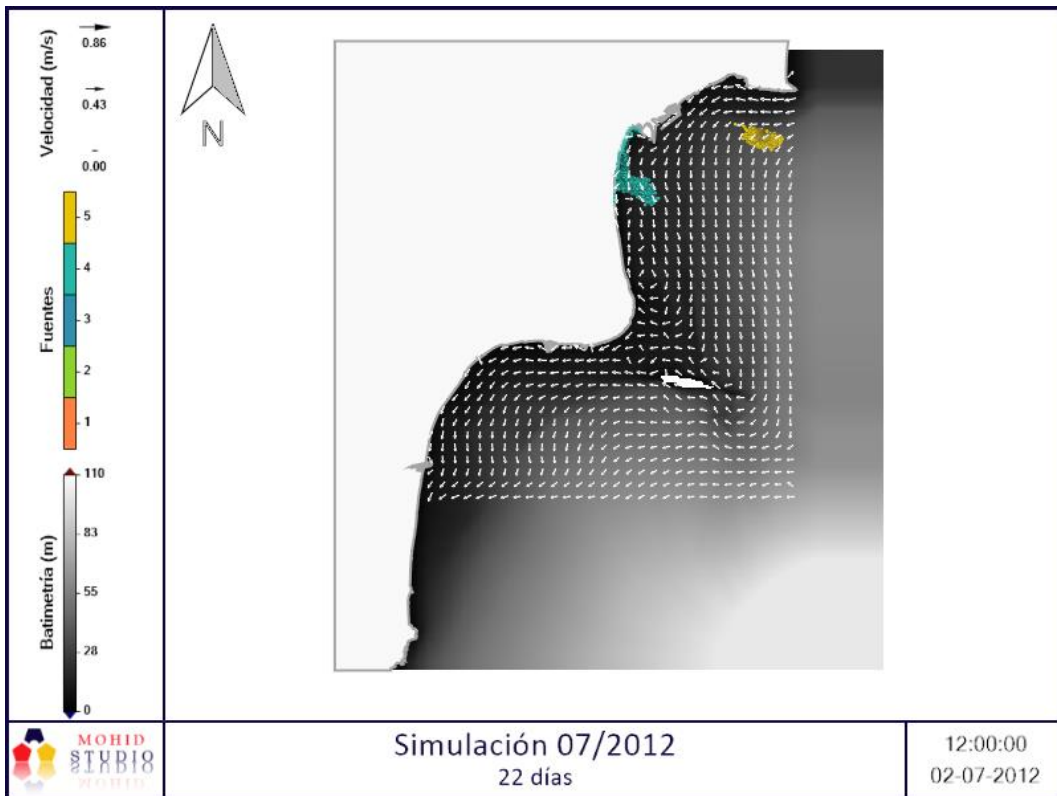


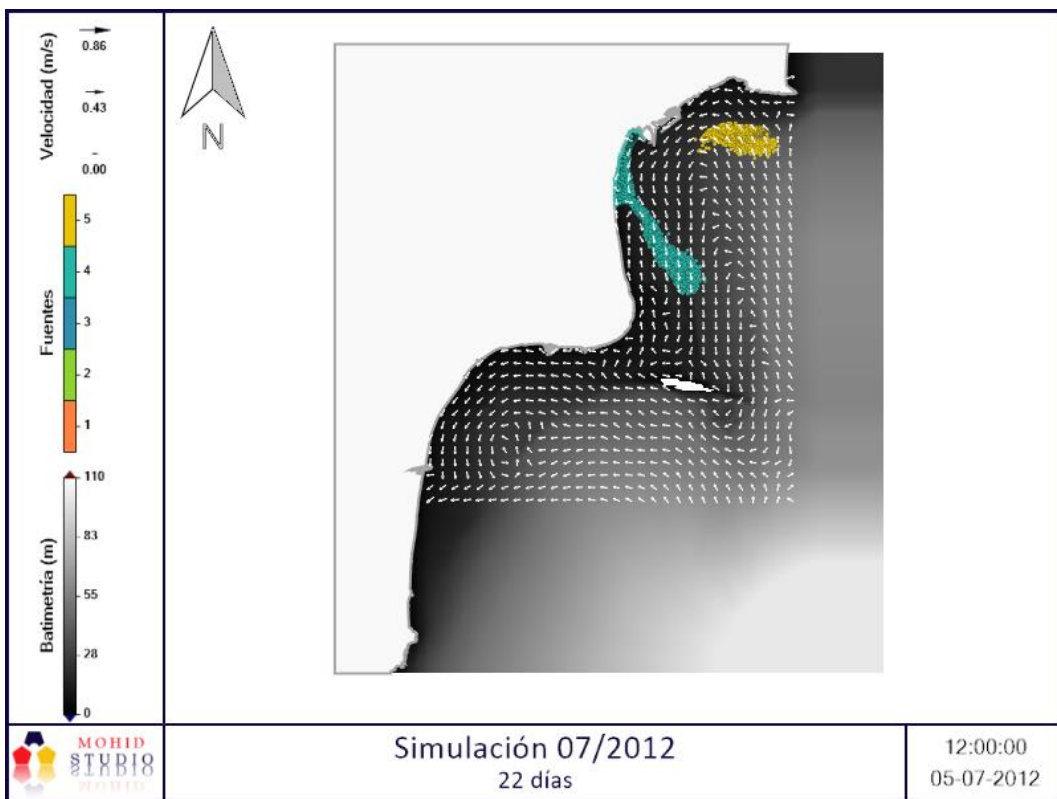
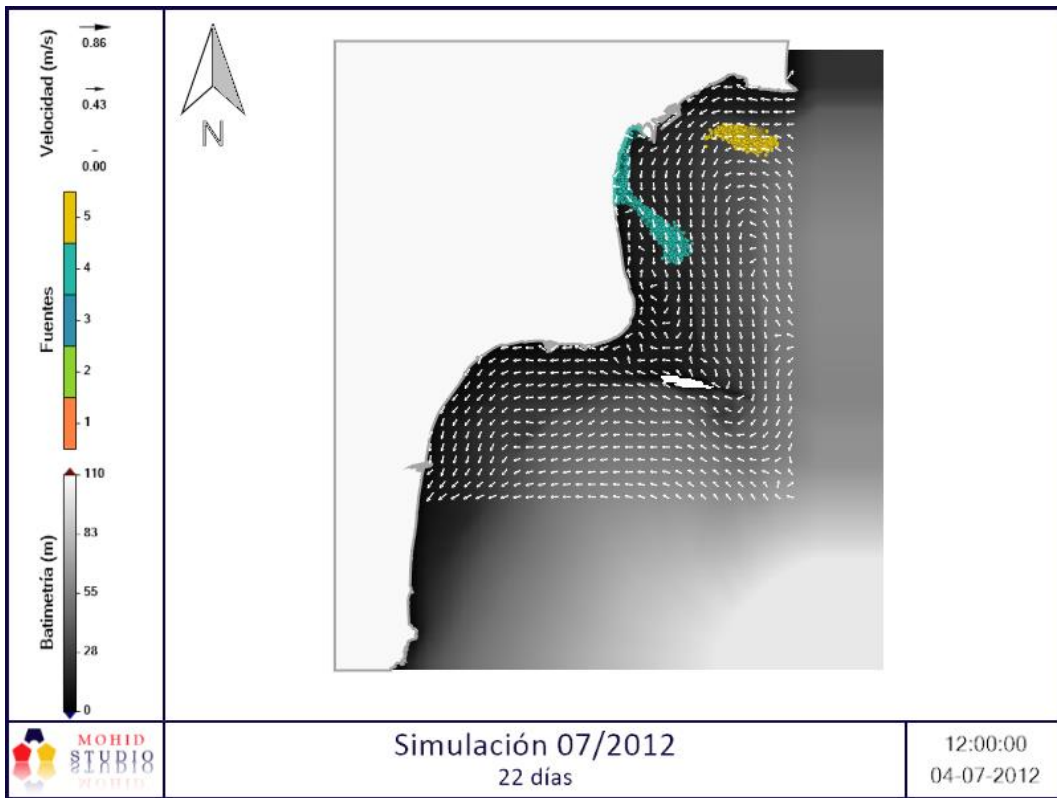
SIMULACIÓN 6. 07/2012 – 22 días

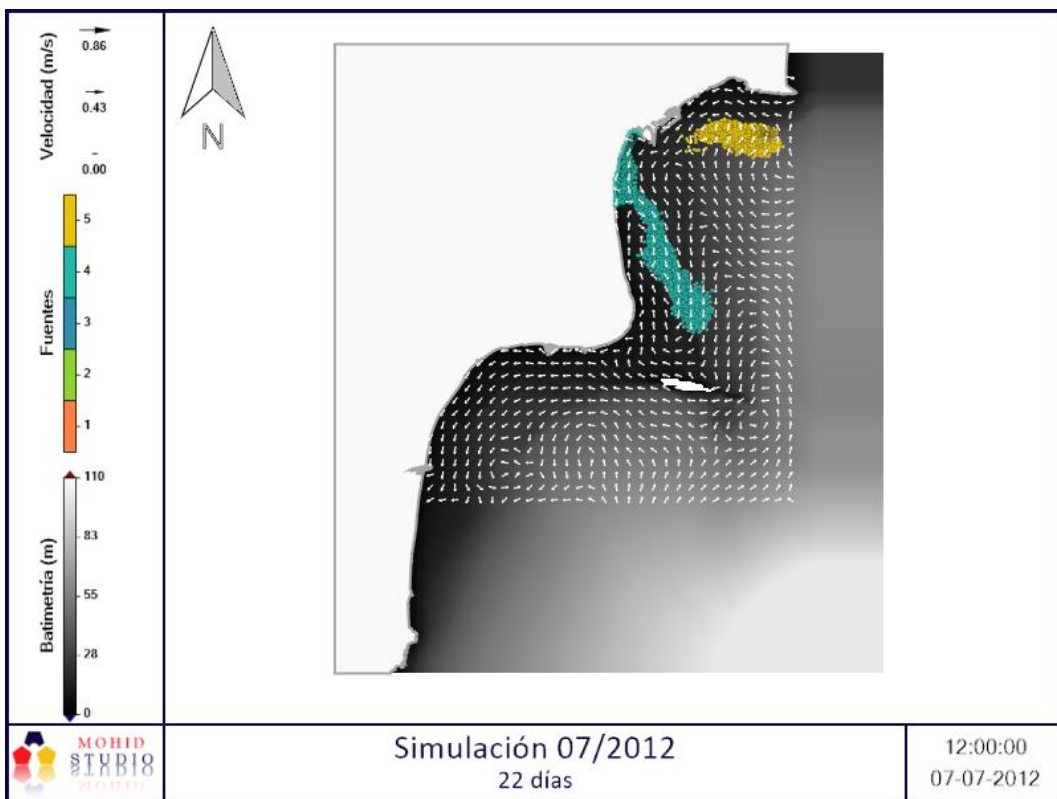
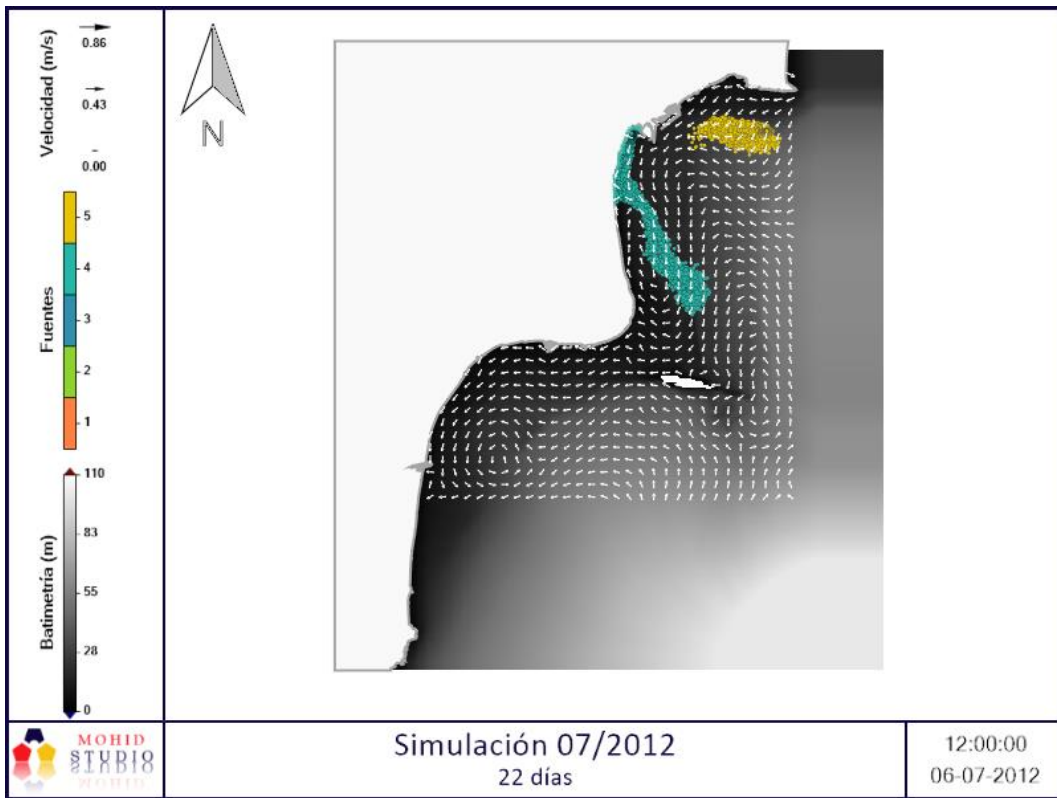


