

INDEMARES



**EVALUACION de la CONTAMINACIÓN por
VERTIDOS de HIDROCARBUROS en el
ÁMBITO de la RED NATURA 2000**



INDICE:

1. INTRODUCCIÓN

2. METODOLOGÍA

2.1. Caracterización climática

- 2.1.1. Selección de datos disponibles**
- 2.1.2. Análisis de componentes principales**
- 2.1.3. Análisis de clústers**

2.2. Simulación de las condiciones océano – meteorológicas

2.3. Simulación de la deriva del vertido en los puntos de vertido

2.4. Análisis de probabilidad

3. RESULTADOS

3.1. Caracterización climática

- 3.1.1. Alborán y Seco de los Olivos**
- 3.1.2. Banco de Galicia**
- 3.1.3. Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote**
- 3.1.4. Chimeneas de Cádiz**

3.2. Análisis de probabilidad.

- 3.2.1. Alborán y Seco de los Olivos**
- 3.2.2. Banco de Galicia**
- 3.2.3. Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote**
- 3.2.4. Chimeneas de Cádiz**

4. VISUALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS: APLICACIÓN WEB

- 4.1. Descripción técnica**
- 4.2. Ejemplo de resultados**

ANEXOS

1. INTRODUCCIÓN

Los vertidos accidentales de hidrocarburos en el ámbito marino, en especial en entornos protegidos como son los pertenecientes a una Red Natura 2000, siguen siendo un problema evidente a pesar de los esfuerzos destinados a la mejora en las condiciones de seguridad del transporte marítimo y a la implementación de planes de contingencia tanto a nivel público, como privado.

Para el desarrollo de una buena estrategia de prevención y minimización de las posibles consecuencias de un vertido, es fundamental disponer con anterioridad de información sobre el comportamiento más probable que tendrá ese derrame en función de las condiciones meteorológicas y oceanográficas más habituales en la zona.

El objeto de este trabajo es proporcionar la información necesaria para conocer cómo la evolución de un supuesto vertido de hidrocarburo podría llegar a afectar a varias zonas de la red Natura 2000: el Banco de Galicia, las Chimeneas de Cádiz, las montañas submarinas de Alborán y Seco de los Olivos y el Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote. Todo ello realizado en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES y en particular dentro de la acción A12: "Seguimiento y evaluación de la contaminación deliberada por vertidos de hidrocarburos en el ámbito marino de la Red Natura 2000"

Este estudio se ha estructurado en cuatro etapas:

1. **Caracterización Climática:** Recopilación de datos océano-meteorológicos en cada zona de estudio y análisis estadístico con el objetivo de clasificar las configuraciones meteorológicas y agruparlas para conocer cuáles son las más frecuentes en cada zona.
2. **Simulación de las condiciones océano- meteorológicas en la zona de estudio.** Una vez identificadas estas situaciones meteorológicas y su frecuencia de aparición, se seleccionarán días representativos de cada una de ellas en los que se generan en primer lugar los forzamientos de viento y corrientes a través de modelos meteorológicos y oceanográficos.
3. **Simulación de la deriva del vertido en los puntos de vertido.** A partir de los datos de viento y corrientes obtenidos en la etapa anterior y utilizando modelos de dispersión de contaminantes se calculará la deriva de unos trazadores lagrangianos para cada uno de esos días representativos.

4. **Análisis de resultados.** Con los resultados de cada de una de estas simulaciones de deriva se calculará el tiempo de respuesta para cada una de las situaciones meteorológicas tipo obtenidas del análisis estadístico previo de cada zona de estudio y se promediarán los resultados en función de su frecuencia de aparición para aportar también un tiempo de respuesta promedio, además del valor más desfavorable.

Las condiciones océano-meteorológicas en el momento y el lugar en el que tiene lugar un vertido marino de hidrocarburos y la posterior evolución de éstas, son el principal forzamiento en el transporte y dispersión del mismo.

De esta manera, podemos afirmar que una adecuada caracterización de las diferentes situaciones océano-meteorológicas, de la frecuencia de aparición de las mismas y de su distribución en distintas épocas del año, supone un elemento fundamental de cara a elaborar una herramienta genérica que permita evaluar de manera rápida y sencilla los riesgos por contaminación en áreas vulnerables.

Teniendo en cuenta que de entre dichos forzamientos, en buena parte de las situaciones y para los tipos de hidrocarburos más frecuentes, el viento supondrá la mayor contribución al movimiento del vertido, en este trabajo se propone hacer especial hincapié en la clasificación de las situaciones asociadas al viento en superficie sobre el mar en cada una de las áreas de estudio.

2. METODOLOGÍA

2.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

La metodología propuesta consta, para cada una de las áreas de estudio, de las etapas que se detallan a continuación

- A. Selección de los datos disponibles: variables y puntos de estudio
- B. Reducción de la dimensionalidad del problema: análisis de componentes principales (PCA)
- C. Clasificación climática: análisis “clúster”

2.1.1. Selección de datos disponibles

La primera de las tareas a abordar dentro de esta clasificación climática supuso valorar la adecuación de diferentes fuentes de datos a los objetivos del mismo. De forma que había que buscar un conjunto de datos con una distribución espacial (número de puntos) suficientemente numeroso para caracterizar las áreas de estudio y con un conjunto de variables capaces de caracterizar el viento en la zona de interés.

En este sentido se valoraron las siguientes fuentes de datos:

- Estaciones de superficie (tierra) y boyas (mar)
- Datos de satélite
- Reanálisis de modelos globales

Para las que se encontraron los siguientes inconvenientes:

- Escasez de datos de superficie sobre el mar
- Representatividad limitada de los datos sobre tierra para caracterizar el viento local en las zonas de interés
- Huecos en las series temporales de datos (más acusados en las boyas y en los datos de satélite)
- Validez limitada de los datos de satélite en las zonas más próximas a costa
- Accesibilidad a los datos

De manera que finalmente, por las características del estudio, se optó por emplear como datos de viento los provenientes de reanálisis de modelos globales. Se valoró el emplear los reanálisis del modelo global GFS (del NCEP estadounidense) y los del modelo IFS (del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio, el ECWMF). En ambos casos la accesibilidad de los datos era amplia así como la longitud de las series, por lo que se decidió optar por los datos del periodo 1993-2012 incluidos dentro del reanálisis ERA Interim del ECMWF.

El reanálisis ERA Interim, utiliza los datos de observaciones atmosféricas (estaciones de superficie, radiosondeos, satélites, radares, etc.) para generar una representación de las situaciones meteorológicas reales compatibles con la rejilla de 0.75° de resolución horizontal del modelo numérico IFS del ECMWF, considerado como el mejor modelo meteorológico global y con el sistema de asimilación de datos más completo. El ERA Interim es el producto de reanálisis más reciente del ECMWF, cubriendo el periodo desde 1979 hasta la actualidad, y cuyos datos están disponibles bajo una licencia del propio ECMWF que permite tanto su uso para investigación como su uso comercial.

Una vez seleccionada la fuente de datos, y al tratarse de valores en una malla regular, en este caso de resolución horizontal de 0.75° , faltaba seleccionar los puntos concretos de estudio, así como las variables a incluir en el mismo.

En cuanto a la distribución espacial de los puntos, se optó por seleccionar un punto “central” próximo al área de estudio y cuatro puntos alrededor del mismo de manera que cubriesen adecuadamente tanto el área de interés como las zonas en las que se podrían localizar los posibles vertidos de hidrocarburos, tal y como se muestra en la Figura 2.1.1. Así, en función de la extensión espacial de estas áreas de estudio se escogieron puntos de la malla del reanálisis separados 1, 2 ó 3 pasos de malla, según se indicará en cada una de las zonas de estudio.



Fig. 2.1.1: Distribución espacial de los puntos de estudio en el Banco de Galicia. Distancias al punto central: $3 \times 0.75^\circ = 2.25^\circ$

Finalmente, en cuanto a las variables de estudio se decidió emplear exclusivamente el viento (separado en sus componentes zonal, u , y meridional, v). Para recoger en el estudio la variabilidad diaria del viento se consideró suficiente el uso de los datos correspondientes a las 00h UTC y a las 12h UTC.

2.1.2. Reducción de la dimensionalidad: PCA

Según lo descrito en el apartado anterior, tendríamos 20 variables de estudio: 5 puntos \times 2 componentes de viento \times 2 instantes horarios. En concreto:

P0: u_{00_p0} , u_{12_p0} , v_{00_p0} , v_{12_p0}
 P1u: u_{00_p1u} , u_{12_p1u} , v_{00_p1u} , v_{12_p1u}
 P2r: u_{00_p2r} , u_{12_p2r} , v_{00_p2r} , v_{12_p2r}
 P3d: u_{00_p3d} , u_{12_p3d} , v_{00_p3d} , v_{12_p3d}
 P4l: u_{00_p4l} , u_{12_p4l} , v_{00_p4l} , v_{12_p4l}

Se consideró que este era un conjunto adecuado de variables para realizar la caracterización climática del viento en la zona pero resulta evidente que el trabajo de clasificación de los puntos localizados en el espacio definido por estas 20 "coordenadas" podría simplificarse si consiguiésemos analizar adecuadamente las redundancias en los

datos, reducir la dimensionalidad de los mismos y llegar por tanto a un nuevo conjunto de datos igualmente representativo.

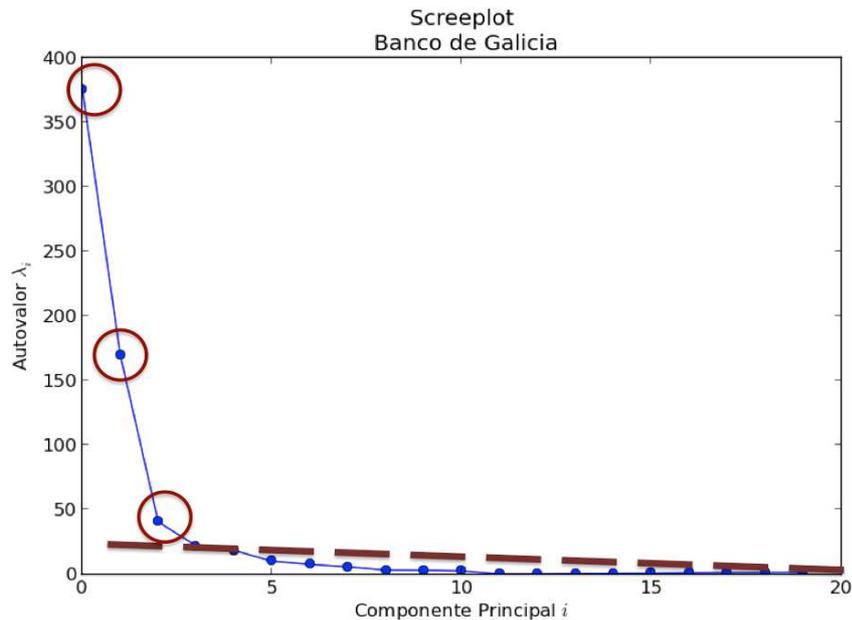


Fig.2.1.2: Ejemplo de autovalores calculados para el área de estudio del Banco de Galicia. Rodeados con un círculo rojo se muestran los correspondientes a las componentes principales seleccionadas mediante la “regla del codo”

Para ello se optó por realizar un análisis de componentes principales, una técnica consistente en generar un nuevo conjunto de variables obtenidas cada una de ellas como una combinación lineal de las 20 variables de origen, es decir:

$$CP_i = a_{1i} \cdot var1 + a_{2i} \cdot var2 + a_{3i} \cdot var3 + \dots + a_{20i} \cdot var20$$

El análisis de componentes principales (PCA) busca obtener estas nuevas variables (CP_i) calculando sus coeficientes (a_i) de manera que la primera componente principal explique la mayor parte de la variabilidad de los datos de origen, la segunda componente principal sería la siguiente en explicar la variabilidad de los datos de origen, y así sucesivamente. Para ello la técnica de PCA lo que hace es diagonalizar la matriz de covarianzas de las variables de origen, lo que formalmente da lugar a un nuevo sistema de coordenadas (las componentes principales) con tantas dimensiones como el original (20, en este caso), y con las características anteriores. Para realizar dicha diagonalización se calculan los autovectores y autovalores de la matriz de covarianzas, siendo precisamente estos últimos (autovectores) los que configuran la matriz de cambio de coordenadas entre las variables originales y las componentes principales.

Lo realmente relevante de este análisis es que permite “concentrar” la mayor parte de la variabilidad de los datos de origen en tan sólo unas

pocas componentes principales, de manera que se puedan obviar las demás, facilitando por tanto la clasificación climática al pasar de un conjunto de datos con 20 dimensiones a un conjunto de datos prácticamente equivalente con tan sólo 2,3 ó 4 variables, por ejemplo.

Para esta técnica de reducción de la dimensionalidad existen diferentes criterios para escoger el número de componentes principales con el que quedarse. La mayor parte de estos criterios tienen cierta componente subjetiva en la selección definitiva del número de componentes principales a mantener, y prácticamente todos ellos se basan en el hecho de que cada uno de los autovalores calculados está íntimamente relacionado con la varianza explicada por la componente principal correspondiente.

En este trabajo se empleó una técnica gráfica, “la regla del codo” con el gráfico de sedimentación (“screeplot”), junto a una técnica cuantitativa al escoger un valor de corte para la varianza explicada. La “regla del codo” requiere de encontrar el “codo” en una gráfica, como la mostrada en la figura 2.1.2, en la que se representan los autovalores en orden descendente. Para ello se ajustan a una recta los valores más pequeños, y se seleccionarían las componentes principales cuyos autovalores quedasen por encima de dicha recta.

Por otra parte el valor relativo de cada autovalor respecto de la suma de todos ellos nos da una estimación de la varianza explicada por la componente principal correspondiente. Comúnmente se suele considerar un 75% de la varianza como un valor de corte aceptable, aunque en este caso, se estimó que una varianza alrededor del 90% sería deseable, como se puede ver en el ejemplo de la figura 2.1.3.

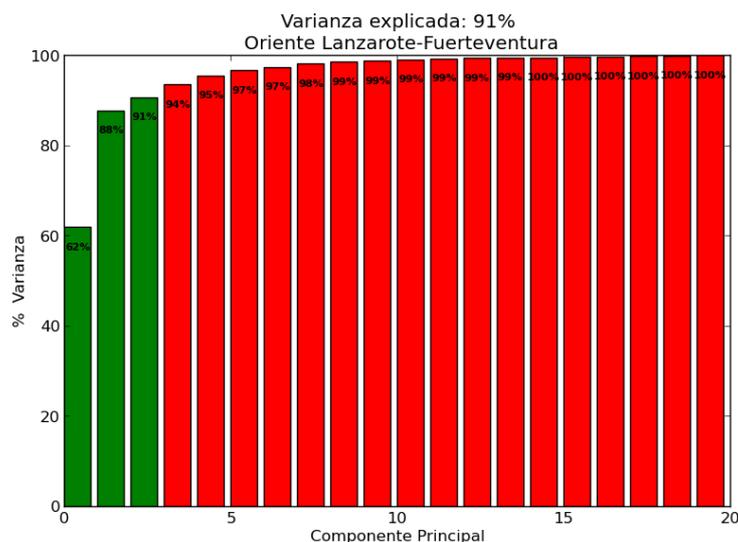


Fig. 2.1.3: Varianza explicada por las 3 primeras componentes principales (en verde) en el área

de estudio del Oriente y Sur de Lanzarote y Fuerteventura.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, y dada la gran similitud en los gráficos de sedimentación para las cuatro áreas de estudio, se decidió mantener en todas ellas las 3 primeras componentes principales que, en general, son suficientes para explicar un 90% de la varianza y que, por otra parte, permitirían, de ser necesario una fácil representación gráfica de la distribución de los puntos en la base de coordenadas formada por las 3 primeras componentes principales, tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 2.1.4.

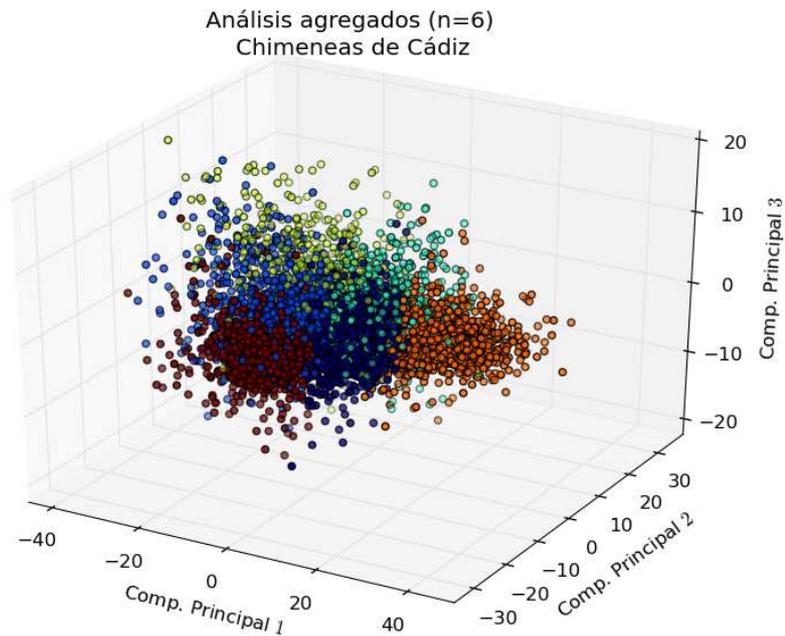


Fig. 2.1.4: Proyección de los datos originales en la base de coordenadas formada por las 3 primeras componentes principales para el área de las Chimeneas de Cádiz. Se muestran también los colores correspondientes a un división en 6 agregados (“clústers”)

2.1.3. Clasificación climática: Análisis “CLÚSTER”

Finalmente, una vez reducida la dimensionalidad del problema a tan sólo 3 variables, faltaría aún hacer la clasificación de las diferentes situaciones meteorológicas asociadas a cada tipo de viento. Para ello se recurrió a un análisis “clúster” de los datos proyectados en las 3 primeras componentes principales.