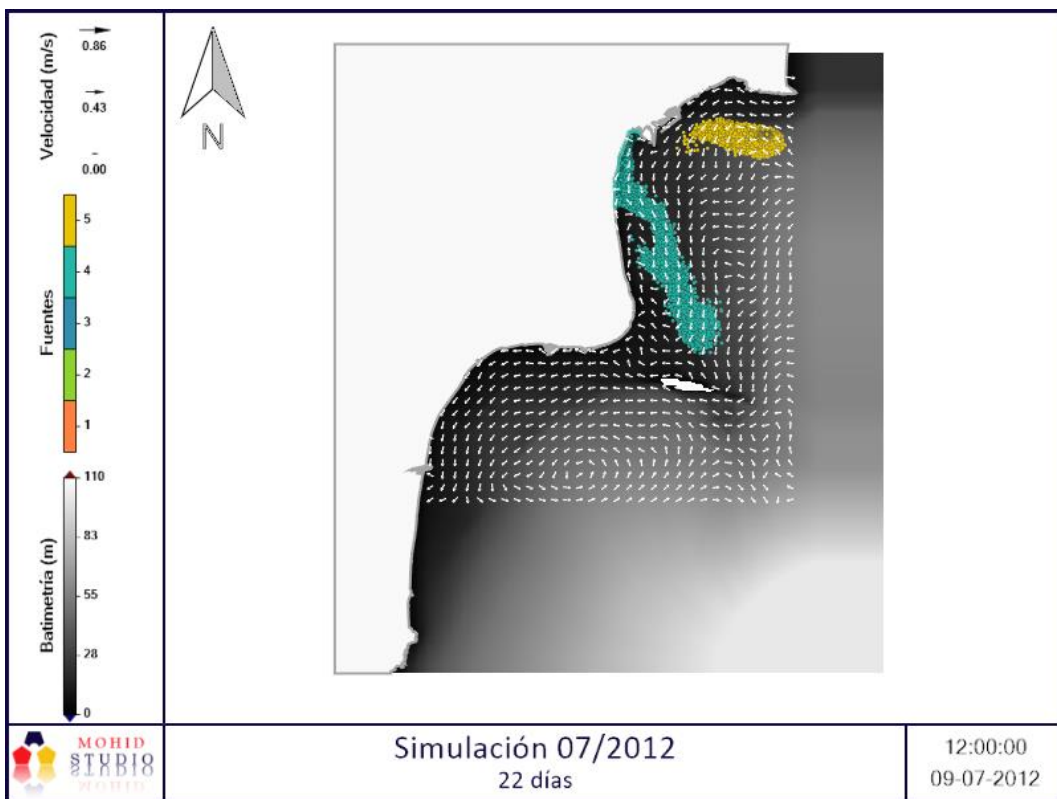
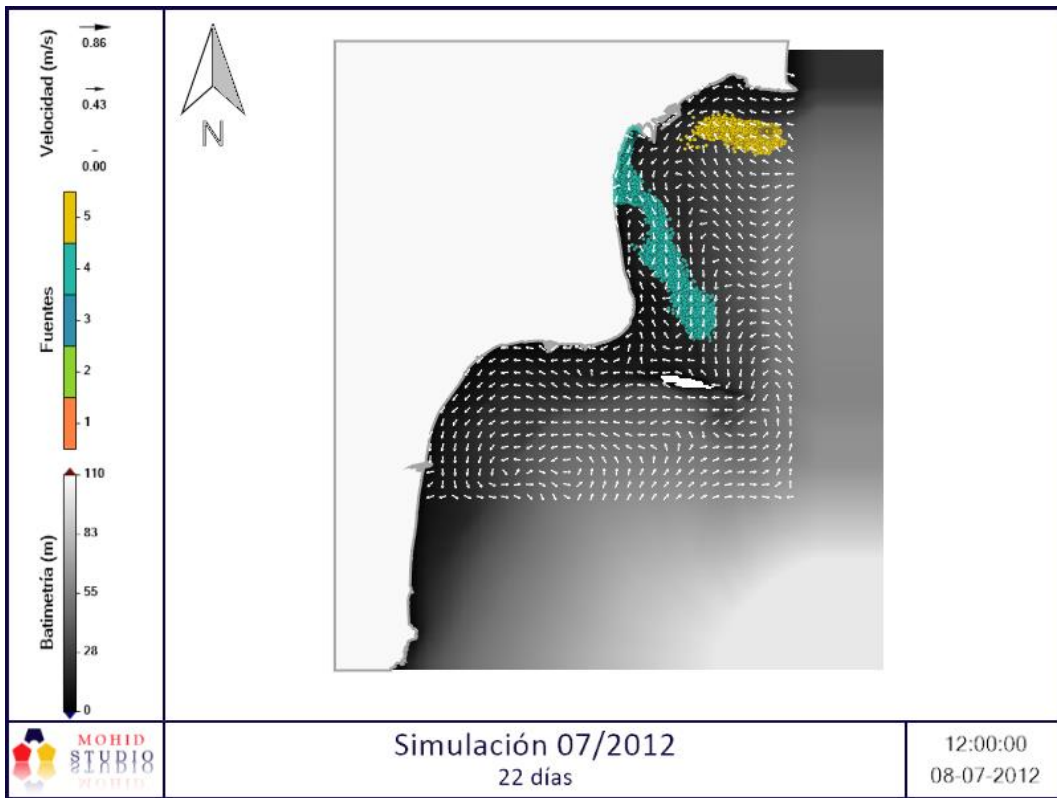


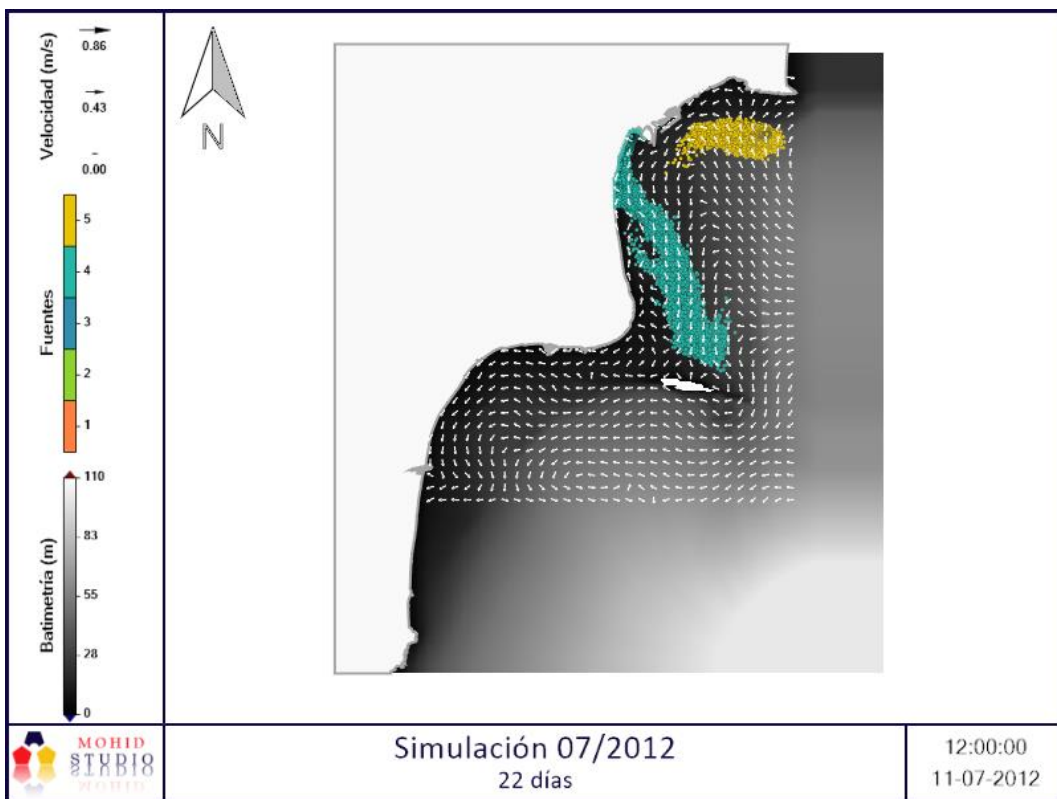
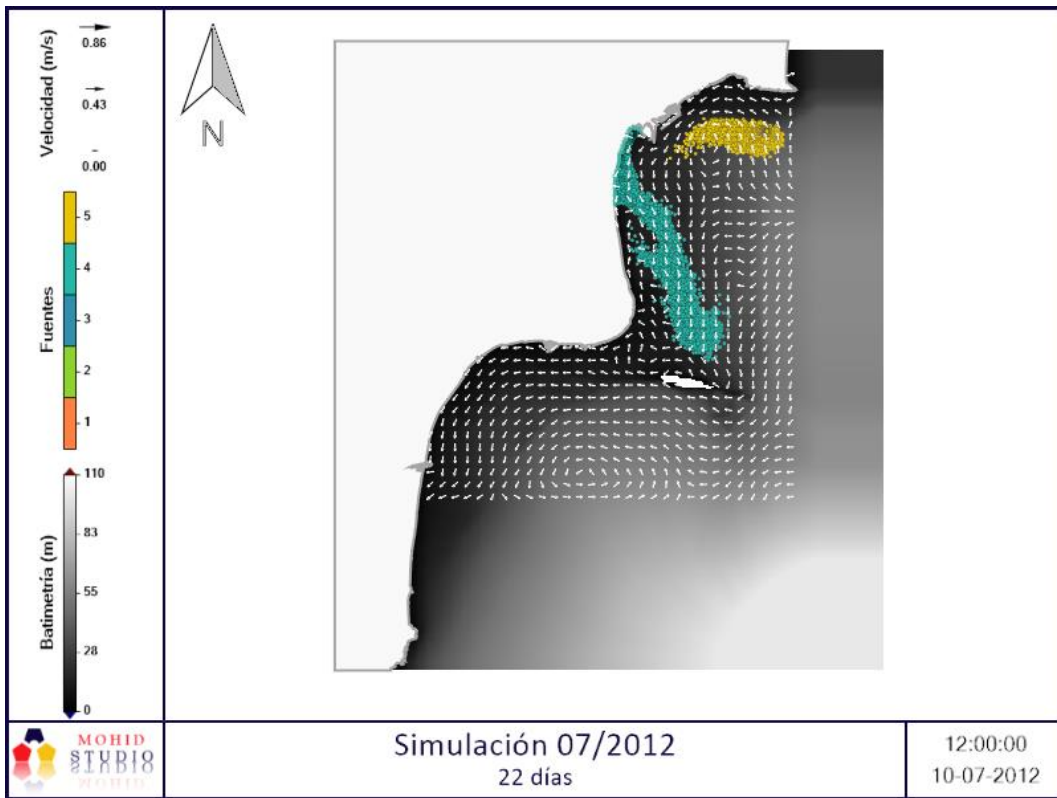