El objetivo de este análisis es encontrar un número de situaciones diferentes lo suficientemente pequeño para no cargar de cálculo las siguientes etapas del estudio relacionadas con la modelización de los vertidos contaminantes. Pero por otra parte, el número de configuraciones diferentes ha de ser lo suficientemente elevado para

que no aparezcan mezclas condiciones meteorológicas semejantes y se encuentren estructuras razonables en los patrones de viento, para posteriormente tener bien reflejadas todas las condiciones posibles a la hora de calcular la dispersión de los posibles vertidos.

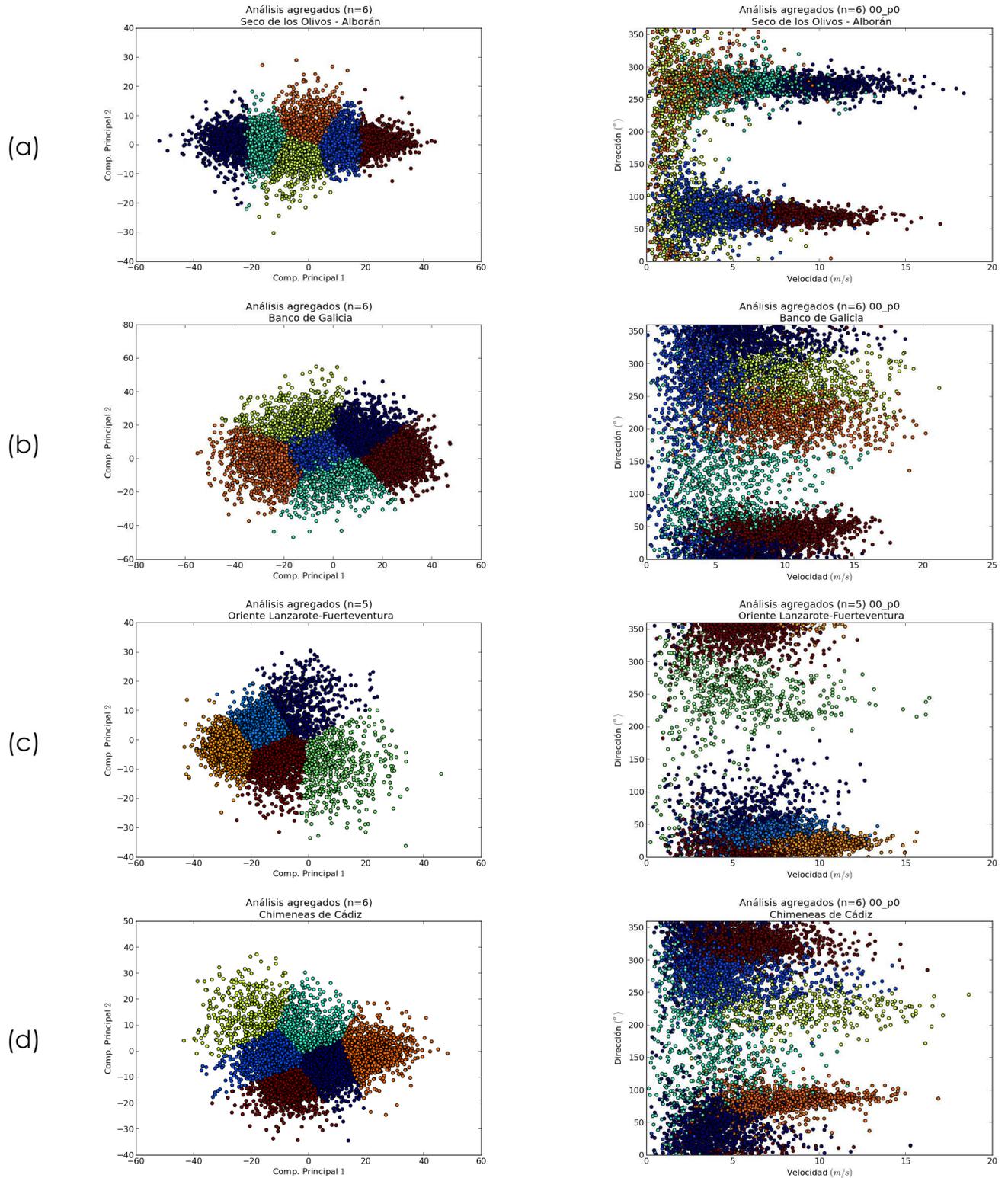


Fig. 2.1.5: Resultado del análisis “clúster” de los datos proyectados en las dos primeras componentes principales (columna izquierda) y representando el módulo y dirección del viento a las 00h UTC en el punto central, p0, de cada área de estudio (columna

derecha): (a) Seco de los Olivos-Alborán, (b) Banco de Galicia, (c) Oriente y Sur de Lanzarote-Fuerteventura, (d) Chimeneas de Cádiz

Para cada una de las áreas de estudio se realizaron diferentes clasificaciones con números de “clústers” entre 4 y 8 en el Oriente de Lanzarote-Fuerteventura y en el Seco de los Olivos-Alborán y entre 6 y 12 en el Banco de Galicia y las Chimeneas de Cádiz. Tras analizar los resultados para todas estas clasificaciones diferentes se acabó escogiendo aquella capaz de reconocer los principales patrones de viento con el menor número de divisiones o “clústers”.

Además se estudiaron los datos de viento en dos situaciones diferentes: considerando todos los datos disponibles o eliminando los datos con viento en calma, para lo cual se tomaron como calmas los vientos por debajo de 1.5 m/s (unos 5 km/h, menor de fuerza 1 en la escala Beaufort). La eliminación de los datos de calmas permitía que la separación posterior en “clústers” fuese más nítida, sin embargo requería realizar ciertas suposiciones sobre las situaciones de calmas en las fases posteriores del proyecto. Teniendo en cuenta que dichas situaciones de calma en alguna de las áreas de estudio llegaban a superar el 33% de la frecuencia anual, y considerando que la separación realizada en “clústers” con el conjunto completo de datos separaba razonablemente bien las situaciones de viento en calma del resto, finalmente se decidió emplear como definitivos los análisis “clúster” del conjunto completo de datos.

Para realizar este análisis se utilizó la técnica denominada “k-medias” que divide el conjunto de datos de partida de manera iterativa en n subconjuntos, cada uno de ellos formado por aquellos puntos cuya distancia al centroide del subconjunto al que pertenecen es menor.

2.2. SIMULACIÓN DE LAS CONDICIONES OCÉANO- METEOROLÓGICAS

Para la caracterización océano-meteorológica de las zonas de estudio se ha tenido en cuenta la disponibilidad de datos de diferentes organismos, para así poder calibrar la necesidad de ejecutar modelos específicos en las zonas de estudio.

Se estudió la cobertura tanto espacial como temporal disponible, haciendo especial hincapié en las peculiaridades de cada una de las zonas de estudio propuestas en cada uno de los escenarios: el Banco de Galicia, las Chimeneas de Cádiz, las montañas submarinas de Alborán y Seco de los Olivos y el Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote. Con estas premisas se analizaron las siguientes fuentes de datos:

- Para la caracterización hidrodinámica (modelo de corrientes): Existen varias fuentes de datos de calidad para los escenarios propuestos. Entre todas ellas, destacan los productos desarrollados por el consorcio Mercator Ocean, muchos de los cuales están disponibles a través de la plataforma MyOcean. En la actualidad existe un modelo denominado NEMO que produce predicción de variables oceánicas a 5 días con una resolución horizontal de 1/36 de grado. Una de las características más destacables es la inclusión de la marea en los pronósticos realizados con este modelo, por lo que constituye la fuente de datos ideal para este objetivo.
- Para la caracterización meteorológica: Se han contemplado en el estudio varias fuentes de datos de diversas instituciones. Los resultados del modelo meteorológico mesocalar WRF están disponibles en MeteoGalicia con resoluciones que van desde los 4km en Galicia hasta los 36 km en las Islas Canarias (Fig. 2.2.5). Para la mayoría de las zonas de estudio, las resoluciones se consideran adecuadas, sin embargo, para el caso de los escenarios situados en Lanzarote y Fuerteventura, se ha recurrido al modelo IFS (Integrated Forecast System) del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) ya que la resolución del anterior se consideró insuficiente, frente a los aproximadamente 14 km de resolución del modelo del Centro Europeo y la calidad que este aporta.

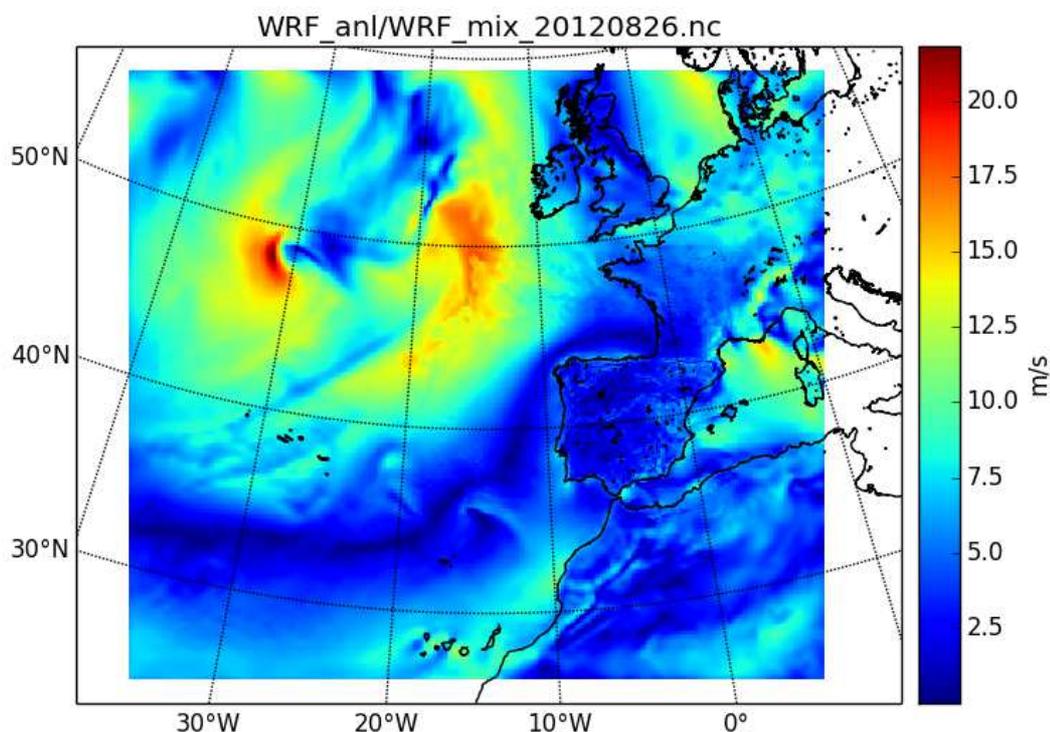


Fig. 2.2.5: Modulo de viento del modelo WRF de MeteoGalicia para el día 26/08/2012 a las 12 UTC. Se representa una interpolación a 12 km de la composición de los modelos de 36 y 12 km.

| Nombre | Descripción | Resolución | Disponibilidad | Institución |
|--------|---|------------|------------------|--------------------|
| NEMO | Nucleus for European Modelling of the Ocean | 1/36 ° | Desde 31/03/2011 | Puertos del Estado |
| WRF | Weather Research & Forecasting Model | 4 Km | Desde 01/01/2008 | MeteoGalicia |
| IFS | Integrated Forecast System | 1/8 ° | Desde 1979 | ECMWF |

Tabla 2.2.1: Fuentes de datos utilizadas durante el estudio.

Para garantizar la calidad en los resultados posteriores, se consideró necesario llevar a cabo una sencilla verificación de los datos provenientes del modelo meteorológico que se emplearán en las siguientes partes del estudio. Para ello, se compararon los resultados del modelo meteorológico WRF de 12km de resolución (WRF12km) con los datos registrados en las boyas de Puertos del Estado más próximas a las zonas de interés. Como se puede observar en la tabla 2.2.2., los valores de los índices estadísticos son similares a los obtenidos en estudios anteriores (Penabad et al., 2008)

| Área de estudio | Boya | M.E. | M.A.E. | R.M.S.E. |
|------------------------------|----------------|------|--------|----------|
| Banco de Galicia | Cabo Silleiro | 0.41 | 3.23 | 4.06 |
| Seco de los Olivos – Alborán | Cabo de Gata | 0.98 | 3.35 | 4.18 |
| Chimeneas de Cádiz | Golfo de Cádiz | 1.10 | 2.82 | 3.59 |

Tabla 2.2.2: Validación de la velocidad del viento (m/s) predicha por el modelo meteorológico en las áreas de estudio. ME (mean error): error medio, MAE (mean absolute error): error medio absoluto, RMSE (root mean square error): raíz cuadrada del error cuadrático medio.

Adicionalmente a este pequeño análisis cuantitativo, se comprobó de forma cualitativa la capacidad del modelo para resolver las distintas situaciones meteorológicas. Como se puede observar en las figuras 2.2.2 y 2.2.3, correspondientes a la validación en Cabo Silleiro, el modelo es capaz de resolver adecuadamente tanto las transiciones entre los distintos regímenes de vientos: en calma, vientos intensos, de dirección variable, rolamientos, etc.

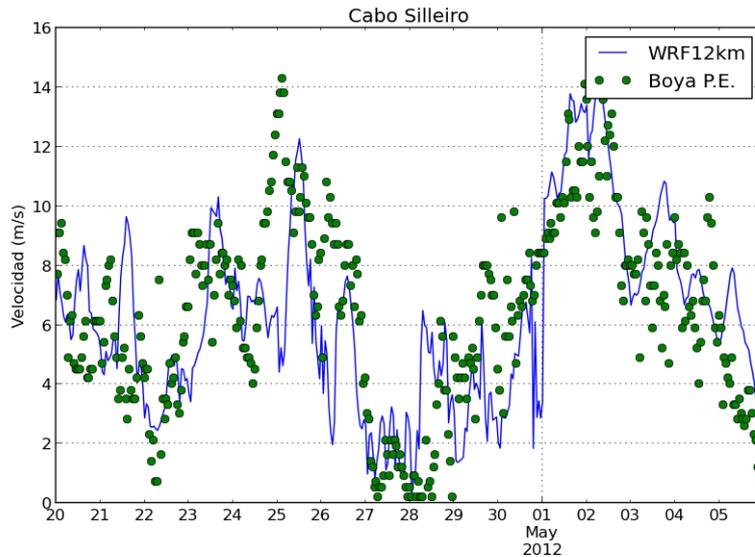


Fig. 2.2.2: Comparación de la velocidad de viento predicha por el modelo (WRF12km) con la registrada en Cabo Silleiro (Boya P.E.)

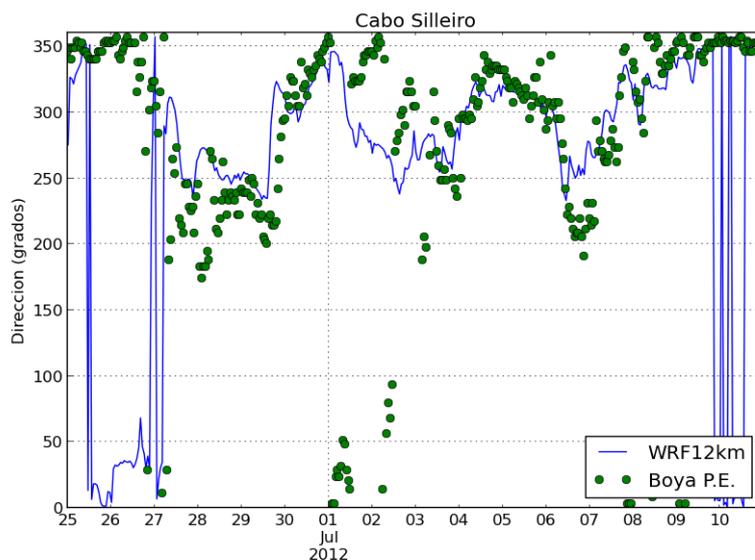


Fig. 2.2.3: Comparación de la dirección de viento predicha por el modelo (WRF12km) con la registrada en Cabo Silleiro (Boya P.E.)

2.3. SIMULACIÓN DE LA DERIVA DEL VERTIDO EN LOS PUNTOS DE VERTIDO

Para simular la deriva de los posibles vertidos se consideraron diferentes modelos numéricos, pero finalmente se eligió un modelo lagrangiano de transporte que constituye un estándar en la elaboración de planes de contingencia denominado [GNOME](#) (General NOAA Operational

Environment) creado y distribuido por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). El modelo calcula las trayectorias de los posibles vertidos en forma de elementos o trazadores lagrangianos, utilizando para el cálculo de las trayectorias individuales los datos de las condiciones océano-meteorológicas, las incertidumbres asociadas a estos campos y la difusión turbulenta (Fig. 2.3.1.).

Con este modelo se puede seguir el desplazamiento realizado por cada una de las partículas de forma individual y conocer su posición en cualquier instante posterior al lanzamiento, por lo que se podrá analizar cuando y cuantas llegan a cada una de las áreas de estudio.

Las trayectorias generadas por este modelo constituirán, por tanto, la base a partir de la cual se realizarán las estadísticas para cada época del año que se considere representativa de la zona de estudio.

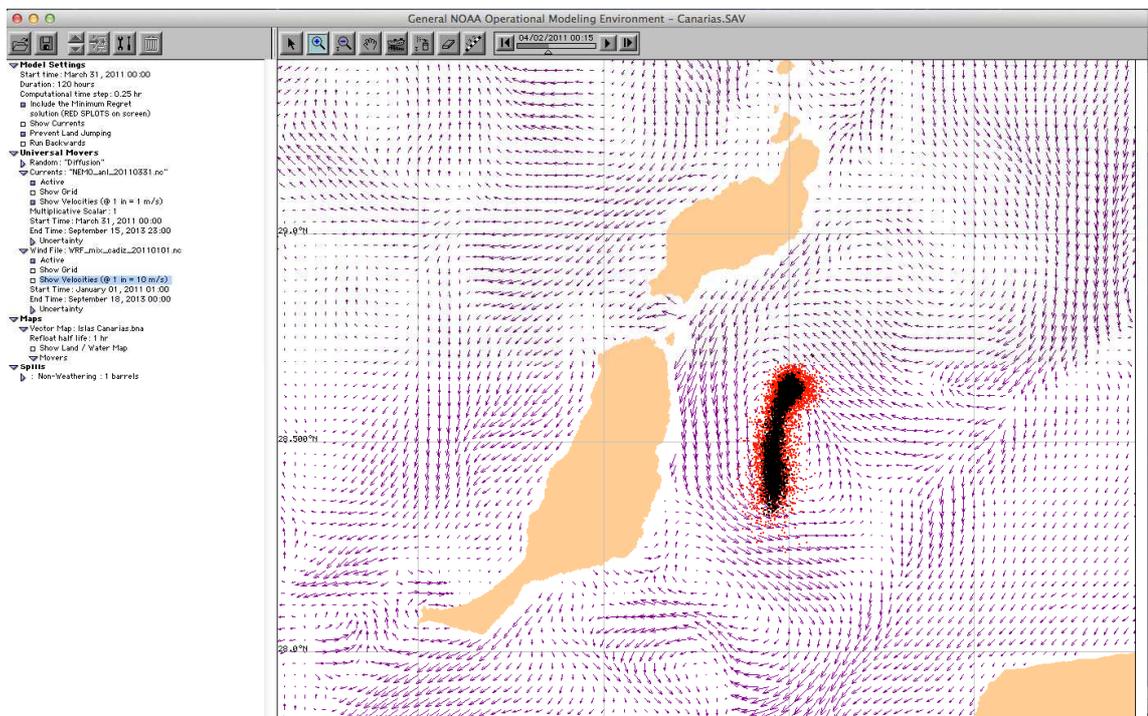


Fig. 2.3.1: NOAA GNOME simulando un vertido superficial entre Lanzarote y Fuerteventura. Los vectores representan las corrientes superficiales obtenidas del modelo NEMO. El vertido se simula por medio de 5000 elementos lagrangianos.

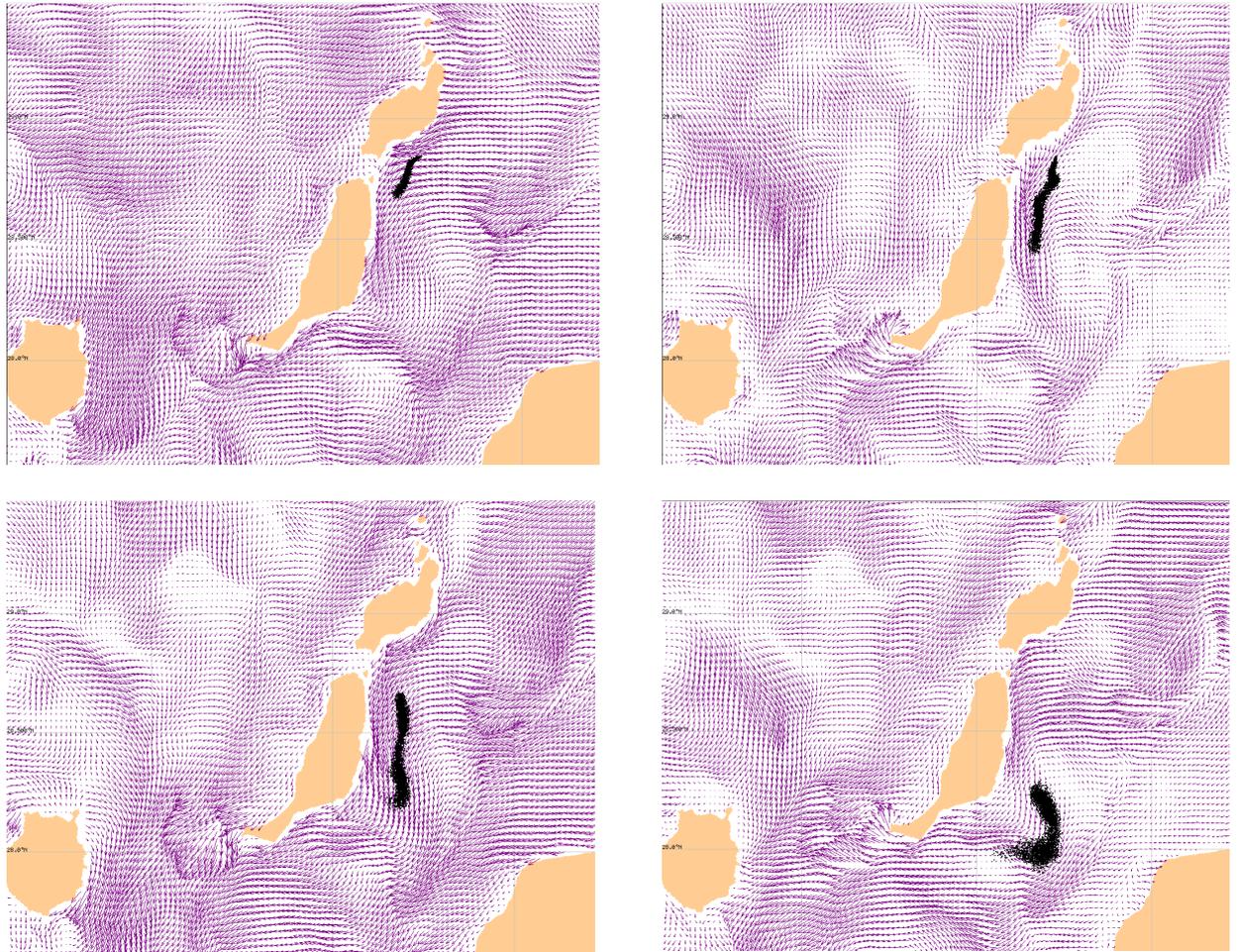


Fig. 2.3.2: Evolución de la simulación de un vertido con emisión continua durante un total de 18 horas. Las imágenes fijas están tomadas cada 12 horas de simulación. Se representa el campo de corrientes superficiales del modelo NEMO.

Con el objetivo de tener un resultado final lo más realista posible se aceptaron las siguientes premisas:

- Las simulaciones de deriva tendrían un horizonte temporal de 72 horas. Tiempo suficiente para que un vertido superficial pueda alcanzar la costa.
- Las simulaciones de deriva no tendrían un inicio temporal fijo. Se consideraron 84 horas de simulaciones océano-meteorológicas y la hora inicial del supuesto vertido se escogió aleatoriamente entre las 12 primeras horas del día. De esta forma, al elegir diferentes instantes iniciales se introducía una componente aleatoria para hacer que efectos como la marea del propio día o condiciones océano-meteorológicas muy particulares en una hora concreta influyesen en el resultado posterior.
- En cada simulación se consideraron 5.000 lagrangianos con el objetivo de obtener una correcta dispersión del vertido simulado. Cada uno de los lagrangianos está sometido a un forzamiento del viento variable (entre un 1 y un 4% de la intensidad del viento)

simulando el distinto comportamiento que puede tener el fuel pesado (que se desplaza más hundido en el agua y por tanto con menor afectación del viento) y el fuel más ligero (que tendría, en comparación, un mayor arrastre del viento en su desplazamiento real)

2.4. ANÁLISIS DE PROBABILIDAD

El análisis de probabilidades se realiza con el objetivo final de estimar el peligro al que está sometido cada área de interés y dentro de ella qué zonas son más vulnerables.

Para ello, se diseñaron un conjunto de herramientas para obtener estadísticas de los vertidos simulados por medio del modelo lagrangiano en las zonas de protección en cada uno de los escenarios simulados.

Antes de analizar la metodología empleada para calcular las probabilidades de llegada de un vertido a las diferentes zonas de estudio, se hace necesario resaltar lo siguiente:

- **Línea de costa.** Los escenarios contemplados en el estudio se encuentran a varias millas de la costa y, por otro lado, el objetivo principal es el estudio del impacto de eventuales vertidos en parques de la red Natura 2000 en el mar, por lo que se ha optado por obtener las líneas de costa de la aplicación on-line de la que dispone la NOAA a tal efecto denominada GOODS (GNOME Online Oceanographic Data Server).

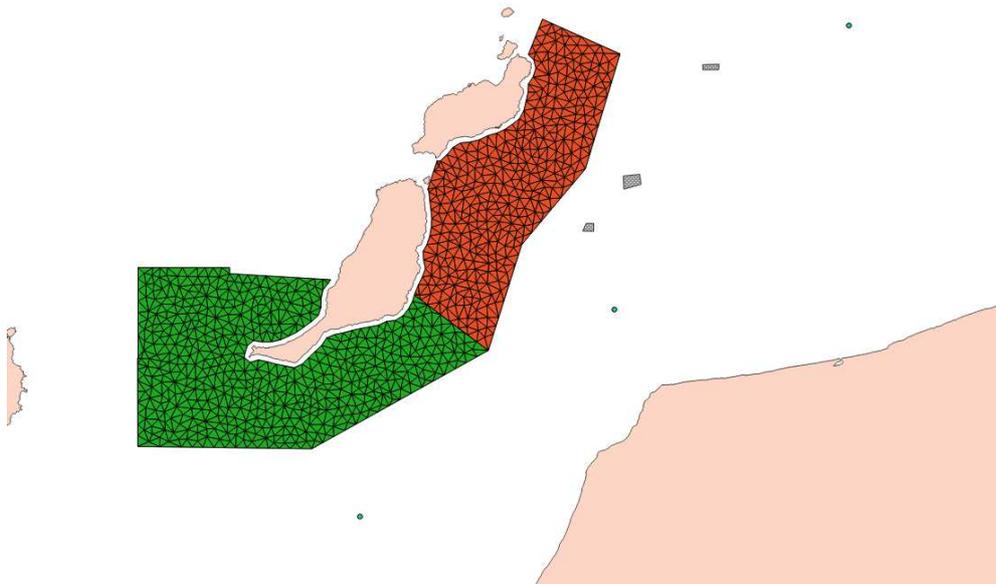
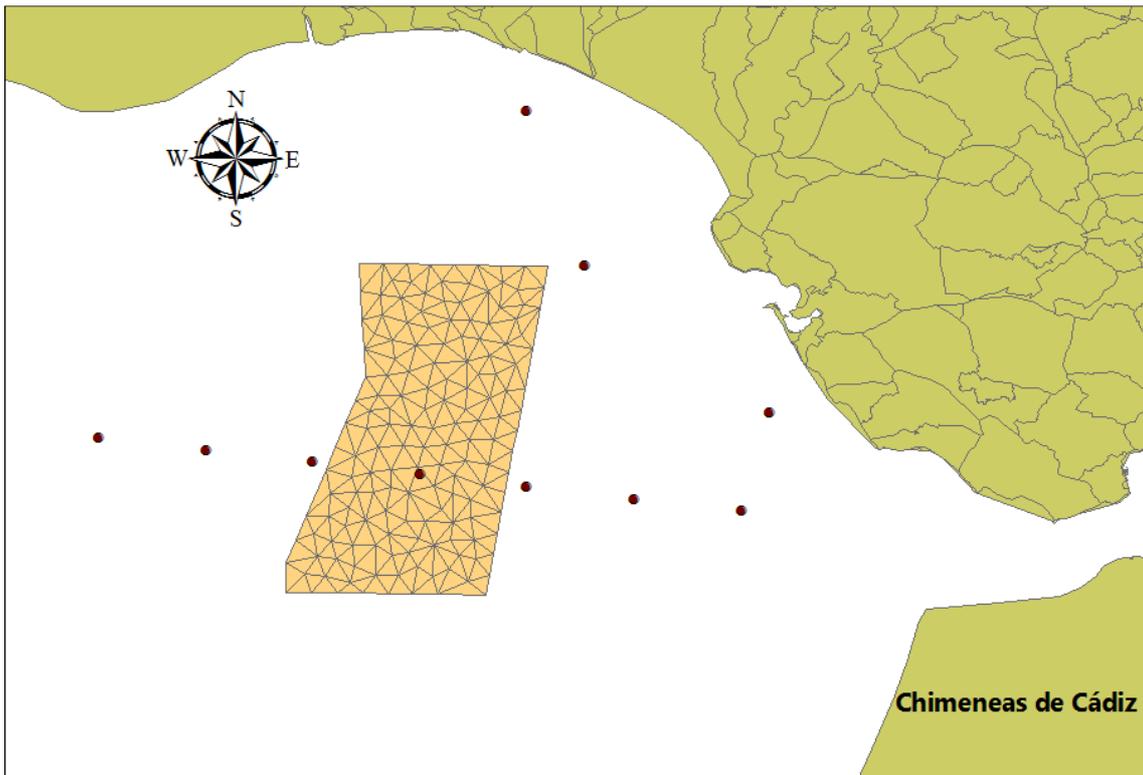
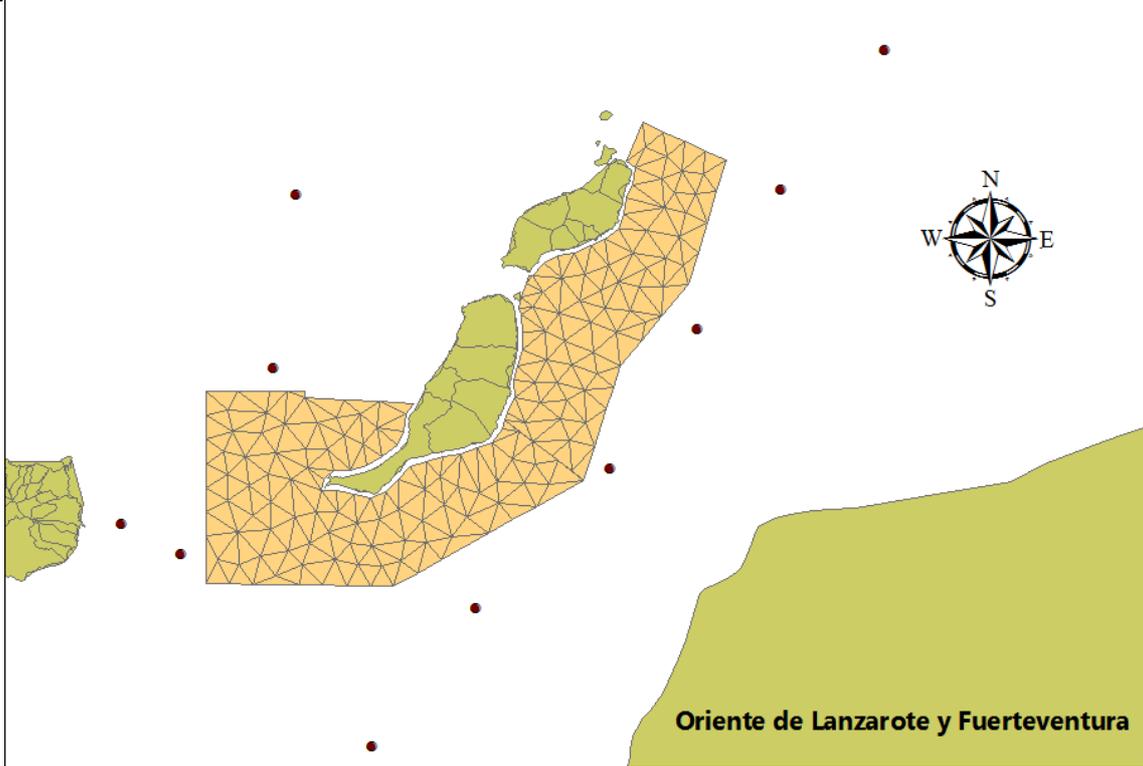


Fig. 2.4.1: Recopilación de información geográfica para el escenario Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote. Los polígonos receptores han sido divididos en polígonos menores por medio de un algoritmo de triangulación

condicionada.