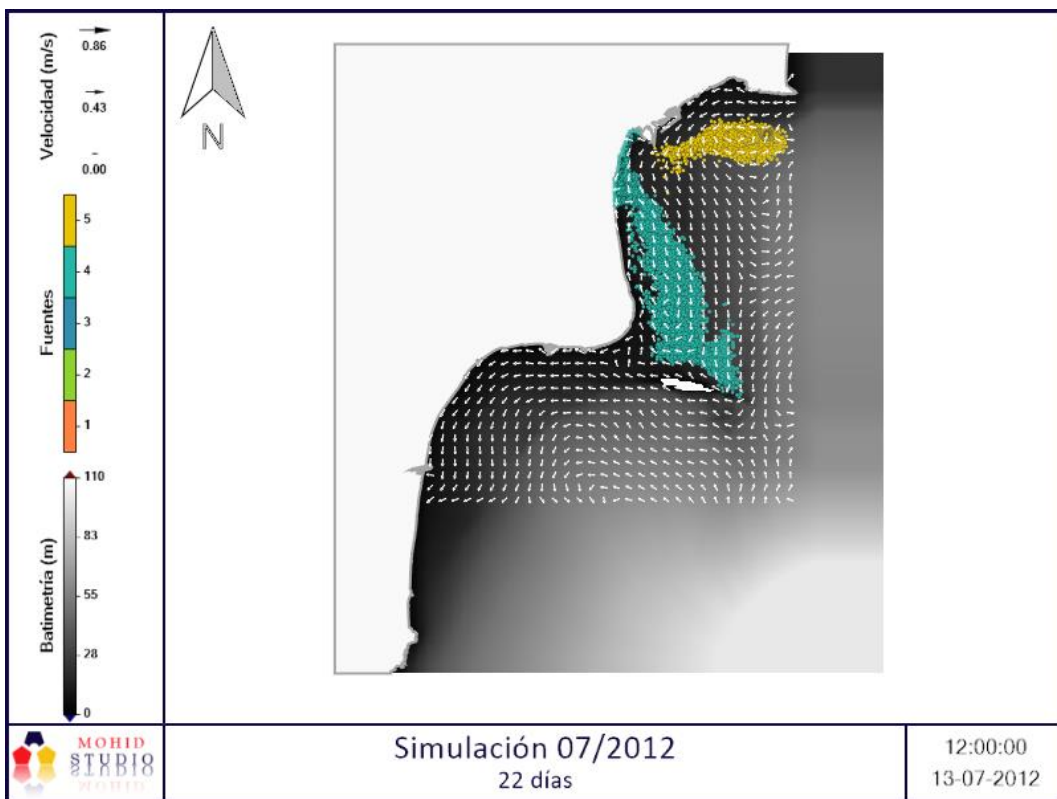
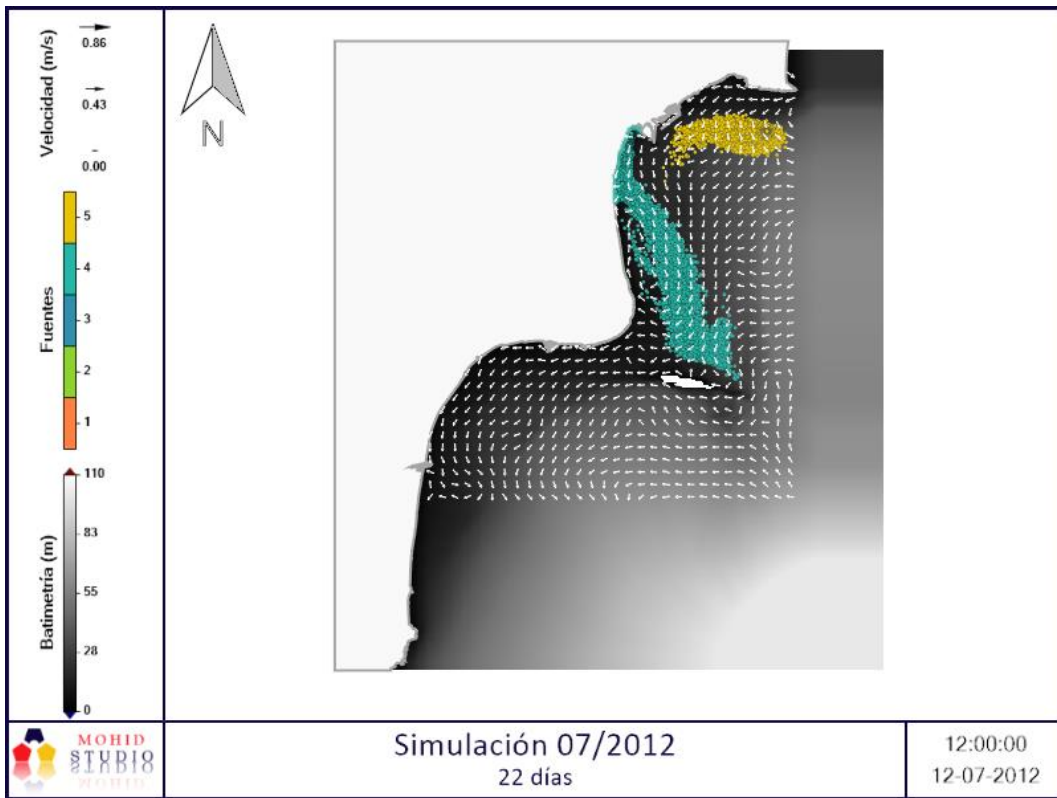


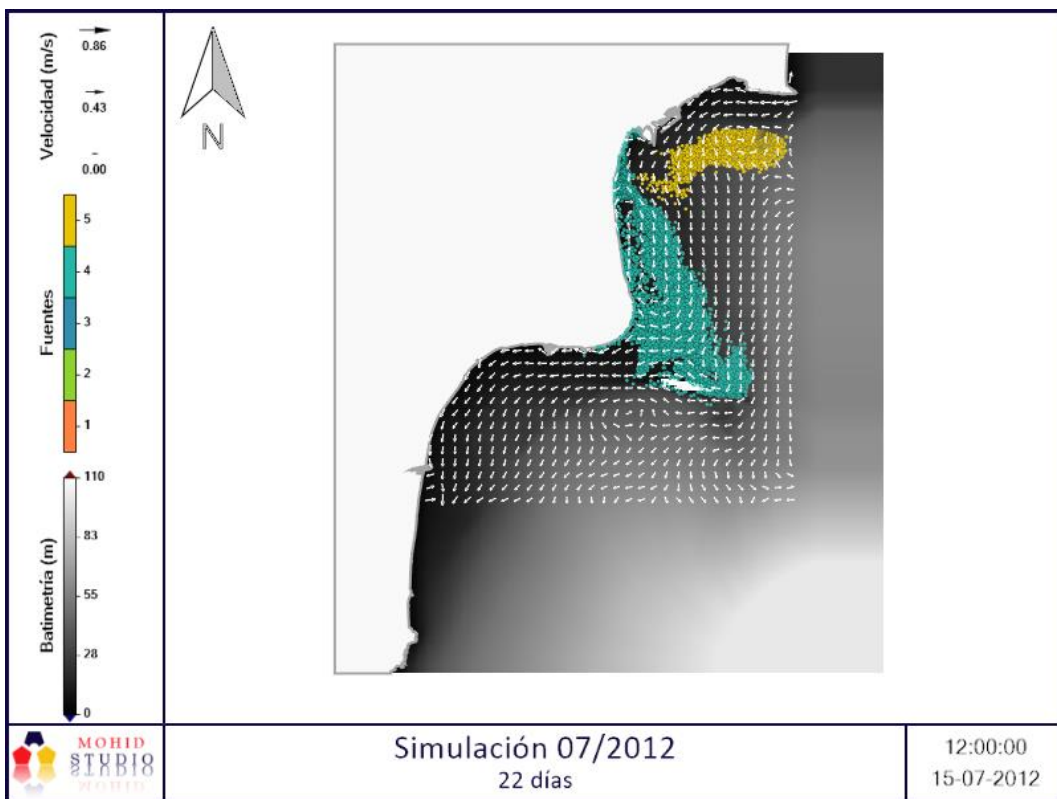
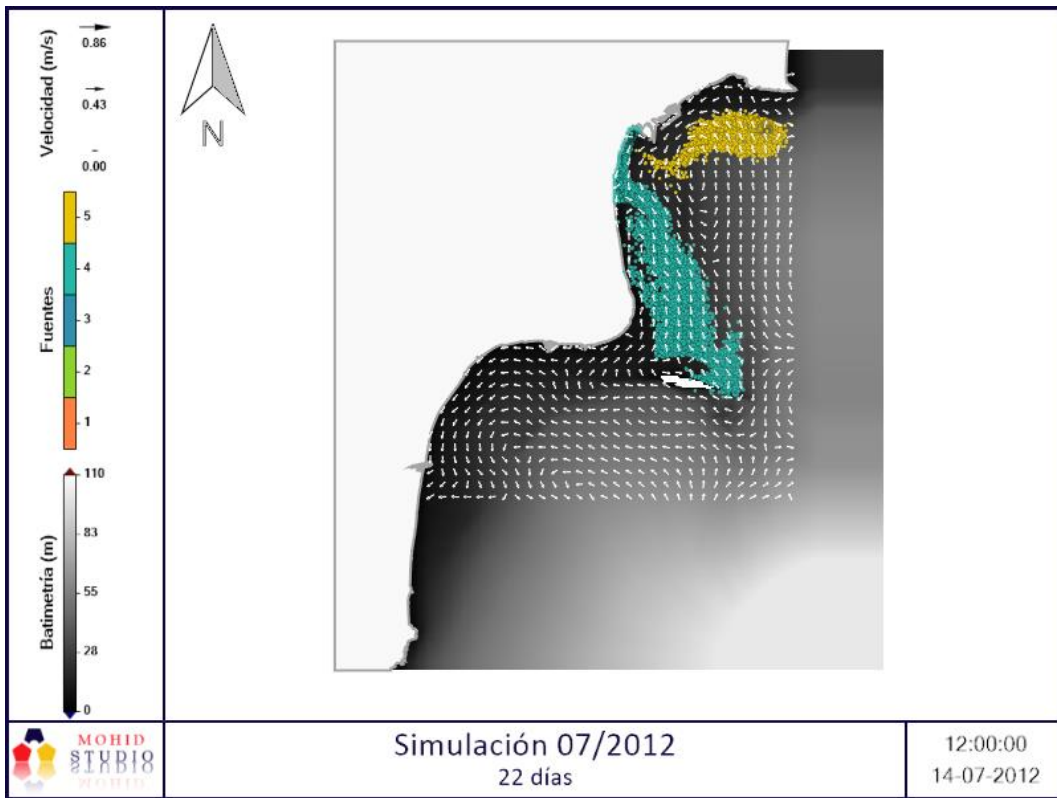


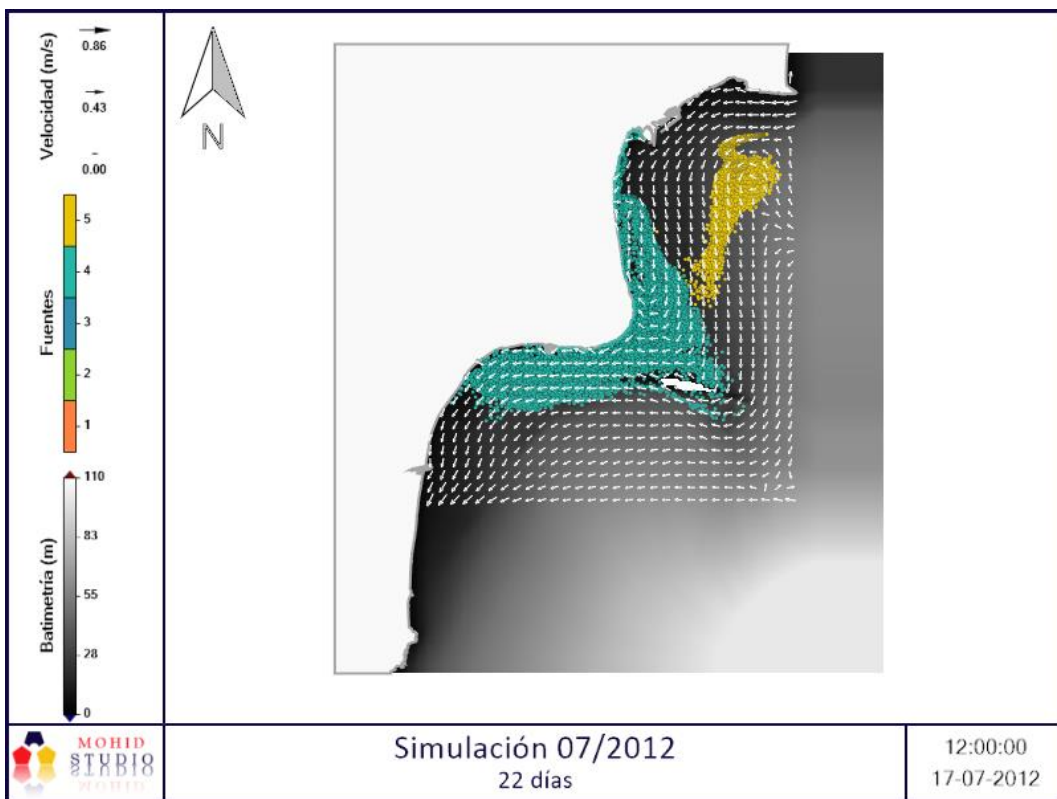
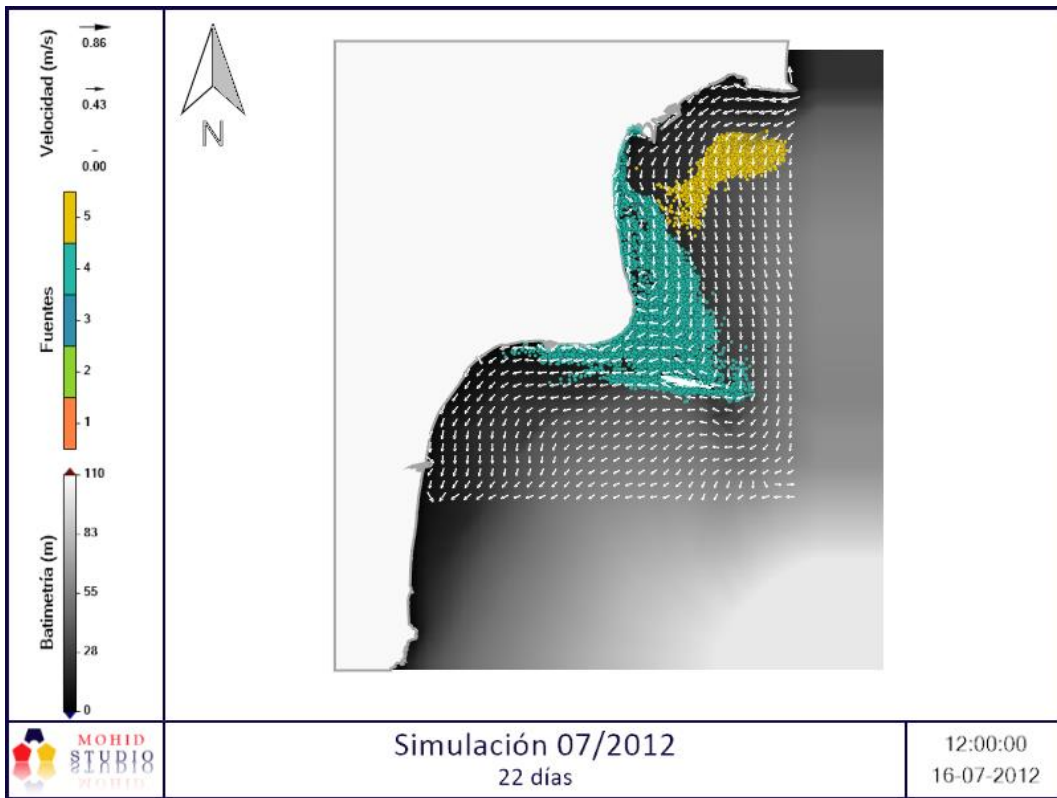