- **Información sobre las regiones de estudio.** Las zonas protegidas contempladas en este estudio son las propuestas por WWF/Adena en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES y en particular dentro de la acción A12: "Seguimiento y evaluación de la contaminación deliberada por vertidos de hidrocarburos en el ámbito marino de la Red Natura 2000" para cada uno de los escenarios: el Banco de Galicia, las Chimeneas de Cádiz, las montañas submarinas de Alborán y Seco de los Olivos y el Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote. El área que define las zonas protegidas constituye el polígono receptor susceptible de recibir parte del vertido. Estos polígonos han sido discretizados por medio de un algoritmo de triangulación condicionada en varios cientos de polígonos menores en donde se calcularán las probabilidades de que llegue el vertido y los tiempos en los que lo hará (Fig. 2.4.1).
- **Puntos de vertido:** En base a las rutas de tráfico marítimo peligroso en cada una de las zonas, se eligieron 10 puntos de vertido próximos a cada área de estudio. La elección de los puntos de vertido, condiciona todo el posterior estudio. Es por ello que para poder comparar los resultados en las 4 zonas, además de fijarnos en las rutas de tanques y barcos con mercancías peligrosas que determinarían las zonas más probables de accidentes se fijó un paso espacial, entre los distintos puntos, proporcional al área de cada uno de los parques.



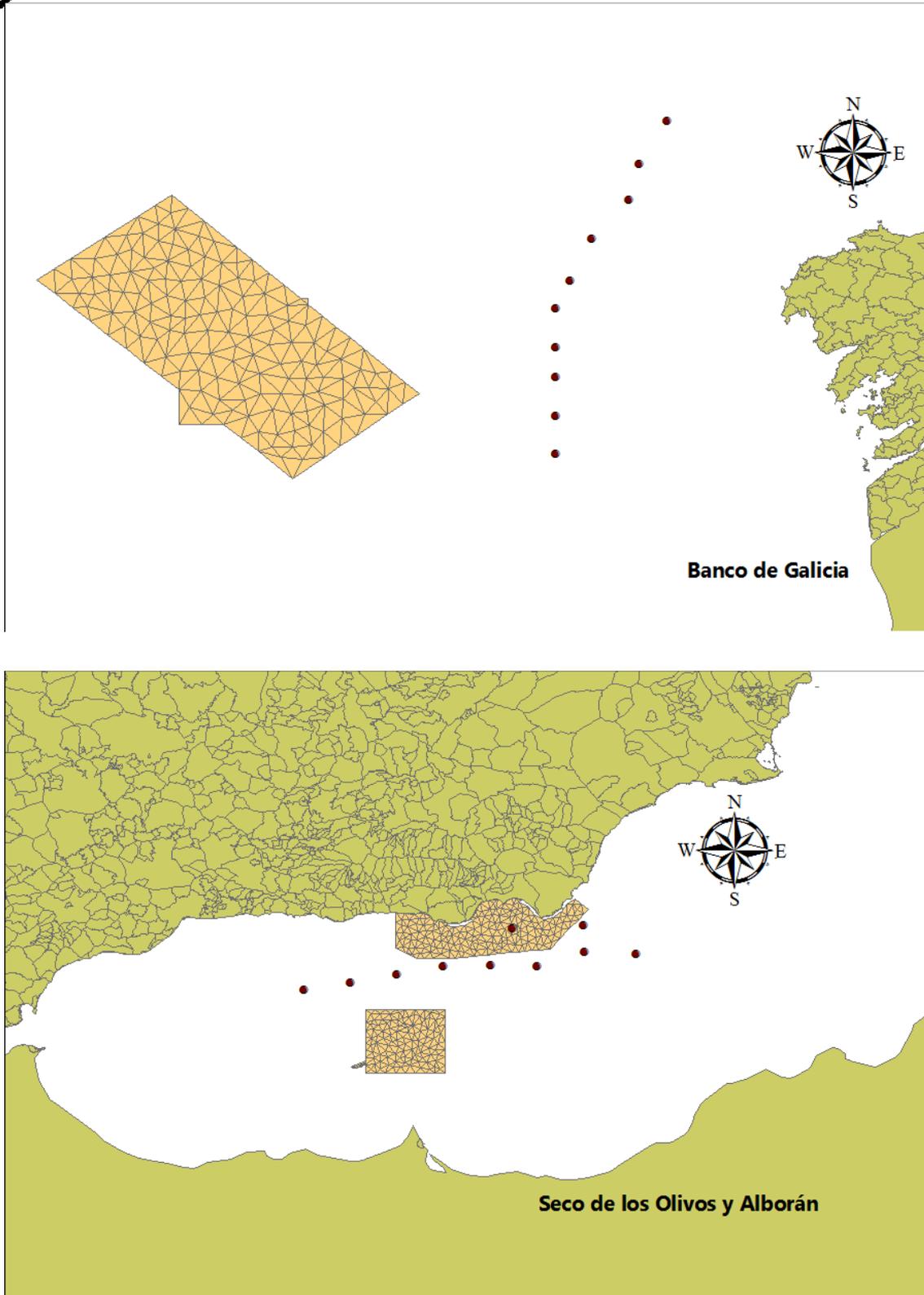


Fig. 2.4.2: Puntos de vertido en cada una de las zonas de estudio. Estos se corresponden con las zonas de tráfico

Como se puede observar en las imágenes todos los puntos están en las rutas de tráfico de barcos con mercancías peligrosas, pero llaman la atención varios detalles:

- En el caso de las Chimeneas de Cádiz, el polígono se encuentra justo en la ruta más transitada por los barcos que atraviesan el Estrecho de Gibraltar. Además se encuentra muy próximo el punto fijado por el puerto de Cádiz como fondeadero de barcos, previo al atraque en el puerto. Es por todo esto por lo que la probabilidad de que un vertido alcance el parque es muy elevado. En este caso, además del tráfico que soporta el corredor se consideró un posible punto de vertido en el acceso sur del puerto de Cádiz y otro en el puerto de Huelva.
- En el caso de Canarias, el corredor marítimo entre Fuerteventura y Gran Canaria roza la esquina inferior izquierda del parque y el corredor entre Canarias y Marruecos también pasa muy cerca del parque.
- En el caso del Seco de los Olivos y Alborán, el polígono se encuentra dentro de la ruta de acceso al puerto de Almería. Es por ello que se situó un posible punto de vertido en esta ruta de entrada al puerto, el resto de los puntos de vertido están justo entre las dos sub-zonas que definen el parque.
- En el Banco de Galicia, los posibles puntos de vertido se encuentran situados en el llamado Corredor de Finisterre, por ser la zona más próxima al parque con más tráfico de mercancías peligrosas.

Para poder calcular la probabilidad de que llegue un vertido y el tiempo que tardaría en llegar a un polígono son imprescindibles los trabajos previos a la hora de realizar la clasificación climática, la selección de días representativos y su modelado individual. De los clústers definidos en el análisis climático se buscan los días cuya distancia al centroide del clúster sea inferior a un determinado umbral. Se seleccionan los datos de viento y corrientes para esos días y para cada uno de ellos se ejecuta el modelo de derivas desde cada uno de los 10 puntos de vertido. Obtenemos así, un conjunto de simulaciones representativas de cada área. Posteriormente, usando las frecuencias de aparición de cada clúster, se selecciona el número de días necesario de cada clúster para realizar el promedio mensual/anual. Se acaban obteniendo 100 simulaciones desde cada punto de vertido que serán las que nos definan el peligro al que está sometida cada parcela definida en el polígono.

Para calcular ese riesgo se definieron 4 variables:

- **Probabilidad de que un vertido alcance cada parcela.** Un vertido alcanza una parcela cuando al menos un 0.1% del vertido inicial

llega a ella. Por tanto, la probabilidad de que un vertido llegue a una determinada parcela se calcula promediando todos los vertidos que llegan a ella desde cada punto de origen.

- **Tiempo medio.** Considerando solo los casos en los que un vertido alcanza el polígono se calcula el promedio de tiempos que tardó en llegar desde el punto de vertido. Para englobar los tiempos de llegada se definieron 11 intervalos. (0, 3 horas], (3, 6 horas], (6, 12 horas], (12, 18 horas], (18, 24 horas], (24, 30 horas], (30, 36 horas], (36, 48 horas], (48, 60 horas], (60, 72 horas], >72 horas
- **Tiempo mínimo.** De entre los vertidos que llegan a cada parcela se selecciona el que lo hace en menos tiempo
- **Probabilidad de que el vertido llegue en ese tiempo mínimo.** Se calcula el número de veces que un vertido llega en ese tiempo mínimo a esa parcela concreta y se promedia con el total de vertidos emitidos desde cada punto de origen y en cada una de las 100 simulaciones.

Para entender un poco mejor los resultados obtenidos pondremos un ejemplo.

Supongamos que de todas las simulaciones de un clúster que tiene una frecuencia del 15% de aparición llegase un vertido desde 2 de los 10 puntos de vertido a un triángulo concreto. Esto supondría una probabilidad de que alcance el vertido del 3% en ese triángulo del polígono ($15\% \times 2 / 10 = 3\%$)

3. RESULTADOS

A continuación se presentan los principales resultados obtenidos:

3.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

3.1.1. Alborán y el Seco de los Olivos

Con las 3 componentes principales elegidas en esta zona, se explica el 96% de la varianza de todos los datos. Aunque claramente los vientos de Poniente y Levante son los dominantes en esta zona, el número de clústers seleccionado para esta área ha sido de 6. El motivo para esta elección es poder diferenciar distintas intensidades de viento. En ellos aparecen, con dos intensidades de viento distintas, dos clústers con viento de Poniente (clústers 0 y 2, que suman un 35% de los casos) y otros dos con vientos de Levante (clústers 1 y 5 que suman un 40% de los casos), pero a mayores resulta relevante considerar otros dos clústers en los que el viento es más flojo e incluso rola de dirección entre la noche y el día (clústers 3 y 4, que suman casi un 25% de ocurrencia anual). En el anexo 1 se pueden ver con más detalle estos resultados: la situación sinóptica a la que corresponde cada clúster, el mapa de viento resultante a las 00 y a las 12 UTC, y la frecuencia anual y estacional de cada clúster.

3.1.2. El Banco de Galicia

En el Banco de Galicia es donde más variedad hay en la dirección de los vientos. Es por este motivo que a priori se pensó en la necesidad de tener un número de clústers mayor. Analizando los resultados, se aprecia que 6 clústers es la cantidad más adecuada para agregar las diferentes situaciones sinópticas. En ellas aparecen dos situaciones anticiclónicas (clústers 0 y 5, que representan más del 40% de las situaciones), 3 situaciones con presencias de bajas presiones en la cercanía de la zona, con vientos en general de componente sur, pero con bastantes matices. El clúster 2 (con una ocurrencia anual del 11%) representa una situación con una borrasca desprendida de la circulación general y que se sitúa enfrente de la costa portuguesa impulsando vientos del sur a la zona. En el clúster 3 (con una ocurrencia anual de casi el 15%) la borrasca se sitúa en Irlanda y está asociada al paso de un frente que durante la noche deja vientos del sudoeste, durante el mediodía son de oeste y acaban siendo el noroeste tras el paso de la borrasca. En la tercera situación ciclónica (clúster 4, con un 15% de frecuencia anual), las bajas presiones ocupan un área más grande y la zona se ve afectada todo el día por vientos del sudoeste fuertes. La sexta situación reflejada (clúster 1) es una situación intermedia entre las anticiclónicas y las ciclónicas (ocurre casi un 20% de los días al año) y acaba dando

paso a uno de los anteriores clústers provocando en general vientos de componente oeste. En el anexo 2 se pueden ver con más detalle la situación sinóptica a la que corresponde cada clúster, el mapa de viento de ese clúster, y la frecuencia anual y estacional de cada clúster.

3.1.3. Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote

En el caso canario, los alisios son los vientos dominantes en el archipiélago, con una frecuencia anual superior al 80%. Con la elección de 5 clústers, se pueden diferenciar 3 clases de alisios en función de su intensidad e incluso una pequeña diferencia en la dirección, como es la del clúster 4, con vientos del N-NE y una frecuencia de aparición anual del 21%. Además se aprecia la misma situación del banco de Galicia, en la que una borrasca desprendida se sitúa enfrente de la costa portuguesa. En este caso, en Canarias implica un viento del oeste sudoeste, y aunque apenas llega al 10% de los casos es un fenómeno importante de distinguir a la hora de realizar las simulaciones de los vertidos. Es más importante aún el caso del clúster 0, que aunque también aparece con menos de un 10% ocurrencia. En él, los alisios de primeras horas del día, dan lugar a un viento del sudeste procedente del Sáhara y que además de acercar calimas en muchas ocasiones, podría acercar también los posibles vertidos a la costa canaria. Este clúster no podría aparecer si no se considerase la variación diaria entre las 20 variables de estudio. En el anexo 3 se pueden ver con más detalle estos resultados: la situación sinóptica a la que corresponde cada clúster, el mapa de viento de ese clúster, y la frecuencia anual y estacional de cada clúster.

3.1.4. Chimeneas de Cádiz

El caso de la costa atlántica andaluza es similar al del Banco de Galicia, con una variabilidad en la dirección e intensidad del viento superior a las otras dos zonas, aunque inferior al caso gallego, ya que las situaciones asociadas a altas presiones son claramente dominantes (un 85% de los casos anuales). Por tanto, de los 6 clústers seleccionados, 4 se corresponden con situaciones anticiclónicas con diferentes intensidades de viento y con direcciones entre el noroeste y el este. Las otras dos (clústers 2 y 3) se corresponden con borrascas más o menos próximas a la zona de estudio y que dejan vientos del sudoeste de menor o mayor intensidad. Estas dos situaciones representan el 15% de los casos anuales, alcanzando más del 20% en invierno y otoño y menos del 7% en verano. En el anexo 4 se pueden ver con más detalle estos resultados: la situación sinóptica a la que corresponde cada clúster, el mapa de viento de ese clúster, y la frecuencia anual y estacional de cada clúster.

3.2. ANÁLISIS DE PROBABILIDAD.

3.2.1. Alborán y Seco de los Olivos

El tráfico marítimo en los alrededores de la Isla de Alborán pasa justo por el medio de los dos parques, lo que a priori podría llevar a pensar que esta zona estaría sometida a un gran peligro en caso de producirse un accidente marítimo. Además la ruta de entrada al puerto de Almería pasa por encima de la sub-zona del Seco de los Olivos.

En caso de estar en un día perteneciente a los cluster 1 y 5, es decir, un día con viento fuerte de Levante, que se repiten en la zona casi un 40% del año, se podría suponer que como este viento al norte de Cabo de Gata tiene una dirección nordeste arrastraría el fuel de los vertidos que se produzcan al este del parque hacia la sub-zona de Alborán. Observando los resultados, comprobamos que el giro del viento al este al superar el Cabo de Gata impide que una gran parte del fuel llegue a la zona protegida, afectando eso sí, al sur de la sub-zona del Seco de los Olivos.

Sí que se detecta un claro peligro en caso de un accidente de un barco en la entrada al puerto de Almería. En ese caso, los vientos dominantes de Poniente y Levante transportarían los vertidos paralelos a la costa almeriense dentro del parque del Seco de los Olivos. Se ve claramente la diferencia entre la posible afectación de la zona sur del Seco de los Olivos y de la costa almeriense.

En el caso de los clusters 3 y 4 (con una repetición global del 25%), los vientos son flojos y con una dirección cambiante. Estos vientos propiciarían una mayor dispersión en la zona y la corriente de fondo podría transportar el vertido tanto hacia el polígono del Seco de los Olivos, como al de Alborán, siendo estos clusters los que generan una mayor probabilidad de llegada de vertido en la sub-zona de Alborán.

En las situaciones de Poniente, clústers 0 y 2 que aparecen en un 35% de las ocasiones en la zona, los vertidos apenas afectarían a ambos parques (a excepción de un accidente en la ruta del Puerto), ya que el viento y la corriente de entrada desde el Estrecho circularían en paralelo a sus fronteras.

En general se observa poca diferencia en los resultados entre los distintos meses.

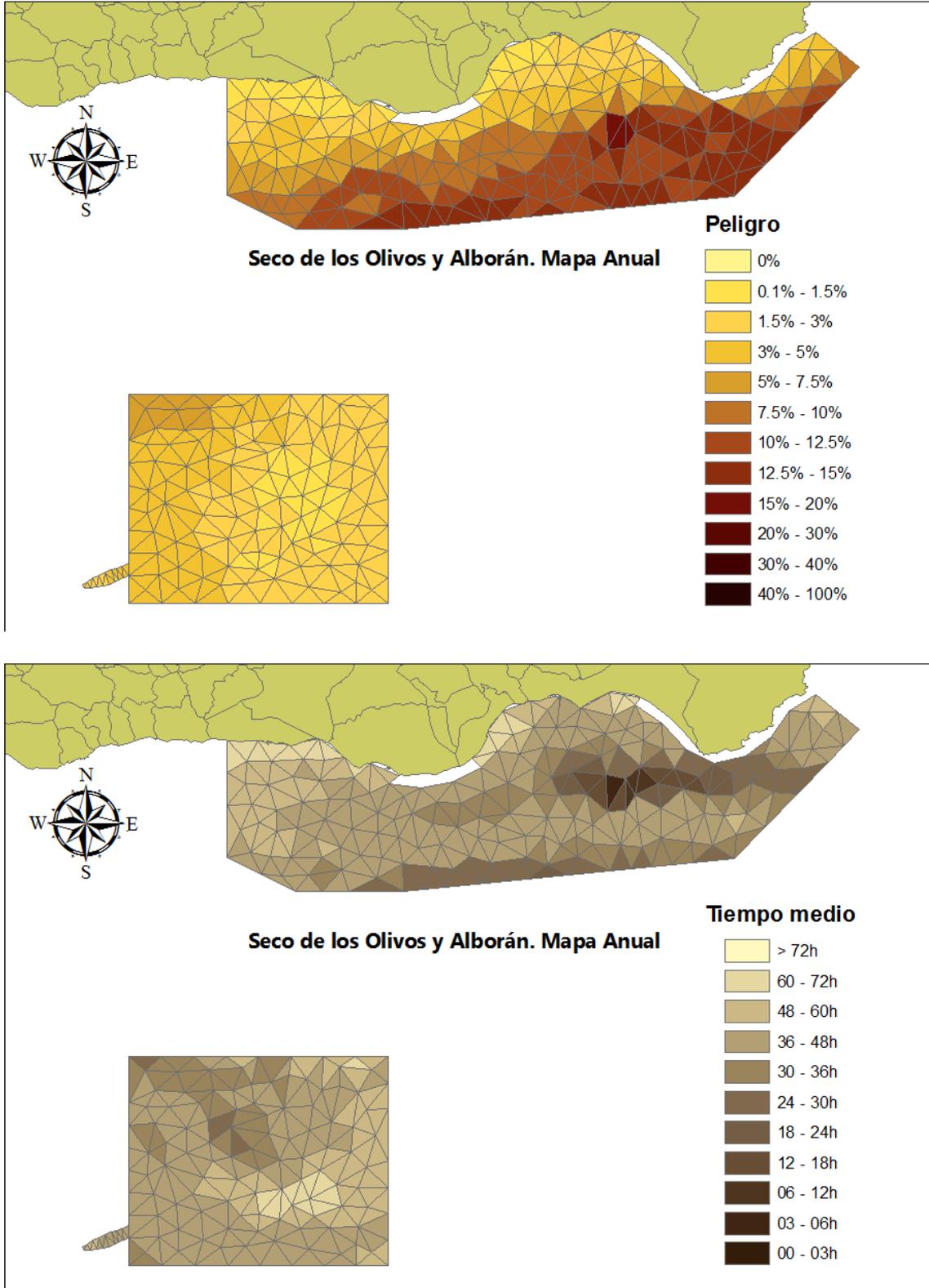


Fig. 3.4.1a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

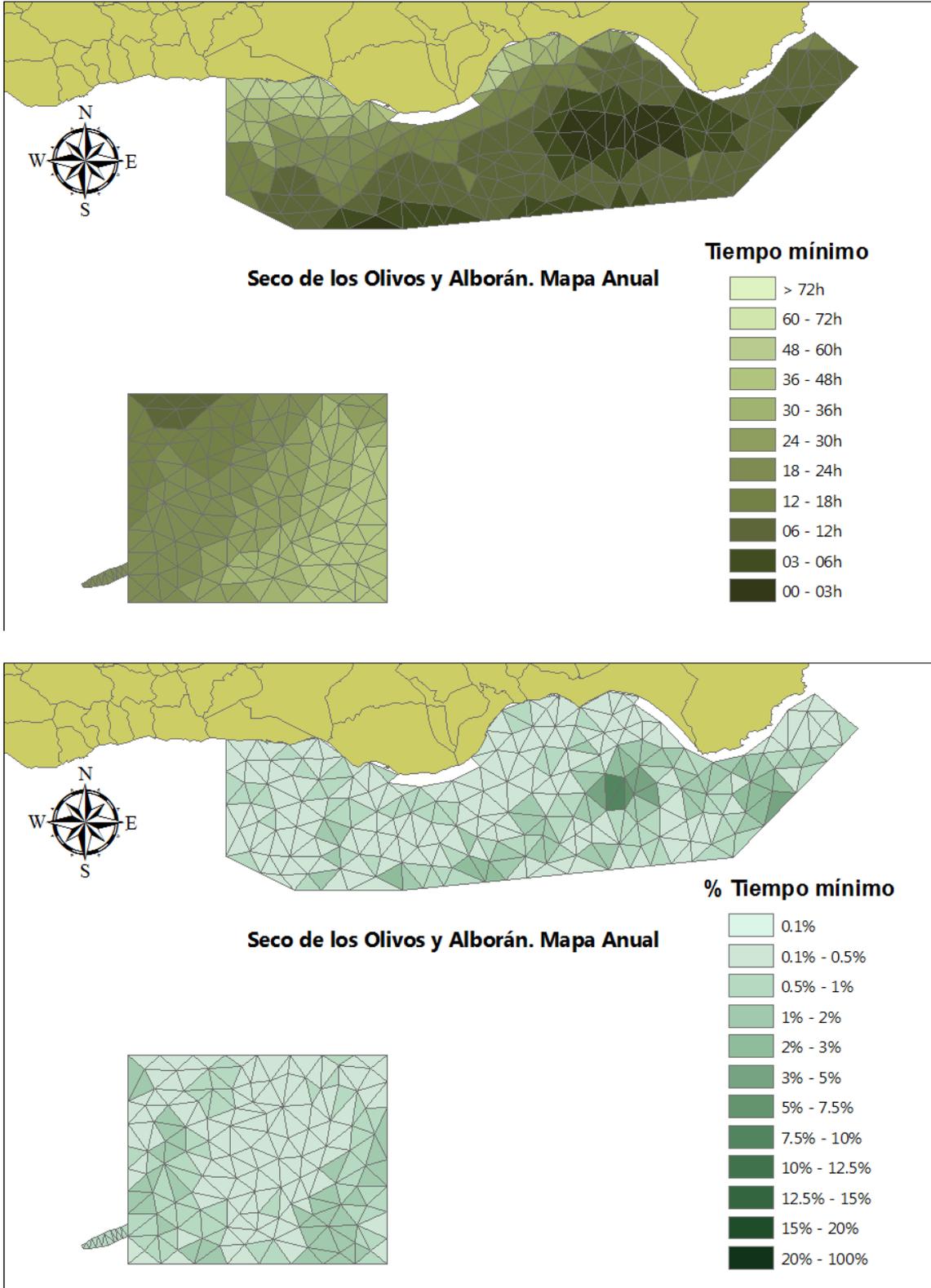


Fig 3.4.1b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

3.2.2. Banco de Galicia

El Banco de Galicia se encuentra bastante alejado del corredor de Finisterre. Gracias a este estudio se puede comprobar que un posible vertido en ese corredor tendría pocas probabilidades de alcanzar el parque en 72 horas. De hecho, solo la esquina sudeste se podría ver afectada, por un vertido sin existir intervención humana, en un plazo de 3 días.

De hecho, observando el tiempo mínimo de llegada al parque, vemos como en esa esquina sudeste solo un 0.1% de las simulaciones (es decir, 1 simulación de las 100 ejecutadas desde 1 de los 10 puntos de vertido) alcanza el parque en 36 horas.

Fijándonos en la probabilidad global, este alcanza un máximo anual próximo al 3 % de probabilidad de llegada en un tiempo medio de 60 horas. En los meses de verano, esta probabilidad se acerca al 4% ya que hay un mayor predominio de los vientos de componente Este en la zona

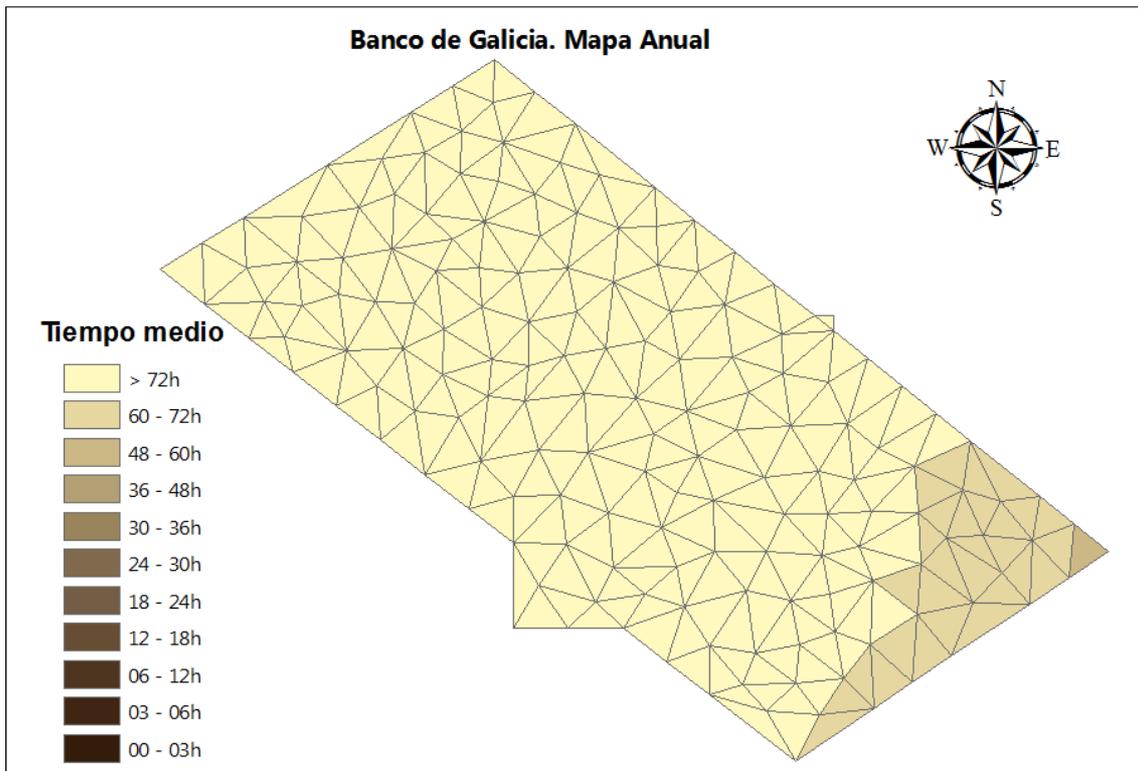
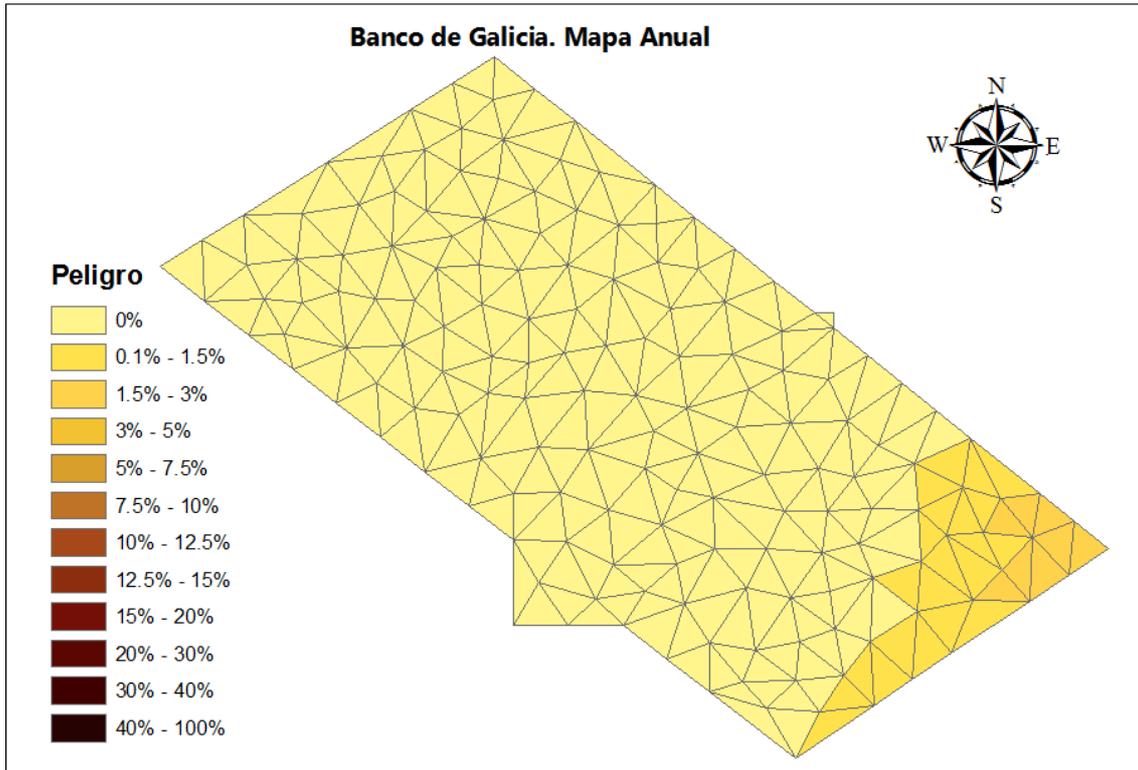


Fig. 3.4.2a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

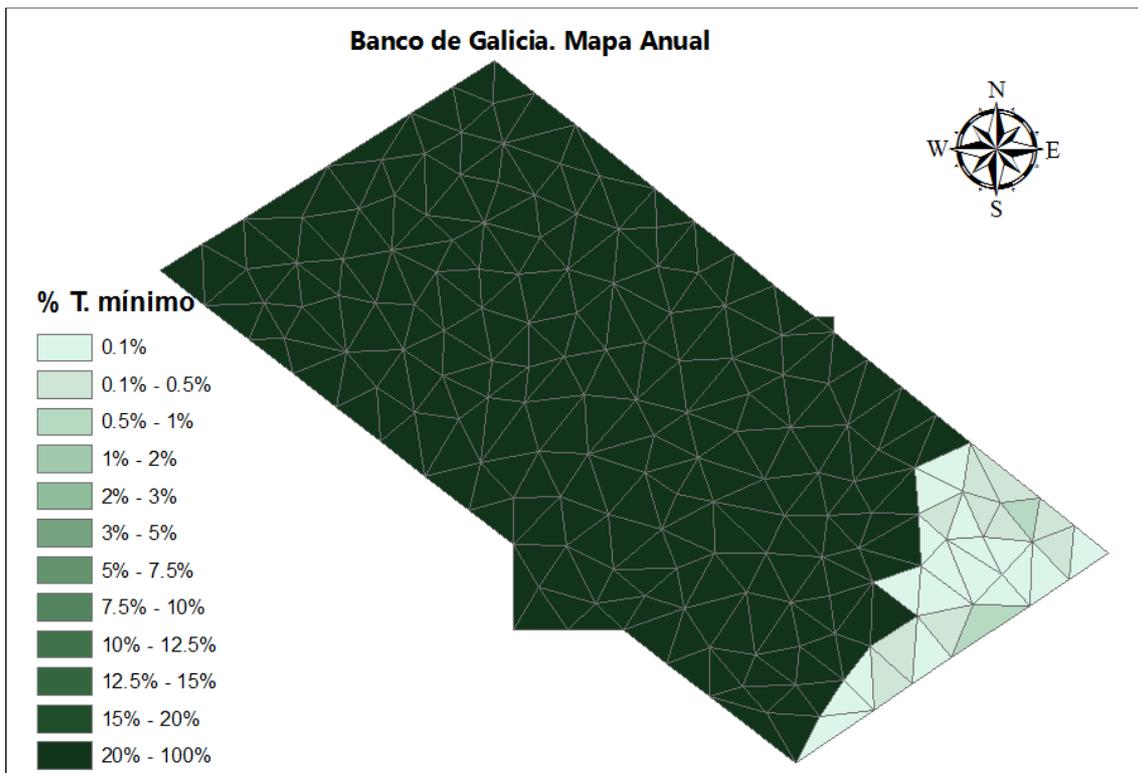
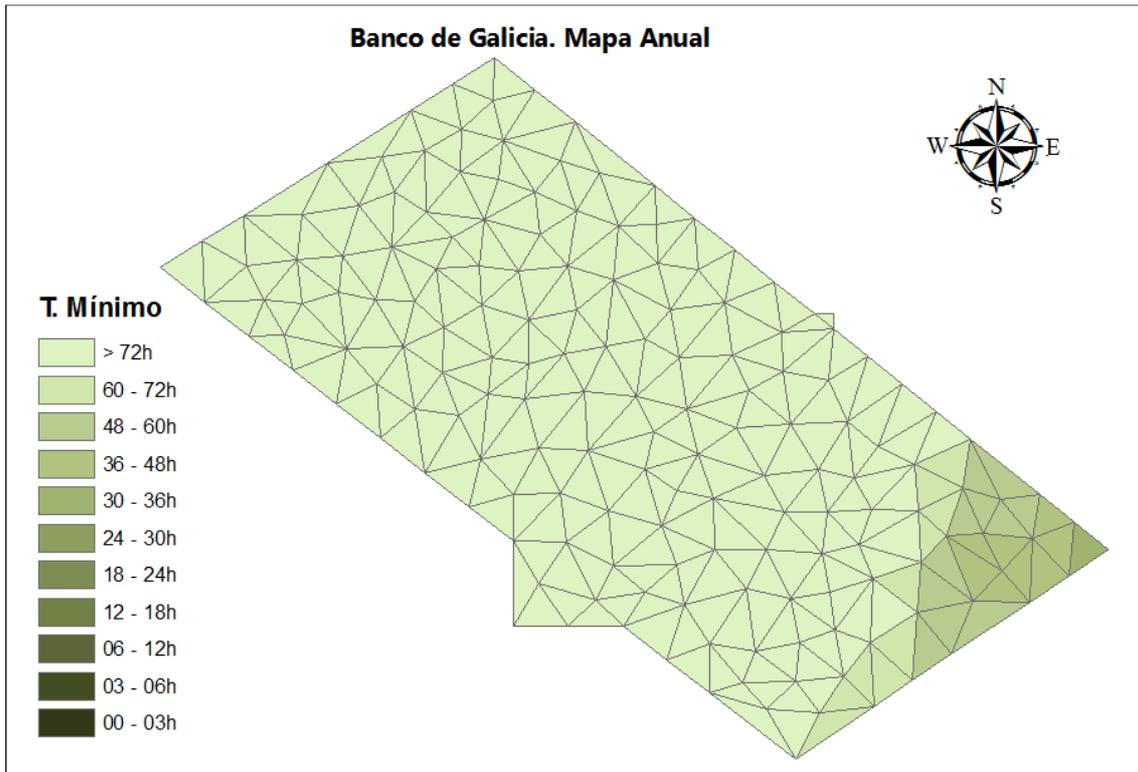


Fig. 3.4.2b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

3.2.3. Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote

En la elección de los puntos de vertido para esta zona, cabe destacar la posición del corredor entre las islas de Gran Canaria y Fuerteventura. Este, que pasa justo por el extremo sudoeste del parque, por lo que ese extremo se vería muy afectado en caso de un accidente al norte de ese corredor.