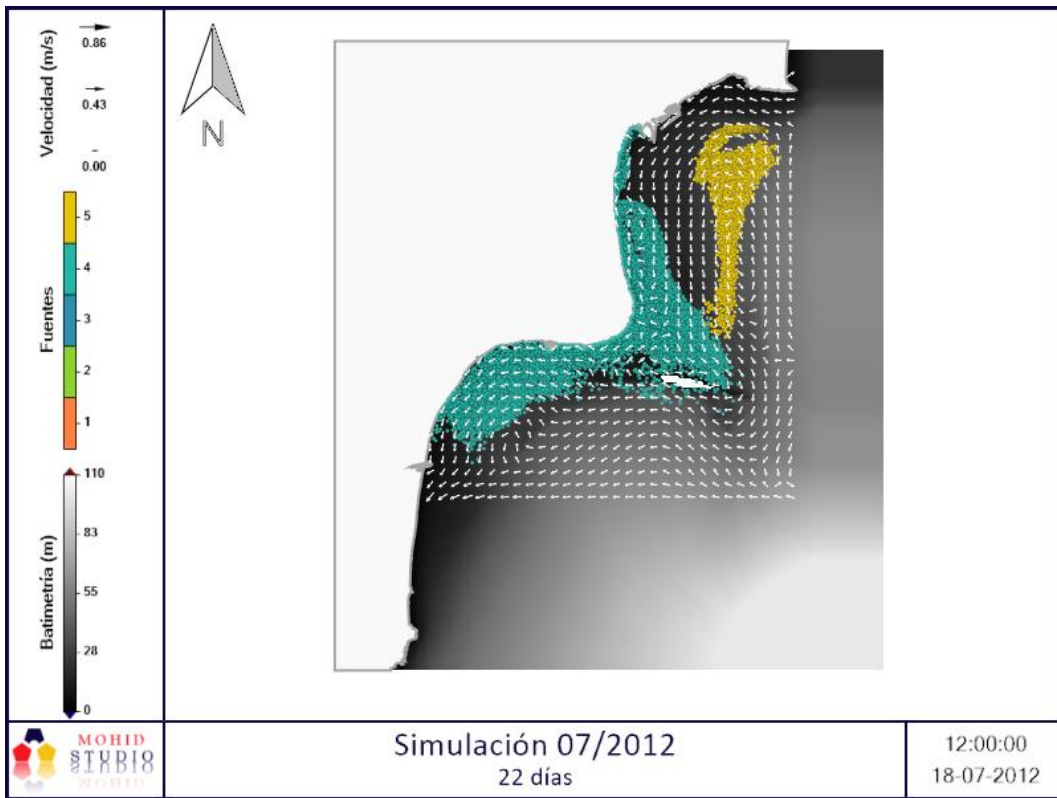












ANEJO Nº5.

PLANOS

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1. Localización del ámbito de estudio.

PLANO 2. Batimetría.

PLANO 3. Morfología marina.

PLANO 4. Usos del suelo.

PLANO 4.1. Usos del suelo (masa de agua C016).

PLANO 4.2. Usos del suelo (masa de agua C017).

PLANO 4.3. Usos del suelo (masa de agua C018).

PLANO 5. Comunidades marinas.

PLANO 6. Patrimonio natural.

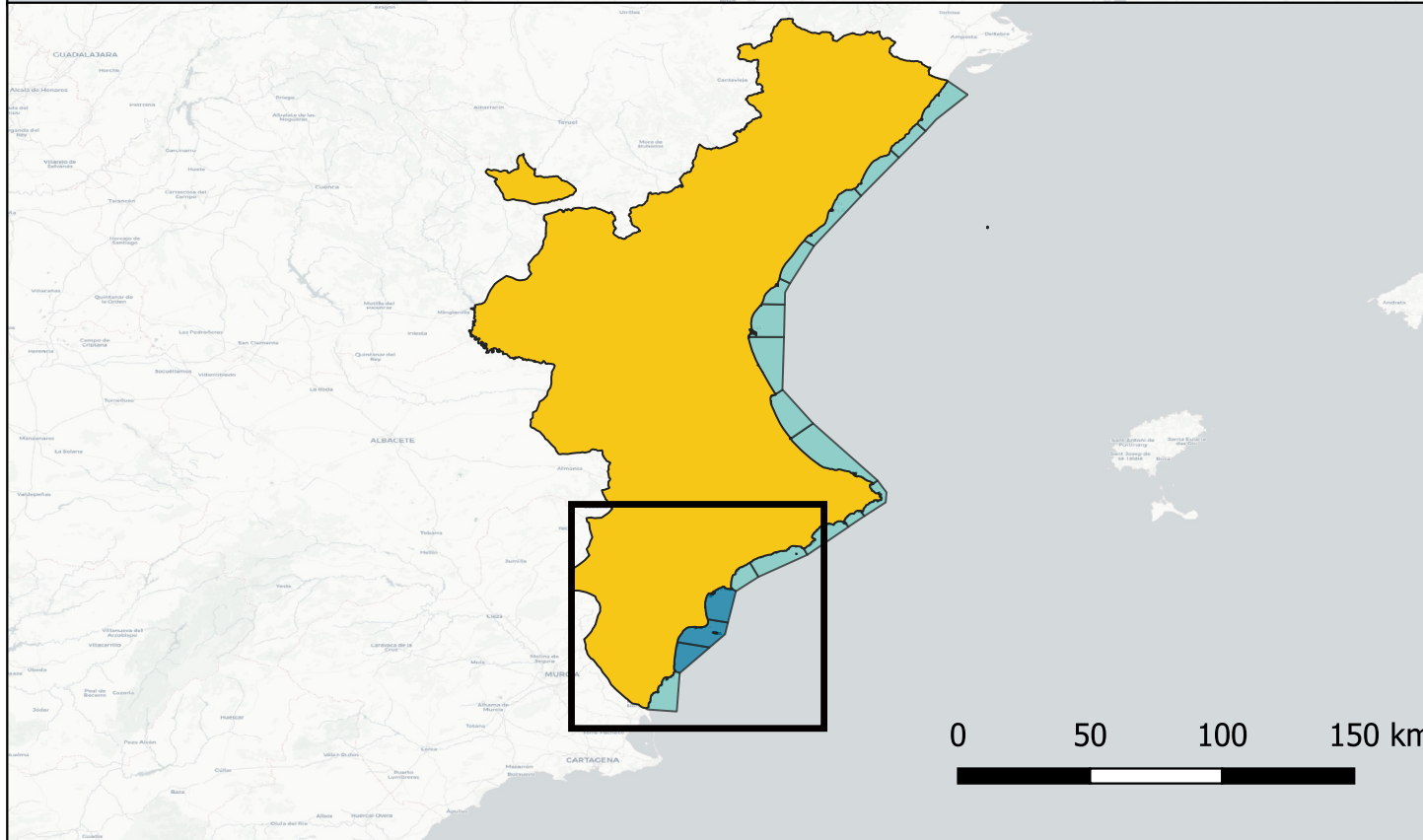
PLANO 7. Localización de vertidos autorizados desde tierra al mar.

PLANO 8. Localización de estaciones de muestreo.

PLANO 8.1. Localización de estaciones de muestreo (masa de agua C016).

PLANO 8.2. Localización de estaciones de muestreo (masa de agua C017).

PLANO 8.3. Localización de estaciones de muestreo (masa de agua C018).



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

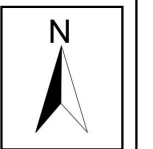
LEYENDA:

| | |
|--|---|
| | Territorio de la Comunidad Valenciana |
| | Masas de agua costera de la Comunidad Valenciana según MITECO |
| | Masas de agua costera objeto de estudio (C016 - C017 - C018) |
| | Línea Cero - 0 m |
| | Delimitación de las masas de agua según MITECO |

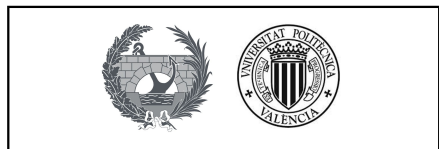
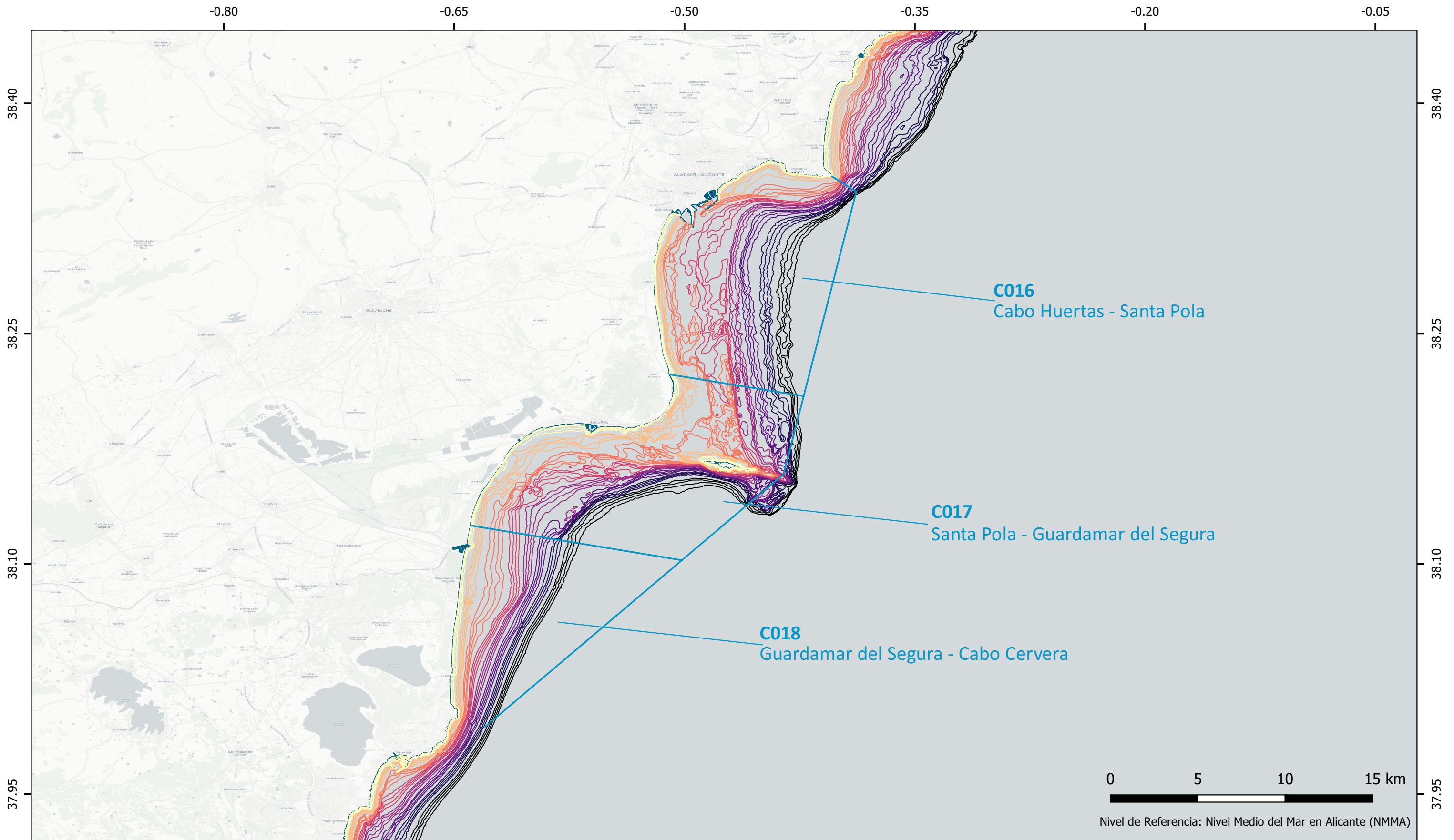
TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
VARIOS



Nº DE PLANO:
1



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|-----------------------|--|
| — (-39,0) - (-35,0) m | — (-15,0) - (-10,0) m |
| — (-35,0) - (-30,0) m | — (-10,0) - (-5,0) m |
| — (-30,0) - (-25,0) m | — (-5,0) - (-1,0) m |
| — (-25,0) - (-20,0) m | — Línea Cero - 0 m |
| — (-20,0) - (-15,0) m | — Delimitación de las masas de agua según MITECO |