En el análisis clúster veíamos como apenas hay días de viento sur en Canarias por lo que en caso de un accidente al sur del parque es muy poco probable que el fuel derramado alcanzase tanto la costa canaria como el parque.

En caso de producirse un accidente entre Canarias y Marruecos, el parque canario solo se vería afectado en el caso de que se produjese en un día perteneciente al clúster 0 (que se repite menos de un 10% de las veces en promedio anual) ya que en el resto de las veces o bien el vertido circularía en paralelo a la costa marroquí o bien se dirigiría hacia esta.

En caso de que el accidente se produjese en el corredor entre las islas de Gran Canaria y Fuerteventura en un punto al norte del parque, sí que afectaría claramente al parque y con muy poco margen de maniobra ya que el corredor pasa muy cerca del polígono que delimita el Oriente de Fuerteventura y Lanzarote.

En este parque existen grandes diferencias en función del mes en el que se produzca el accidente. En el Anexo 2 se pueden ver estos análisis mensuales. En un mes de invierno (Diciembre, por ejemplo) la probabilidad de que llegue el vertido alcanza hasta el 8% entre Fuerteventura y Gran Canaria, con un tiempo mínimo de llegada inferior a las 6 horas en el 0.3% de los casos y con un tiempo medio de respuesta inferior a las 24 horas. Por el contrario en un mes de verano (Julio, por ejemplo) la probabilidad alcanza el 10% y aunque los tiempos mínimo y medio coinciden, la probabilidad de que el vertido llegue en menos de 6 horas asciende al 2%.

Si nos fijamos en la costa canaria, en verano, la probabilidad no superaría el 1% y solo en el Sur de Lanzarote, mientras que en invierno se alcanzan valores próximos al 3% y aparece una probabilidad en torno al 1% en casi toda la costa canaria.

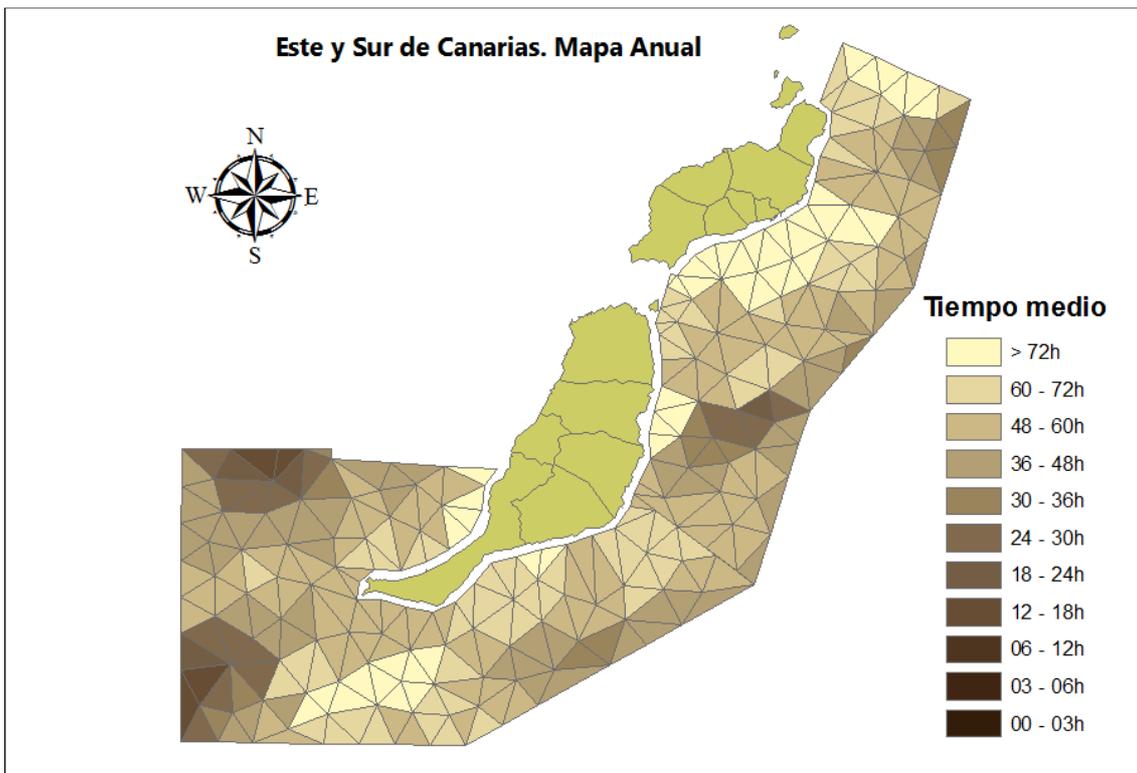
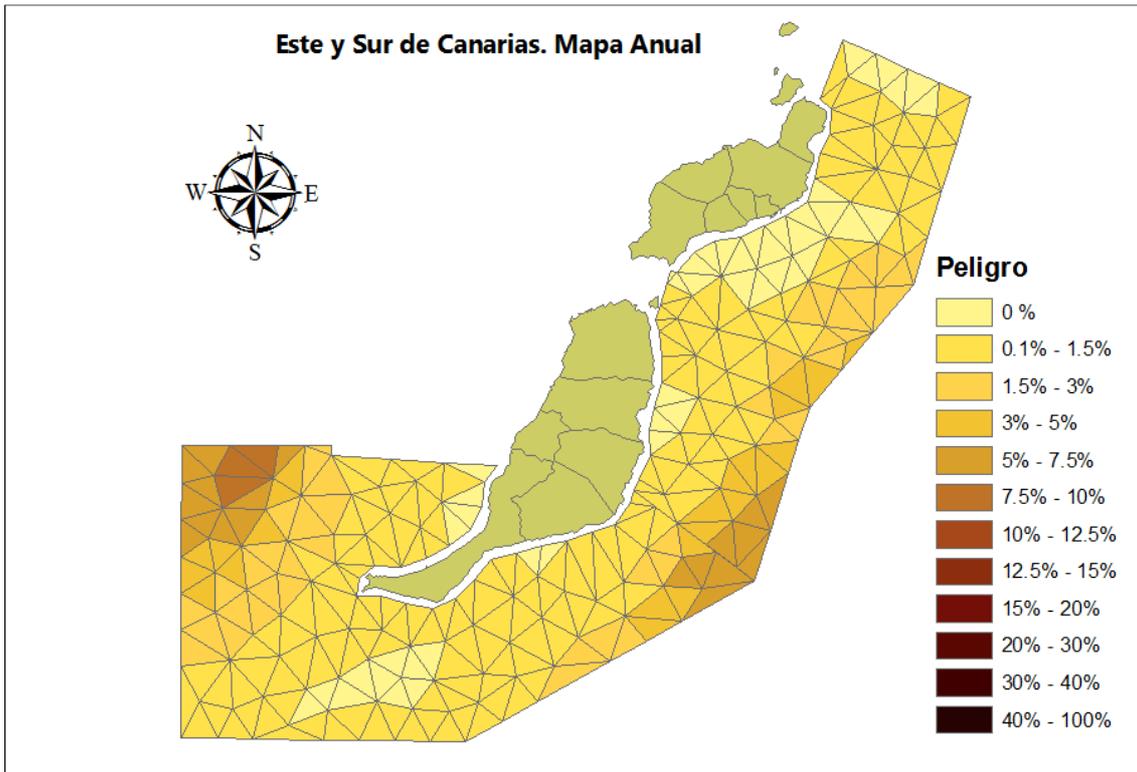


Fig. 3.4.3a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

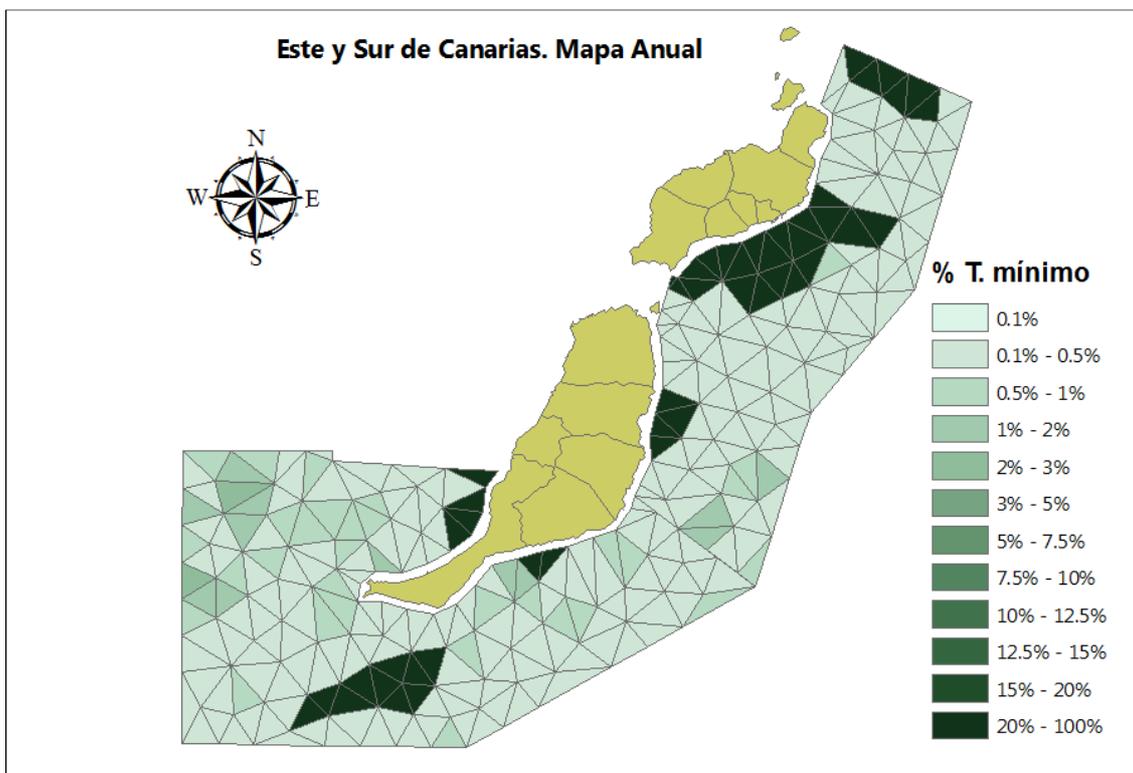
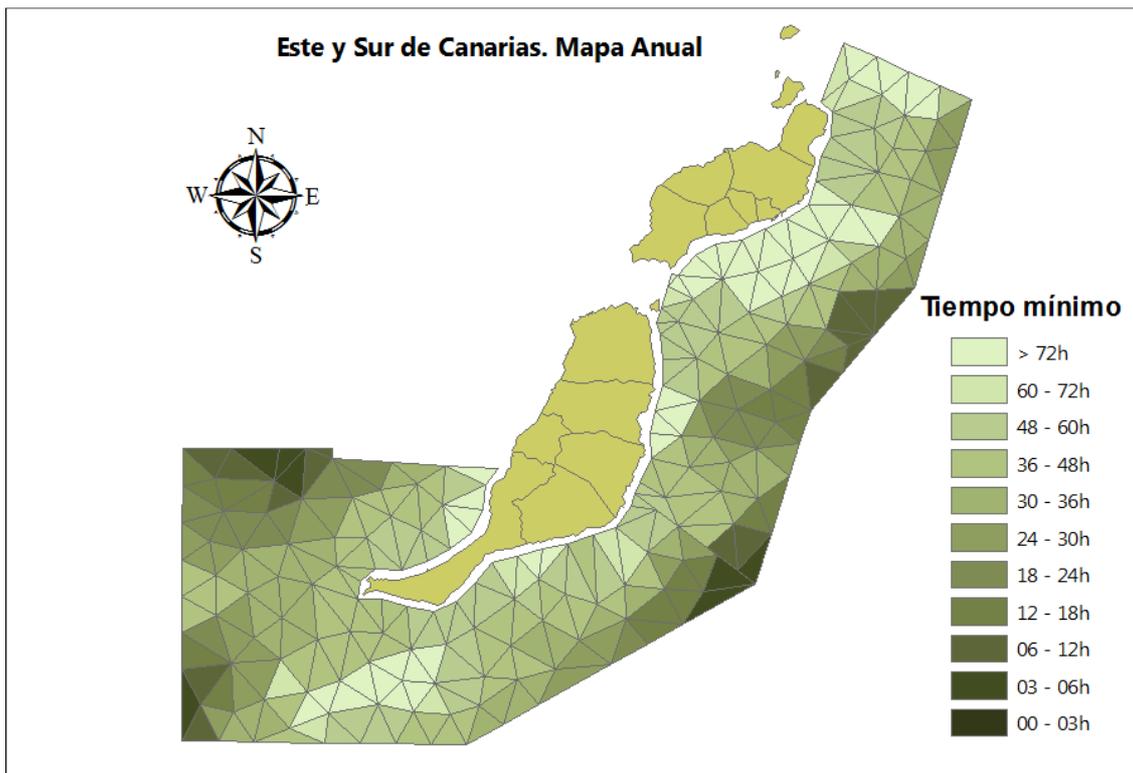


Fig. 3.4.3b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

3.2.4. Chimeneas de Cádiz

Lo más destacable de los puntos de vertido seleccionados es que uno de ellos está dentro del parque, y es que la ruta marítima más usada para atravesar el Estrecho de Gibraltar atraviesa el parque. Además el punto fijado por el puerto de Cádiz como fondeadero de barcos, previo al atraque en el puerto se encuentra muy próximo al extremo norte del parque. Es por esto por lo que el peligro al que está sometido el parque sin ningún análisis posterior es muy elevado. Además, alguna de las rutas de salida del Puerto de Cádiz en dirección al Cabo de San Vicente, aunque con poco tráfico, también pasa por el polígono que delimita el parque Red Natura 2000.

En las proximidades del punto de vertido situado en el interior del parque y en esa franja latitudinal es donde tenemos la mayor probabilidad de llegada del vertido.

A medida que nos alejamos de esa franja la probabilidad va disminuyendo, aunque en el extremo norte se vuelve a dar un máximo local de probabilidad debido a la proximidad del puerto de Cádiz. Esto es debido a que los vientos dominantes a la altura de los puntos de vertido son o bien de Levante o bien de Poniente. Esos dos vientos impedirían que los vertidos se desplazasen hacia el norte o sur del parque.

En el otro amplio % de casos, el viento dominante es norte. En caso de producirse un vertido en estas condiciones sería la parte sur del parque la que tendría más probabilidad de contaminación si llegase a ocurrir un vertido en el corredor marítimo, y sería el extremo norte la más afectada en caso de producirse el accidente en las inmediaciones del puerto de Cádiz.

Solo en el caso de los clústers 2 y 3 que en global se repiten un 15% de las veces, hay riesgo de que un vertido producido en el Corredor se desplace hacia el norte. Además, esas situaciones no suelen ser muy persistentes, siendo muy poco frecuente que se mantenga una componente sur en la zona durante más de 3 días.

Es por todo esto por lo que la mayor probabilidad de que llegue un vertido se concentra en una franja que corta al parque a la altura del corredor, pero ligeramente desplazada al sur.