Equidistancia de las líneas batimétricas: 1m

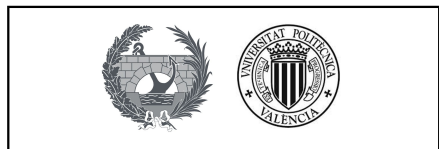
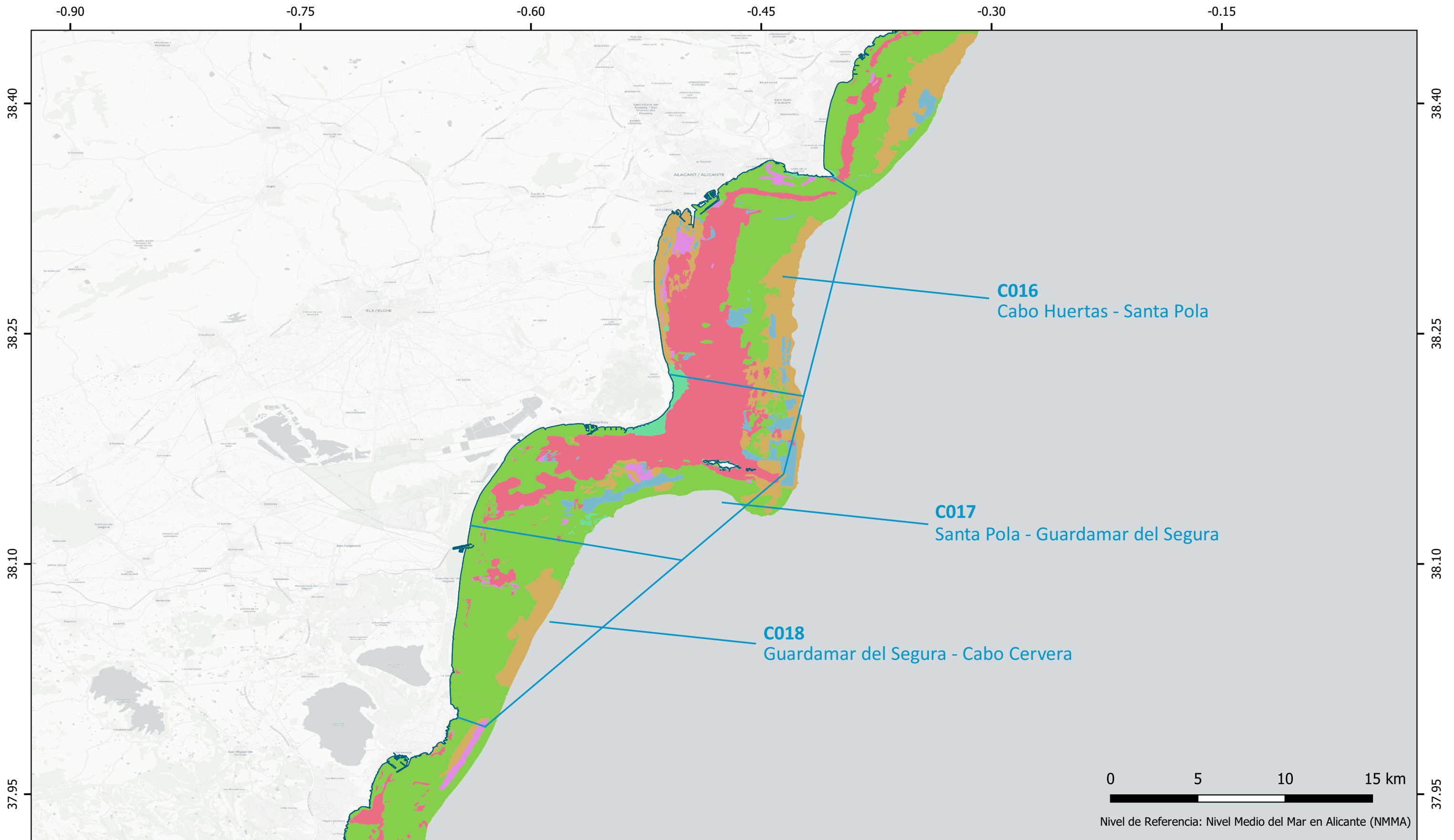
TÍTULO DEL PLANO:
BATIMETRÍA

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000



Nº DE PLANO:
2



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|--|--|
| Afloramientos rocosos masivos | Sedimentos no consolidados medio-gruesos |
| Bolos y/o bloques y/o encostramientos | Sedimentos no consolidados muy finos |
| Sedimentos no consolidados medio-finos | Vegetación de alta densidad |

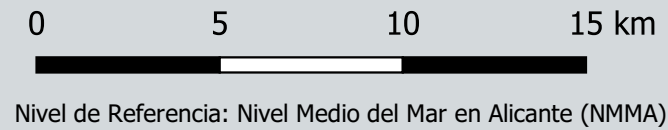
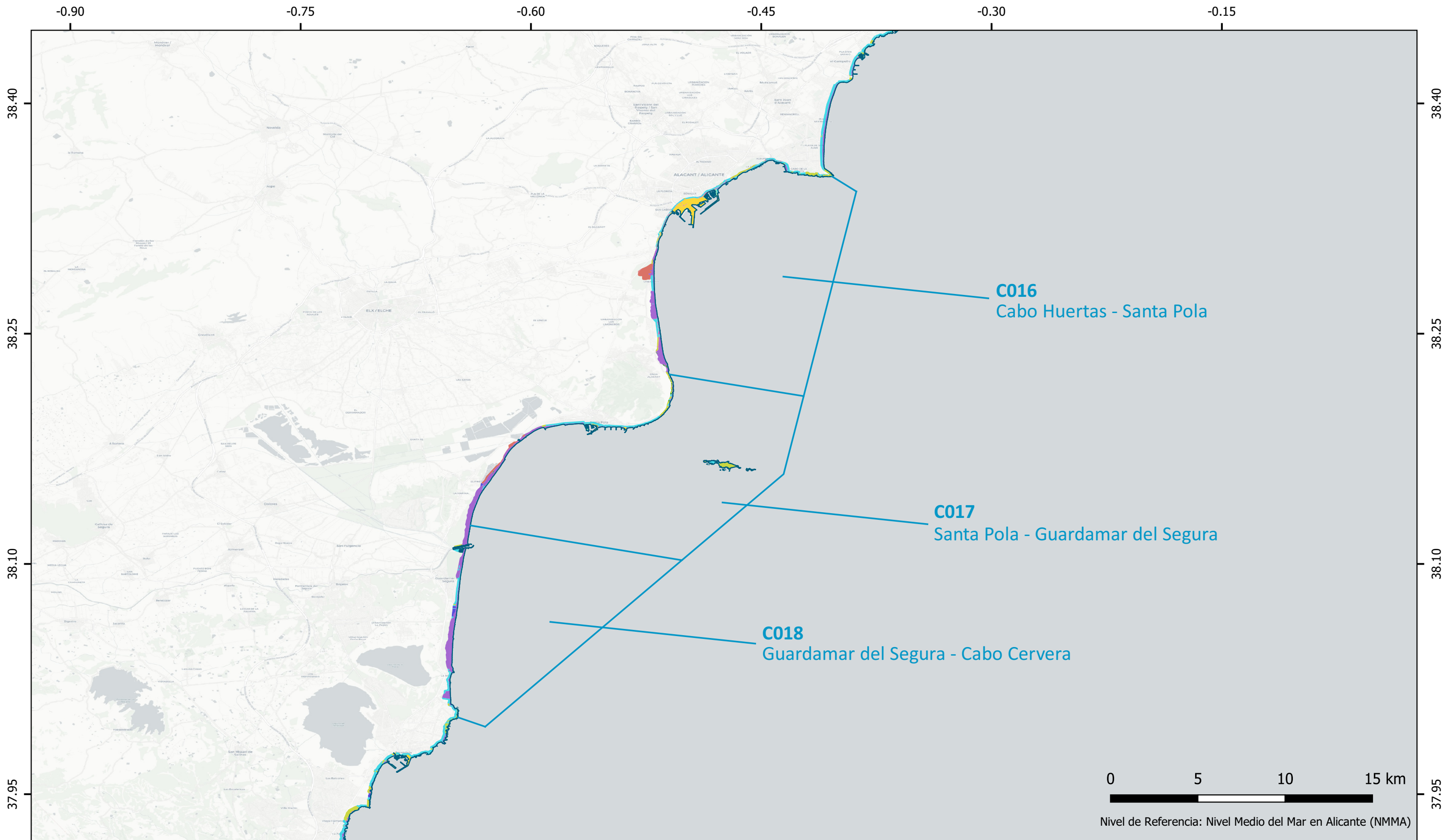
TÍTULO DEL PLANO:
MORFOLOGÍA MARINA



FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000

Nº DE PLANO:
3



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Bosques y áreas arboladas | Puertos deportivos |
| Infraestructuras viarias | Superficies urbanizables |
| Matorral y/o herbáceas | Uso agrario |
| Playas y dunas | Zonas húmedas |
| Puertos comerciales | |

TÍTULO DEL PLANO:
USOS DEL SUELO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000

Nº DE PLANO:
4

-0.60 -0.55 -0.50 -0.45 -0.40 -0.35 -0.30

38.35

38.35

38.30

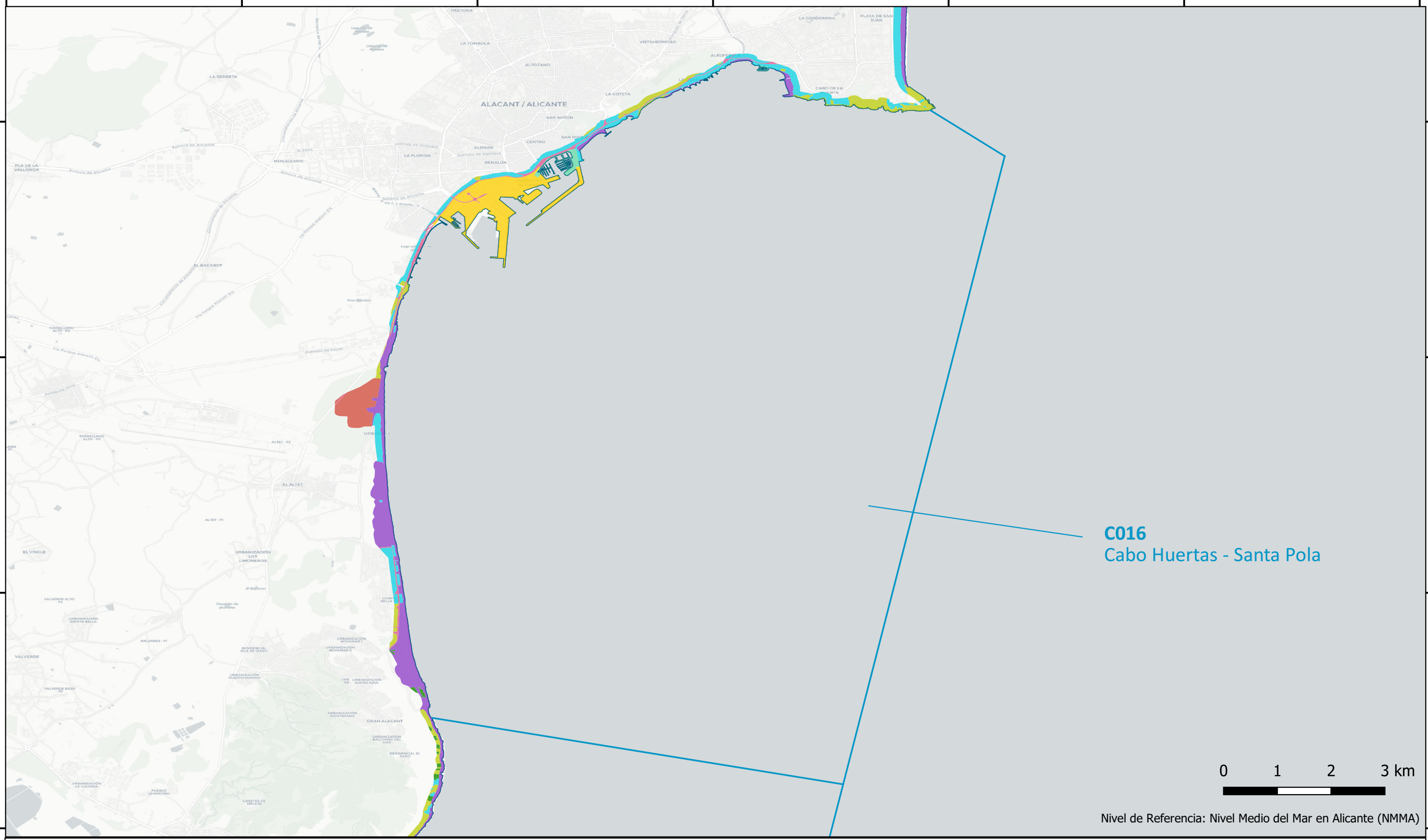
38.30

38.25

38.25

38.20

38.20



C016
Cabo Huertas - Santa Pola



Nivel de Referencia: Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y
PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

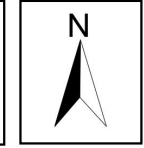
TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la
caracterización de la masa de agua costera
C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura):
análisis de las posibles fuentes de
contaminación por nutrientes y propuesta de
medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Bosques y áreas arboladas | Puertos deportivos |
| Infraestructuras viarias | Superficies urbanizables |
| Matorral y/o herbáceas | Uso agrario |
| Playas y dunas | Zonas húmedas |
| Puertos comerciales | |

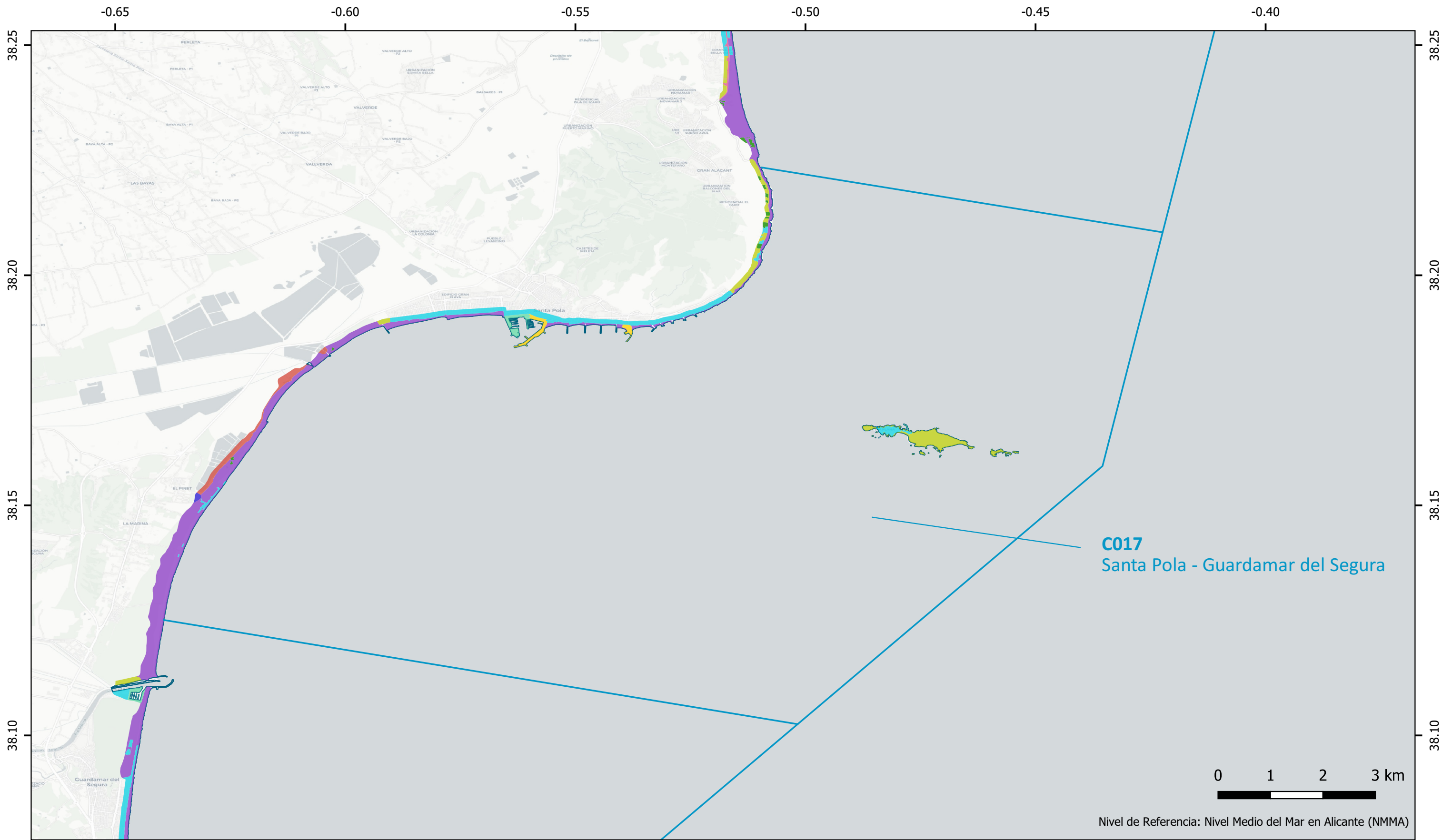
TÍTULO DEL PLANO:
USOS DEL SUELO
MASA DE AGUA C016



FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000

Nº DE PLANO:
4.1



Nivel de Referencia: Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)

ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

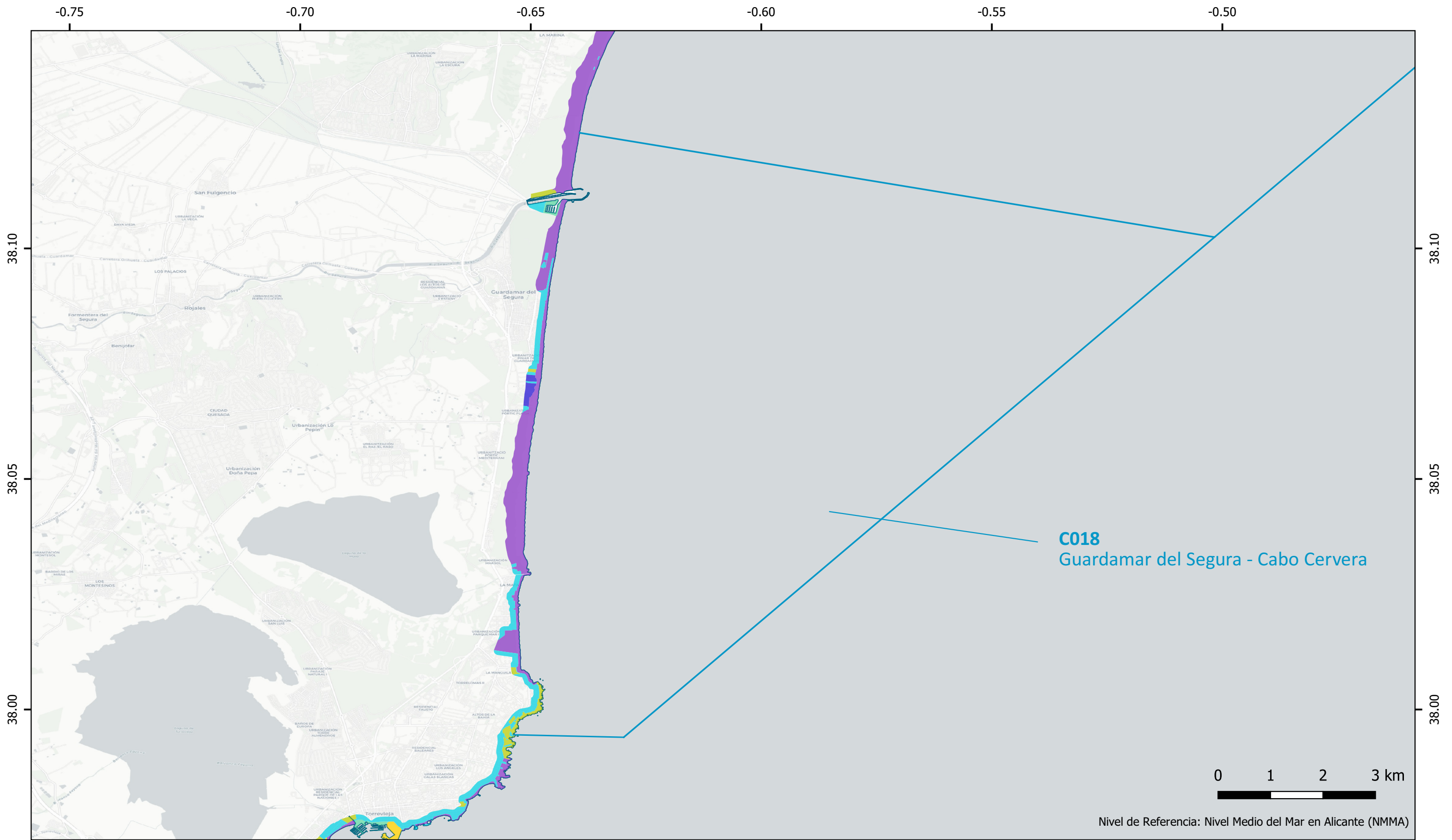
| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Bosques y áreas arboladas | Puertos deportivos |
| Infraestructuras viarias | Superficies urbanizables |
| Matorral y/o herbáceas | Uso agrario |
| Playas y dunas | Zonas húmedas |
| Puertos comerciales | |

TÍTULO DEL PLANO:
USOS DEL SUELO
MASA DE AGUA C017

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000

Nº DE PLANO:
4.2



C018
Guardamar del Segura - Cabo Cervera



Nivel de Referencia: Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Bosques y áreas arboladas | Puertos deportivos |
| Infraestructuras viarias | Superficies urbanizables |
| Matorral y/o herbáceas | Uso agrario |
| Playas y dunas | Zonas húmedas |
| Puertos comerciales | |

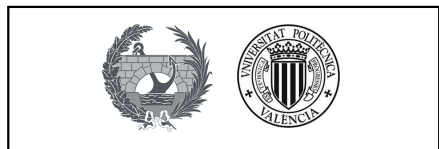
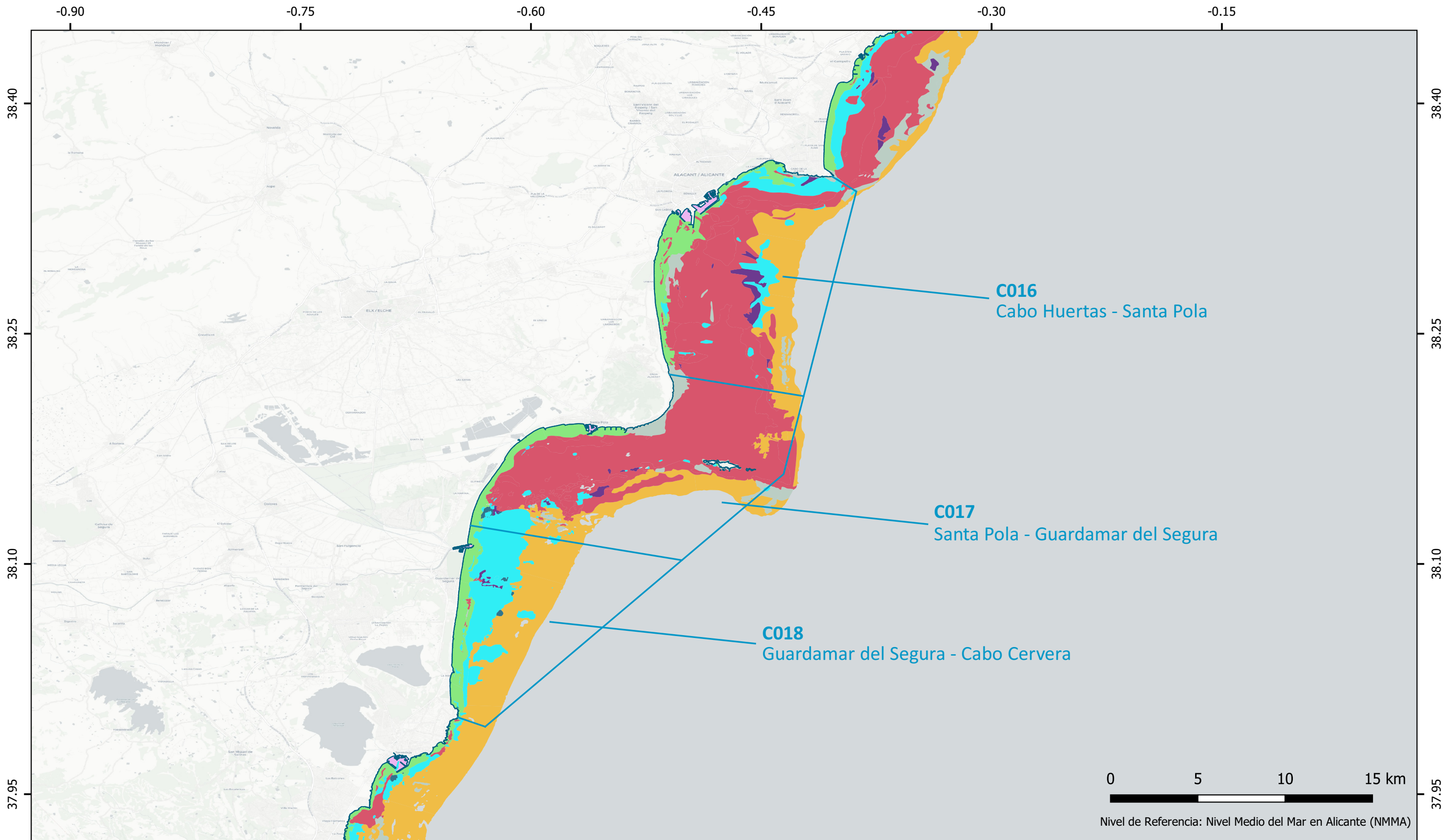
TÍTULO DEL PLANO:
USOS DEL SUELO
MASA DE AGUA C018



FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000

Nº DE PLANO:
4.3



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

- LEYENDA:**
- Comunidad de Algas Fotófilas
 - Pradera de Fanerógamas
 - Comunidad de Arenas Finas
 - Pradera de Posidonia oceanica
 - Comunidad de Fondos Detríticos Enfangados
 - Zonas alteradas
 - Poblamiento de Cubetas y Canales Intermata