Todo este análisis tiene muchos matices cuando nos detenemos a analizar los resultados mes a mes. En verano los vientos del sur tienen una frecuencia de aparición del 7% frente al 20% en invierno, por otra parte, los vientos del norte en los puntos alejados del estrecho ocurren

un 60% de los días, frente a una frecuencia del 30% en los meses de invierno. Lo cual explica las diferencias que se observan entre las figuras A2.4.8 (Julio) y A2.4.13 (Diciembre)

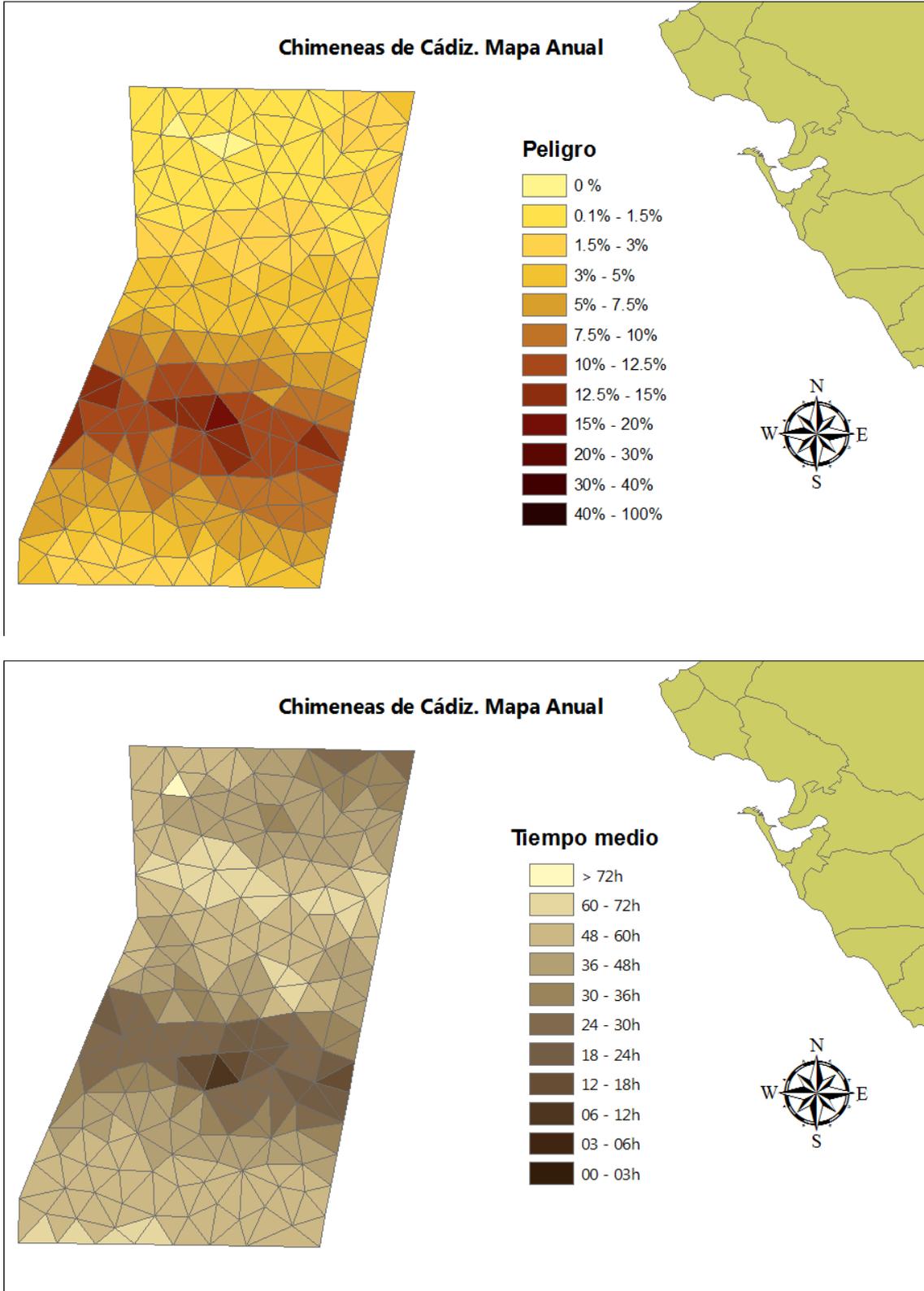


Fig. 3.4.4a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

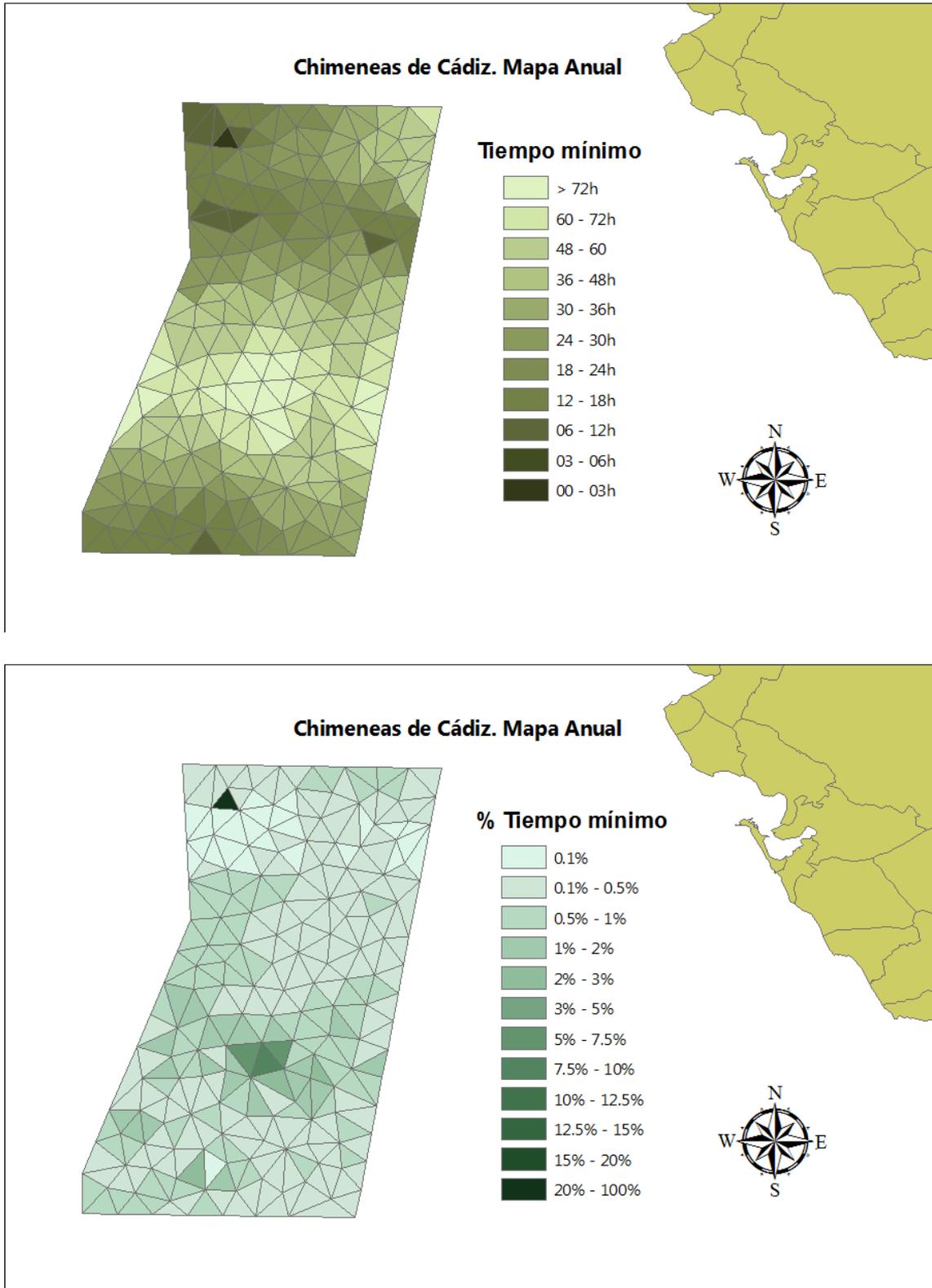


Fig. 3.4.4b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

4. VISUALIZACIÓN DE RESULTADOS: APLICACIÓN WEB

4.1. Introducción

Se ha desarrollado una aplicación web específica para la visualización de los resultados del presente estudio accesible en la dirección <http://visorwwf.cetmar.org/>.

Desde el punto de vista estructural, la aplicación está compuesta por dos paneles de información:

- Formulario de selección e información climática: panel situado a la izquierda segmentado en dos subpaneles:
 - Panel de selección: panel situado en la parte superior en el que el usuario define el tipo de información que desea visualizar y los parámetros de selección asociados.
 - Panel de información: panel situado bajo el anterior que ofrece diferente información en función del tipo de mapa seleccionado:
 - Leyenda: muestra la leyenda de tiempos de llegada del vertido cuando el usuario haya escogido visualizar un mapa probabilístico.
 - Situación Sinóptica: muestra las imágenes de la situación sinóptica (isobaras, viento y corriente) correspondientes al paso temporal escogido en los mapas de vertidos.
- Mapa: panel central.



Figura 4.1.1: Pantalla principal de la aplicación web

La aplicación permite visualizar tanto la caracterización climática de cada una de las zonas de estudio, como las correspondientes simulaciones de derivas y el análisis de probabilidades asociado.

Esta información se presenta en la aplicación en dos formatos bien diferenciados:

- Imágenes: para los datos de isobaras, viento y corrientes asociados a cada uno de los clústers que caracterizan climáticamente cada una de las zonas de estudio.
- Mapas: para mostrar de forma georreferenciada la deriva de los vertidos de hidrocarburo y los datos de tiempo y probabilidad de impacto del análisis probabilístico.

A su vez, los mapas muestran dos tipos de información espacial:

- Estática: visibles en todo momento independientemente de la selección de información del usuario. La visibilidad de estas capas no puede ser modificada por el usuario en algún caso su visibilidad depende del nivel de zoom seleccionado. Las capas estáticas de la aplicación son:
 - Capa base: Google Maps en su versión imágenes de satélite o híbrida (en función del nivel de zoom).
 - Zonas protegidas: polígonos de color naranja que definen las zonas protegidas de la Red Natura 2000 objeto de este estudio.
 - Potenciales puntos de vertido: iconos triangulares, cada uno de un color diferente, que representan las localizaciones que se han empleado en este estudio como origen de los vertidos de hidrocarburos simulados.

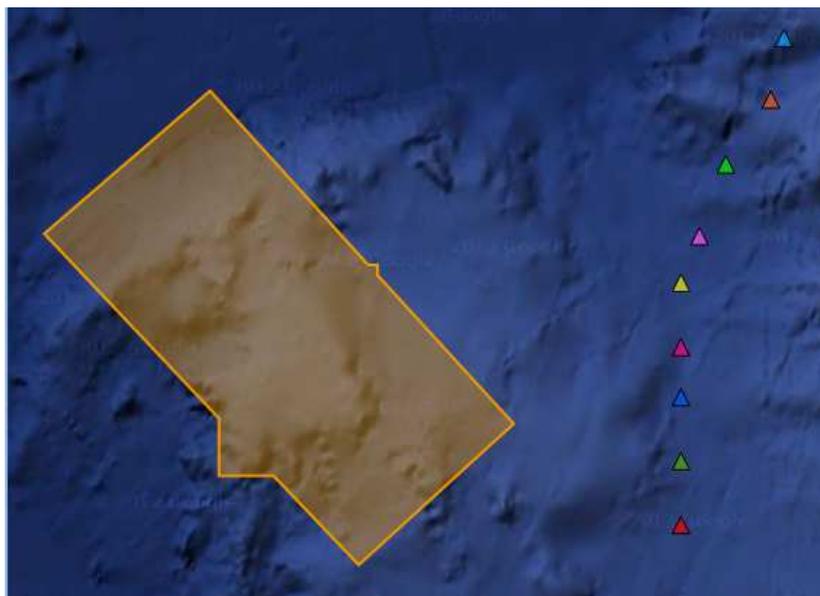


Figura 4.1.2: Capas estáticas del mapa

- Dinámica: capas superpuestas sobre las capas estáticas y que muestran la información elegida por el usuario en el formulario de selección. Las capas dinámicas de la aplicación son:
 - Mapa probabilístico: contiene los resultados del análisis probabilístico de la zona seleccionada por el usuario.

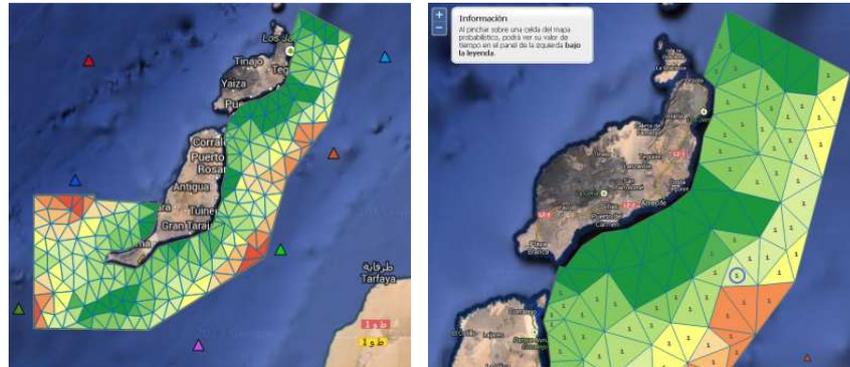


Figura 4.1.3: Mapa probabilístico

- Mapa de deriva: muestra la deriva del hidrocarburo en una ventana temporal de 6 a 72 horas (120 en el caso de los puntos de prospección petrolífera).



Figura 4.1.4: Mapa de derivas

La aplicación ha sido diseñada e implementada con una finalidad preventiva orientada al análisis de riesgos a priori que presentan las zonas de estudio. Esto es así ya que la información visualizada en la misma se corresponde con resultados de simulaciones y otro tipo de información preprocesada en base a una serie de puntos de origen del vertido predefinidos. No se trata por tanto de una herramienta operativa que permita tomar decisiones en tiempo real en función de las condiciones climatológicas reinantes en el momento del vertido. Sin embargo, sí que se podría utilizar con una cierta orientación operativa si se diesen las dos circunstancias siguientes:

- El punto de origen del vertido real coincide con alguno de los definidos en el presente estudio

- El usuario está capacitado para decidir cuál de las situaciones climáticas definidas en este estudio se corresponde con la situación meteorológica reinante en el momento del vertido real.

En los siguientes apartados se describirá con mayor detalle los diferentes tipos de información mostrados en la aplicación así como los parámetros de selección que el usuario debe elegir para poder visualizarlos.

4.2. Simulación de derivas

El mapa de derivas muestra los resultados de las simulaciones de deriva de hidrocarburos realizadas como parte del presente estudio.

Dichos resultados contienen la posición de los 5.000 trazadores que emulan las partículas que forman los vertidos cada 6 horas en una ventana de tiempo de 72 horas (120 para los puntos de prospección petrolífera).

Cabe destacar que las simulaciones se realizan con vertidos simultáneos desde todos los puntos de vertido de la zona.

Los parámetros que el usuario debe definir son los siguientes:

- Zona: la de interés para el usuario
- Tipo de mapa: mapa de vertidos
- Situación: situación climática de entre las definidas para la zona seleccionada.
- Tiempo desde el vertido: barra deslizadora para elegir el número de horas desde que se produjo el vertido.

Figura 4.2.1: Parámetros del mapa de derivas

Tras la selección de la situación tipo, la aplicación muestra por defecto la deriva a las 72 horas (120 en el caso de los puntos de prospección petrolífera). Posteriormente el usuario puede seleccionar otro punto temporal con la barra deslizadora.



Figura 4.2.2: Mapa de derivas

La aplicación además, para evitar mostrar un número excesivo de puntos y mejorar así la eficiencia del navegador web, aplica una técnica de agrupación de puntos en función del nivel de zoom.

4.3. Caracterización climática y forzamientos

Al cargar un mapa de derivas, el panel informativo de la izquierda se actualiza automáticamente con los datos de presión, viento y corrientes correspondientes a la zona, situación climática y paso temporal seleccionados por el usuario para dicho mapa.

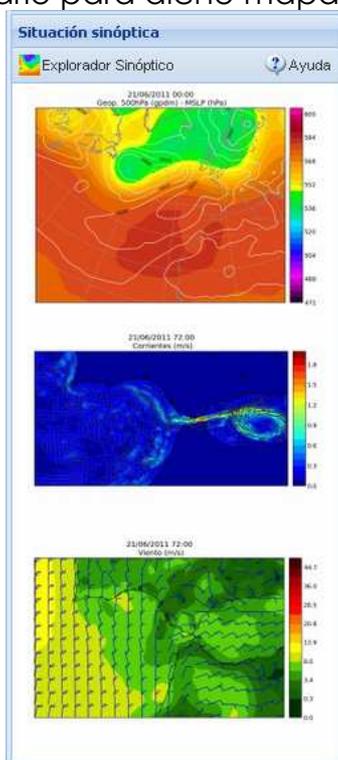


Figura 4.3.1: Información climática asociada al mapa de derivas

Además, pulsando en el botón de "Explorador Sinóptico" en el panel de información climática, se desplegará una ventana emergente en la que

el usuario podrá ver en tamaño grande las imágenes de isobaras, viento y corriente correspondientes a la situación climática elegida. El usuario podrá avanzar o retroceder en el tiempo del las 0 horas del vertido hasta las 72 horas.