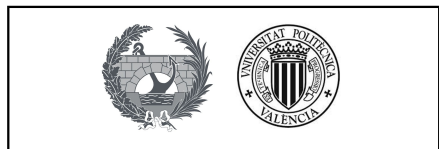
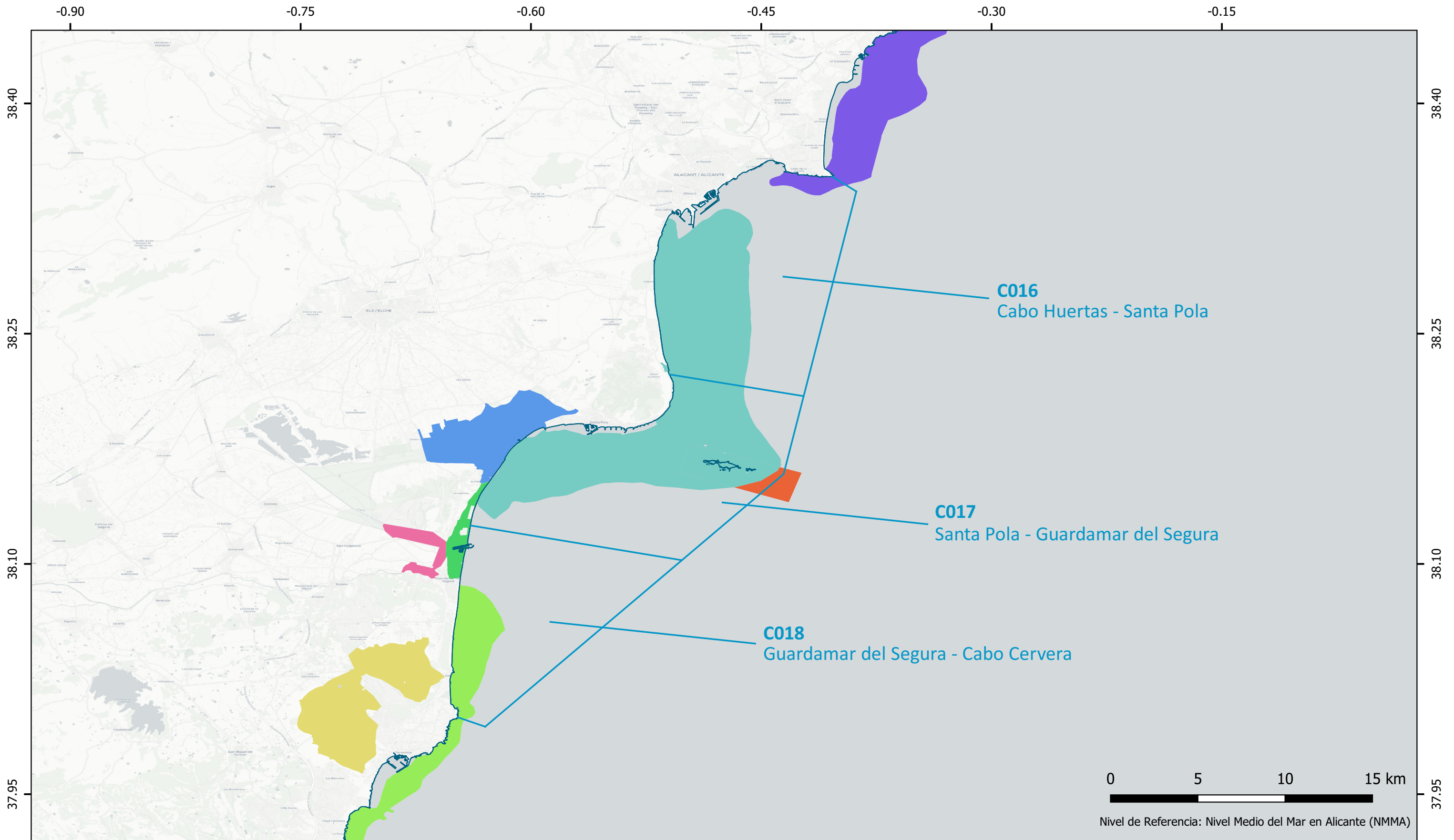
TÍTULO DEL PLANO:
COMUNIDADES MARINAS

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000



Nº DE PLANO:
5



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

| | |
|-------------------------------|--|
| Cabo de la Horta (LIC) | Desembocadura y Frente Litoral del Segura (ZH) |
| Cabo Roig (LIC) | Lagunas de la Mata y Torrevieja (PN-RAMSAR-ZEPA-LIC-ZH) |
| Isla de Tabarca (LIC) | Salinas de Santa Pola (PN-RAMSAR-ZEPA-LIC-ZH) |
| Dunas de Guardamar (LIC - ZH) | Zona de reserva marina en Isla de Tabarca (Reserva Marina) |

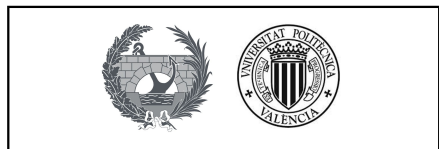
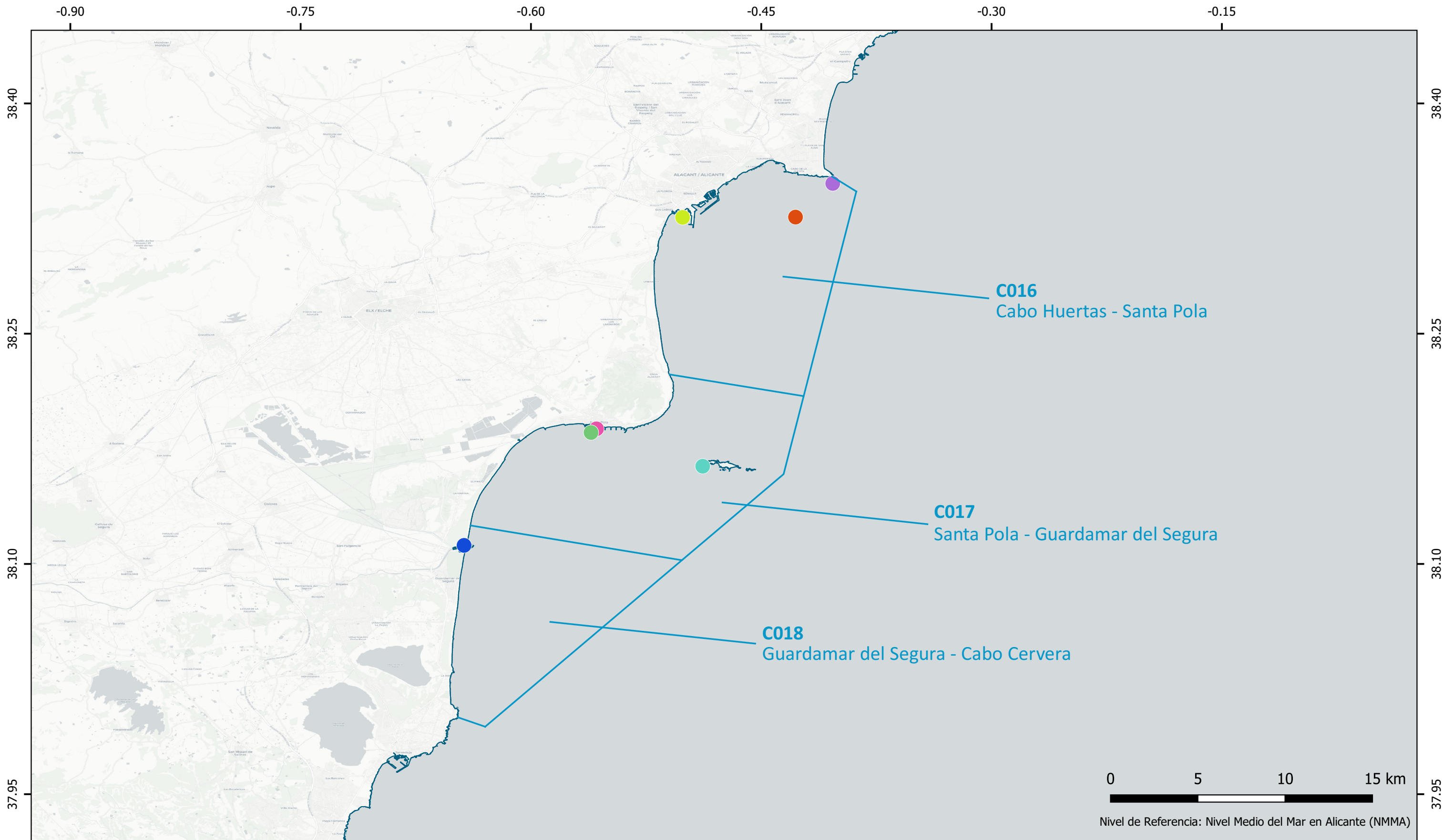
TÍTULO DEL PLANO:
PATRIMONIO NATURAL

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000



Nº DE PLANO:
6



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

- LEYENDA:**
- Ayuntamiento de Alicante 1
 - Mancomunitat de l'Alacantí
 - Ayuntamiento de Alicante 2
 - Promociones Marsans S.L.
 - Ayuntamiento de Guardamar del Segura
 - Terminales Marítimas del Sureste S.A
 - Cepsa Comercial petróleo SAU

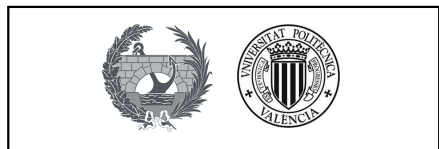
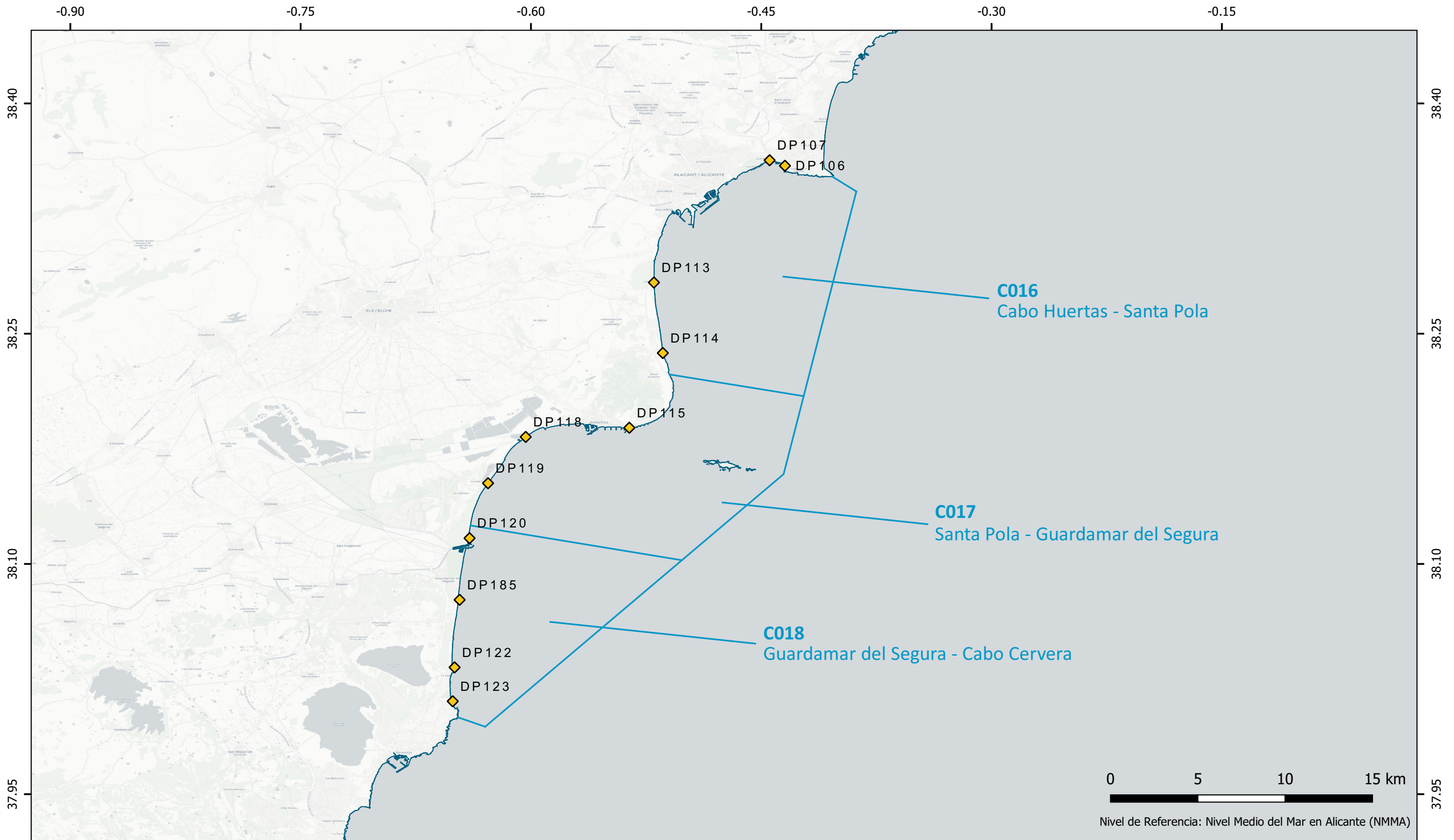
TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LOS VERTIDOS AUTORIZADOS DESDE TIERRA AL MAR

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000



Nº DE PLANO:
7



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

- ◆ Estaciones de muestreo
- Delimitación de las masas de agua costera según MITECO
- Línea de cota: 0 m

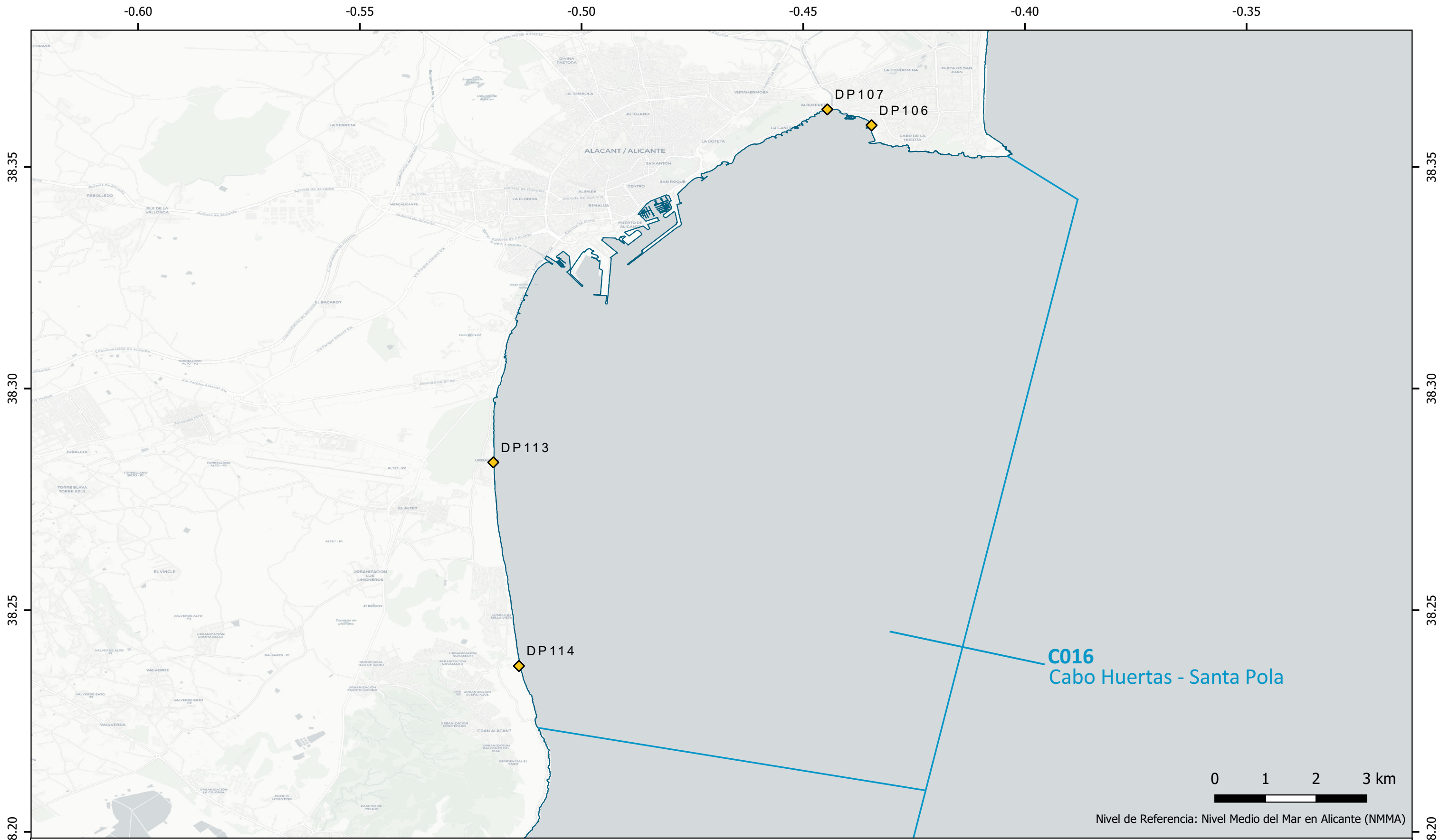
TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 150.000



Nº DE PLANO:
8



C016
Cabo Huertas - Santa Pola



Nivel de Referencia: Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

- Estaciones de muestreo
- Delimitación de las masas de agua costera según MITECO
- Línea de cota: 0 m

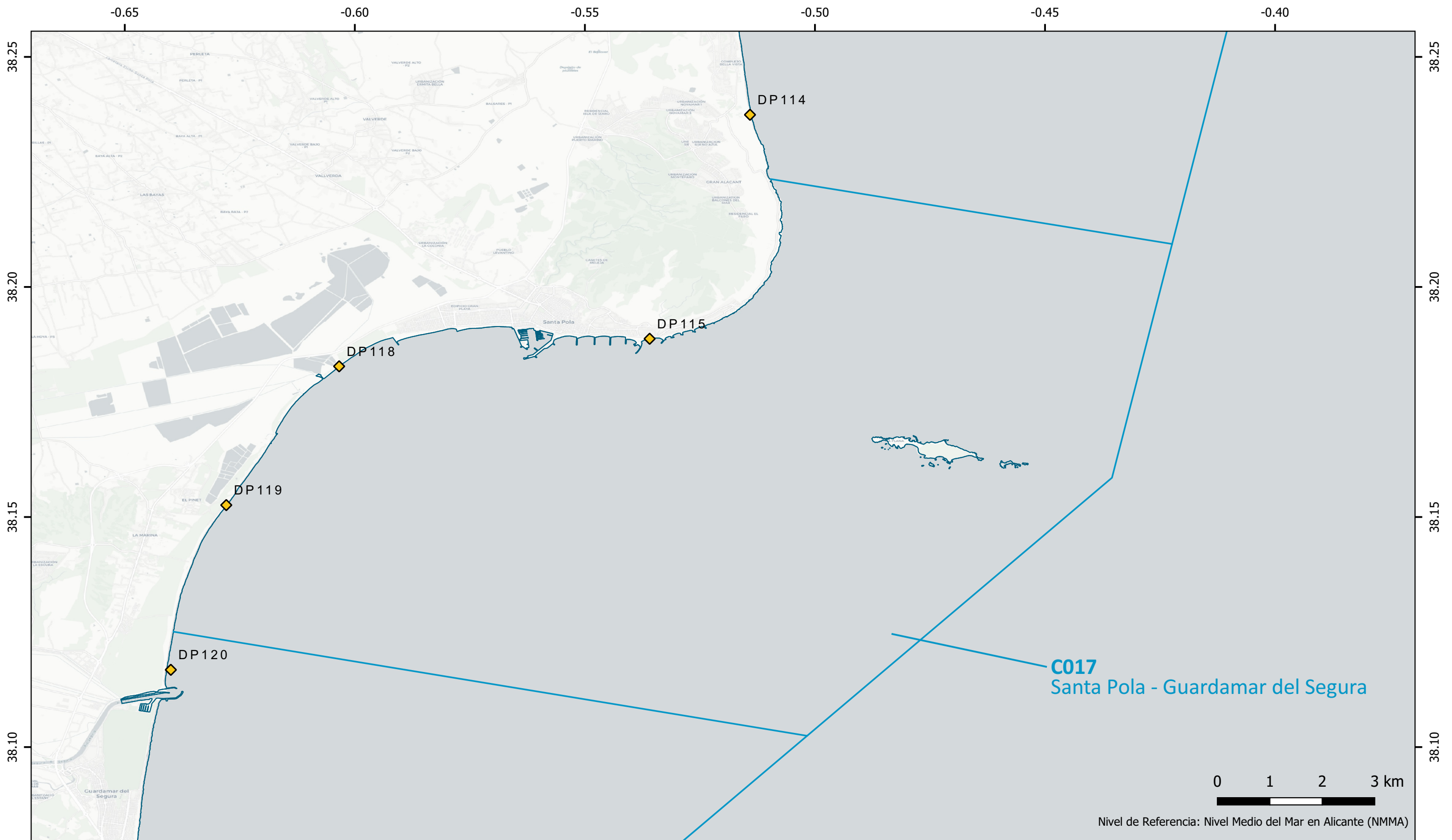
TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO
MASA DE AGUA C016

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000



Nº DE PLANO:
8.1



C017
Santa Pola - Guardamar del Segura

0 1 2 3 km

Nivel de Referencia: Nivel Medio del Mar en Alicante (NMMA)



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

- Estaciones de muestreo
- Delimitación de las masas de agua costera según MITECO
- Línea de cota: 0 m

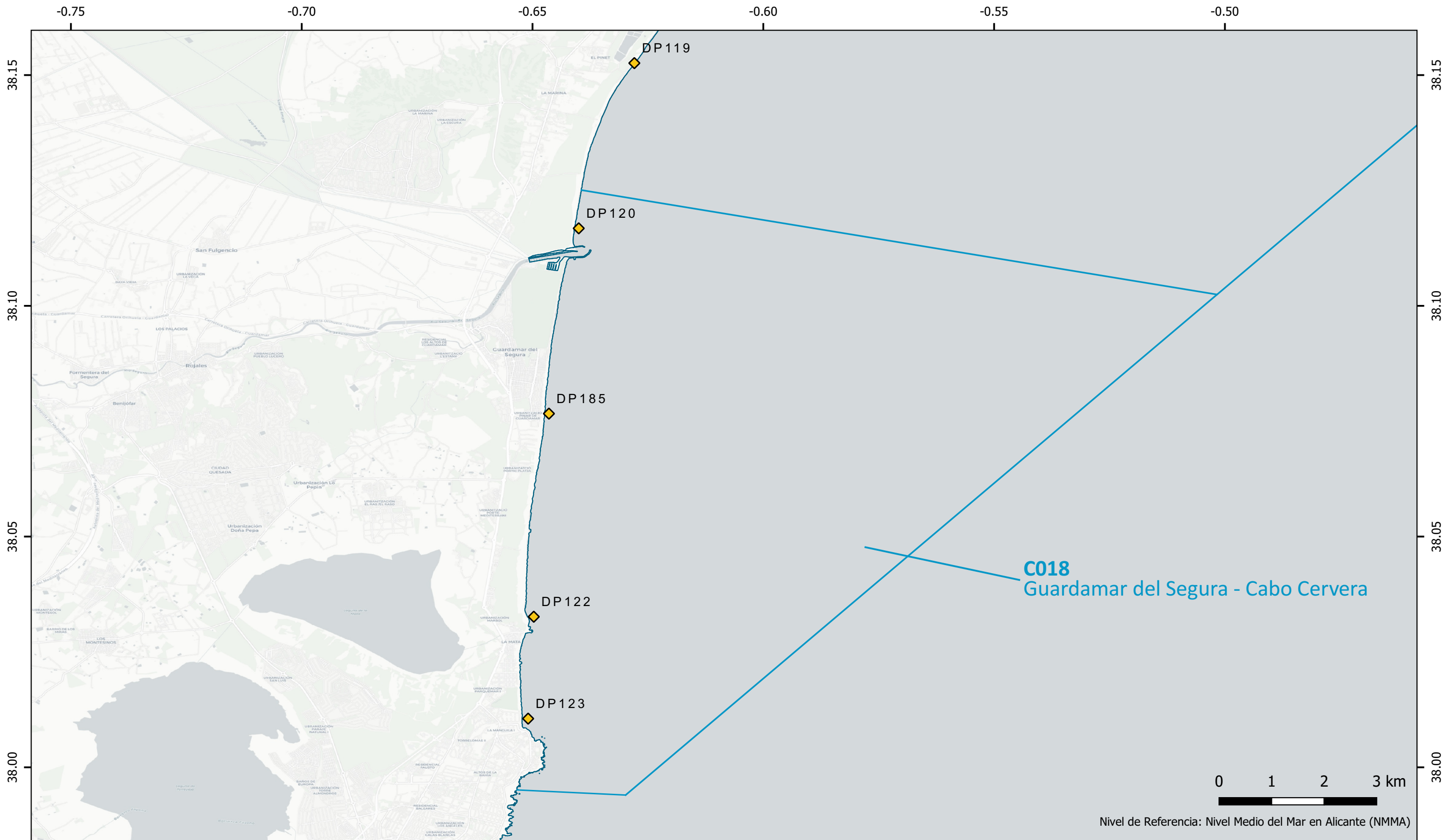
TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO MASA DE AGUA C017

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000



Nº DE PLANO:
8.2



ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

TÍTULO DEL ESTUDIO:
Estudio de dinámica litoral para la caracterización de la masa de agua costera C017 (Santa Pola – Guardamar del Segura): análisis de las posibles fuentes de contaminación por nutrientes y propuesta de medidas de gestión.

AUTORA:
PATRICIA CAMBRONERO ARRIBAS

LEYENDA:

- ◆ Estaciones de muestreo
- Delimitación de las masas de agua costera según MITECO
- Línea de cota: 0 m

TÍTULO DEL PLANO:
LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO
MASA DE AGUA C018

FECHA:
SEPTIEMBRE 2020

ESCALA:
1 : 50.000

Nº DE PLANO:
8.3