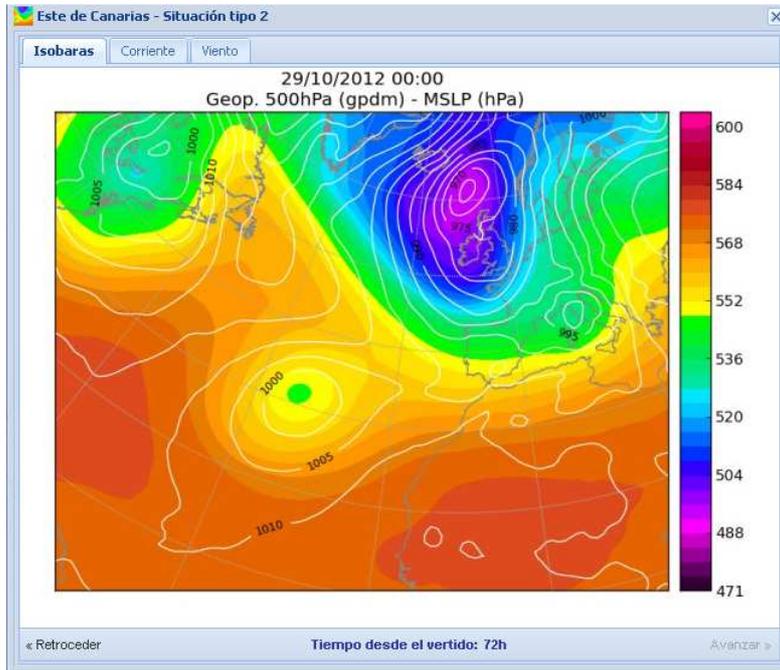


Figura 4.3.2: Ventana emergente del Explorador Sinóptico

4.4. Análisis de probabilidades

El mapa de probabilidades muestra los tiempos y probabilidades de impacto del vertido en cada una de las celdas en los que ha sido descompuesto el polígono principal de cada zona.

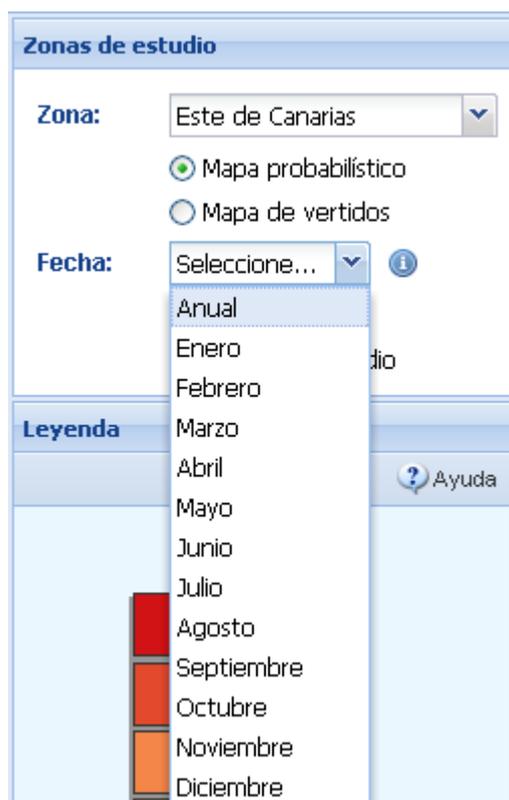


Figura 4.4.1: Ejemplo de subpolígonos de impacto del mapa probabilístico

En cada zona, se ha generado un mapa de probabilidad anual y otro para cada mes del año en función de las probabilidades de ocurrencia de cada uno de las situaciones tipo de la zona para dichos períodos de tiempo.

Los parámetros que el usuario debe definir son los siguientes:

- Zona: la de interés para el usuario
- Tipo de mapa: mapa probabilístico
- Fecha: anual o mes del año de interés



Zonas de estudio

Zona: Este de Canarias

Mapa probabilístico
 Mapa de vertidos

Fecha: Seleccione...

Anual
 Enero
 Febrero
 Marzo
 Abril
 Mayo
 Junio
 Julio
 Agosto
 Septiembre
 Octubre
 Noviembre
 Diciembre

Leyenda

Ayuda

Figura 4.4.2: Parámetros del mapa probabilístico

Tras realizar la selección de parámetros, se muestra al usuario un mapa con el conjunto de celdas triangulares en el que ha sido dividido el polígono, siendo el color de la celda representativo del tramo de tiempo de llegada del vertido (según la escala de tiempos mostrada en la aplicación) y el número mostrado sobre ella la probabilidad asociada. La visibilidad de las probabilidades depende del nivel de zoom.

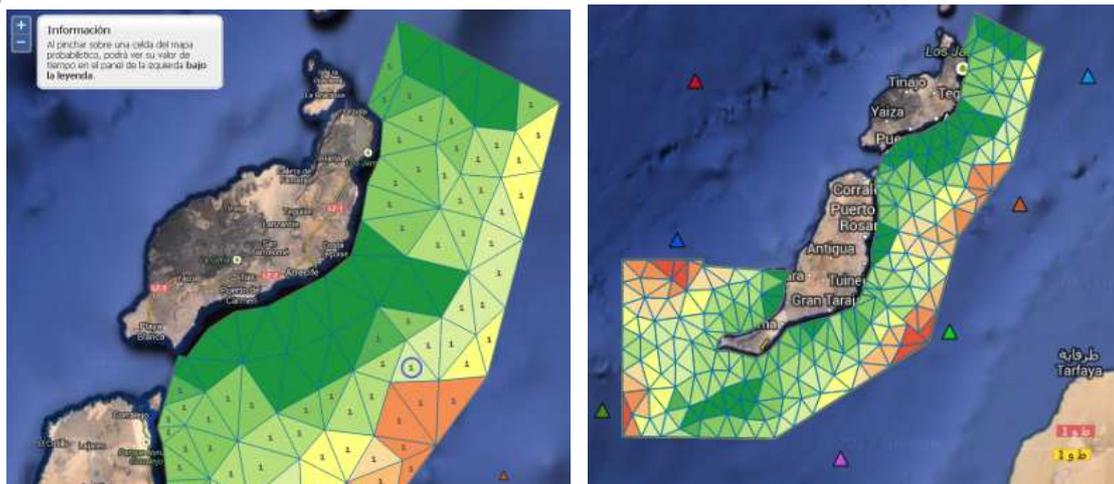


Figura 4.4.3: Ejemplo de mapa probabilístico

ANEXOS

ANEXO 1: CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

1.- Alborán y Seco de los Olivos



Figura A1.1.- Distribución espacial de los puntos de estudio

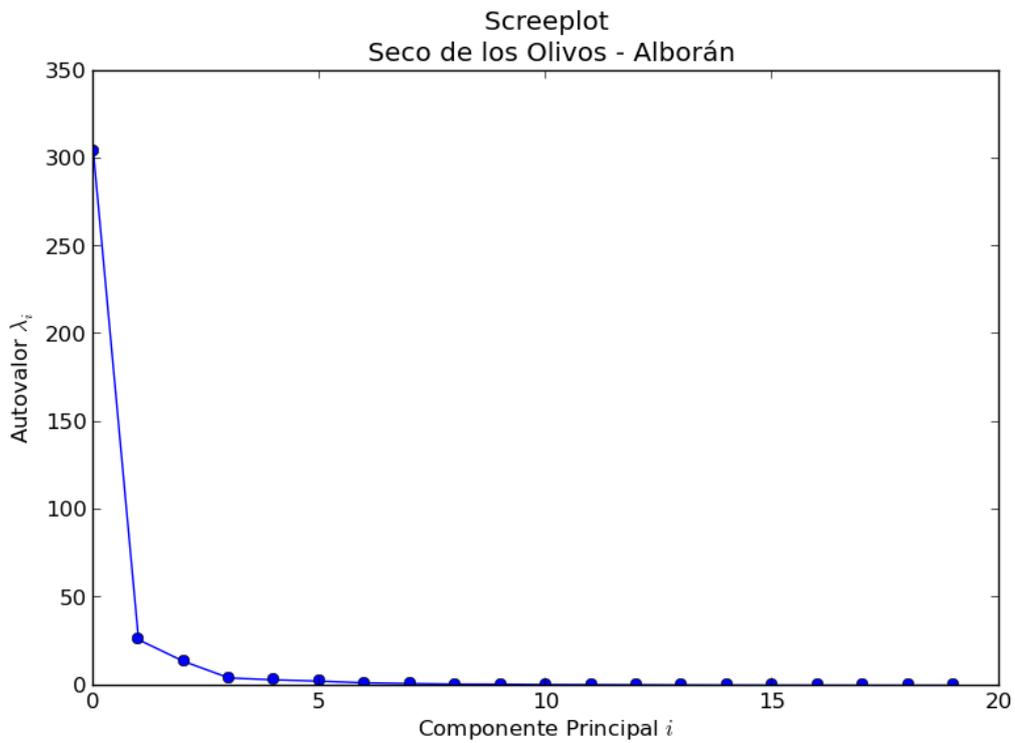


Figura A1.2.- Autovalores calculados para el área de estudio

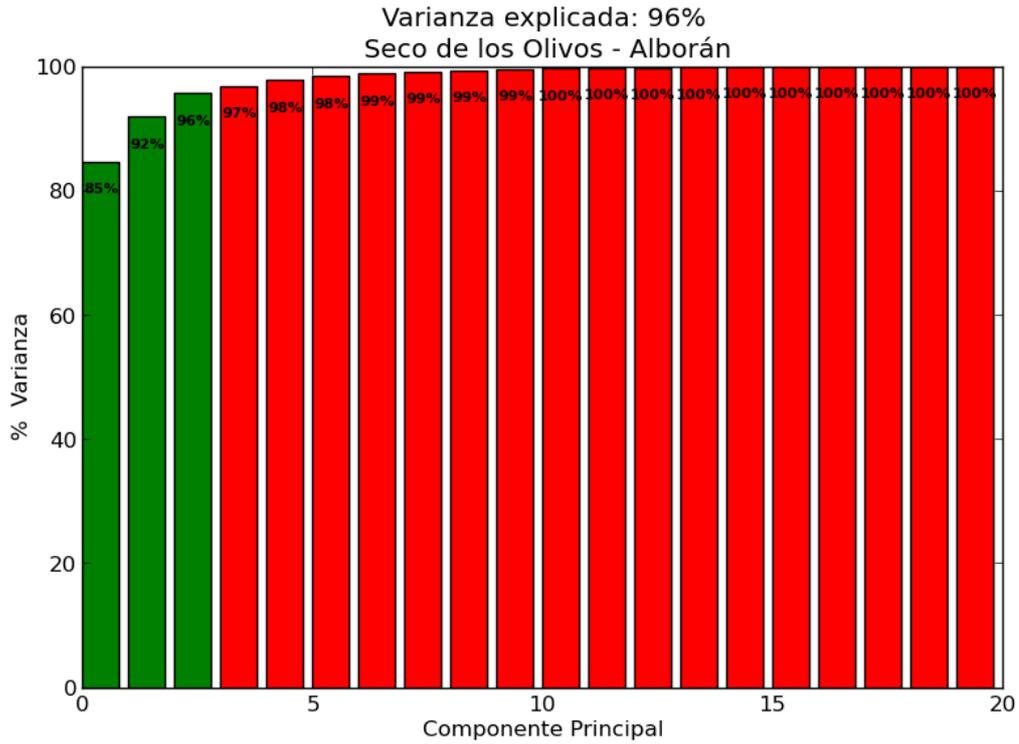


Figura A1.3.- Varianza explicada en función del número de componentes principales

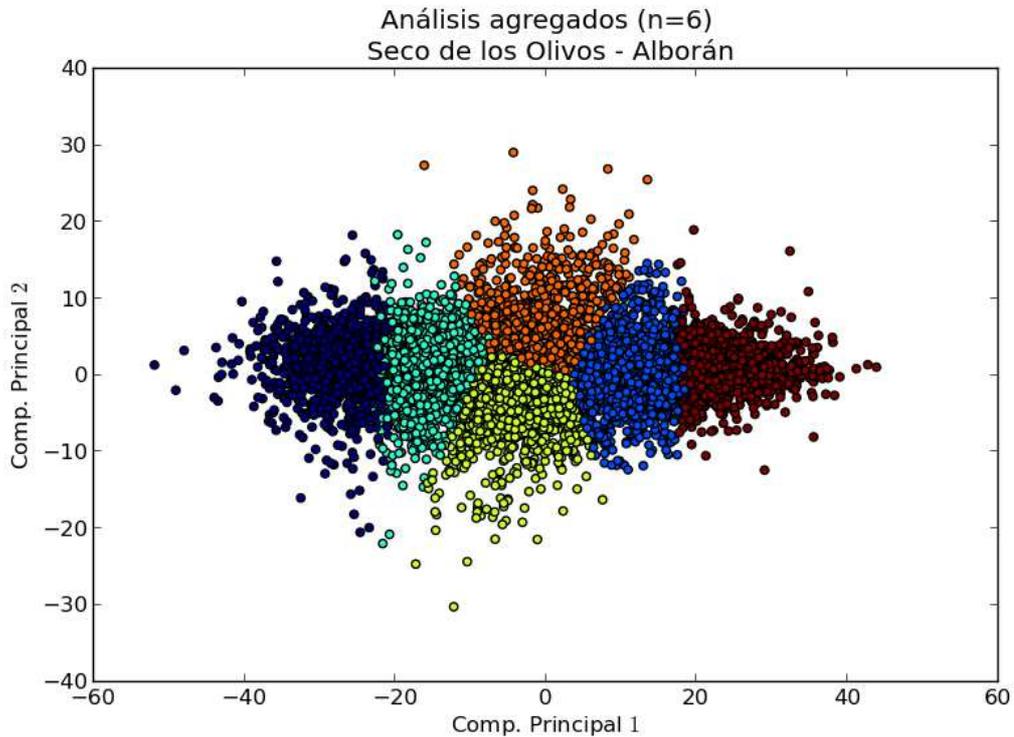


Figura A1.4.- Configuración 2D de las 2 primeras componentes principales

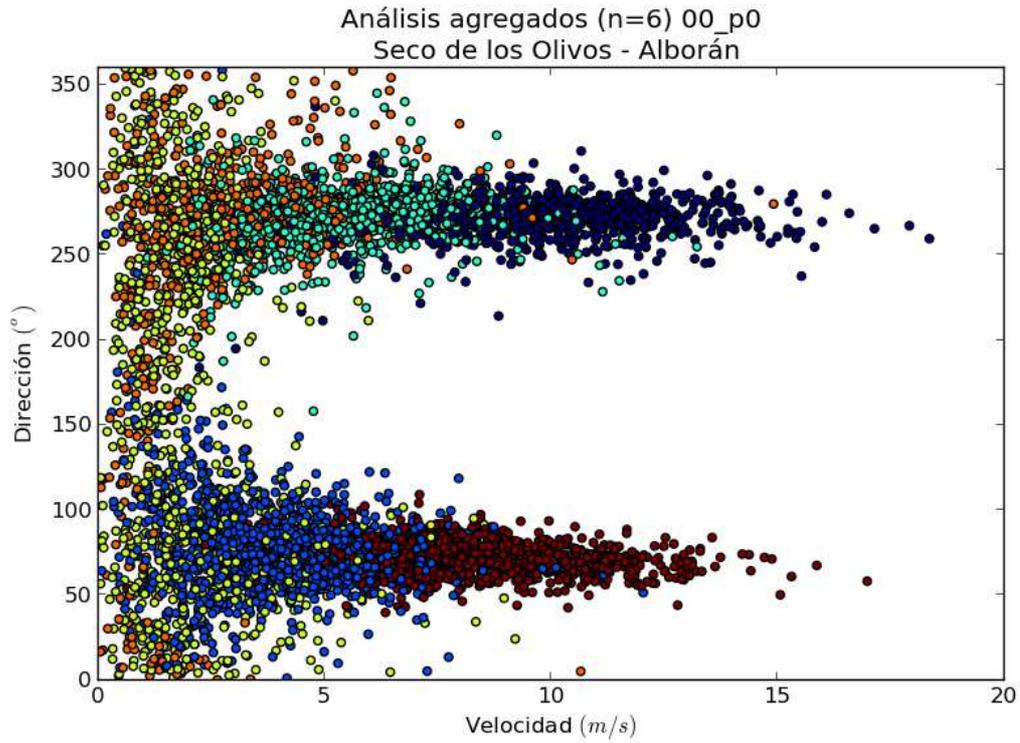


Figura A1.5.- Velocidad y dirección de viento de cada uno de los días de cada clúster

soa_06clusters_k00 - 11/04/1993
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

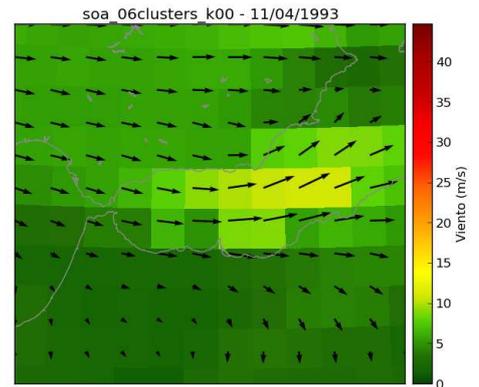
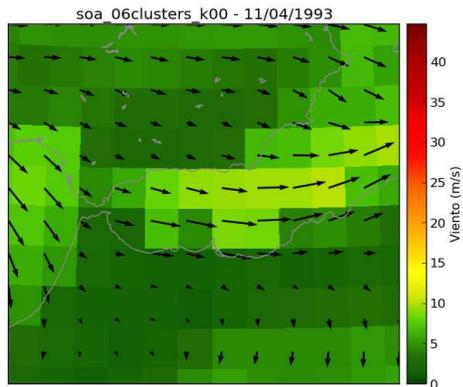
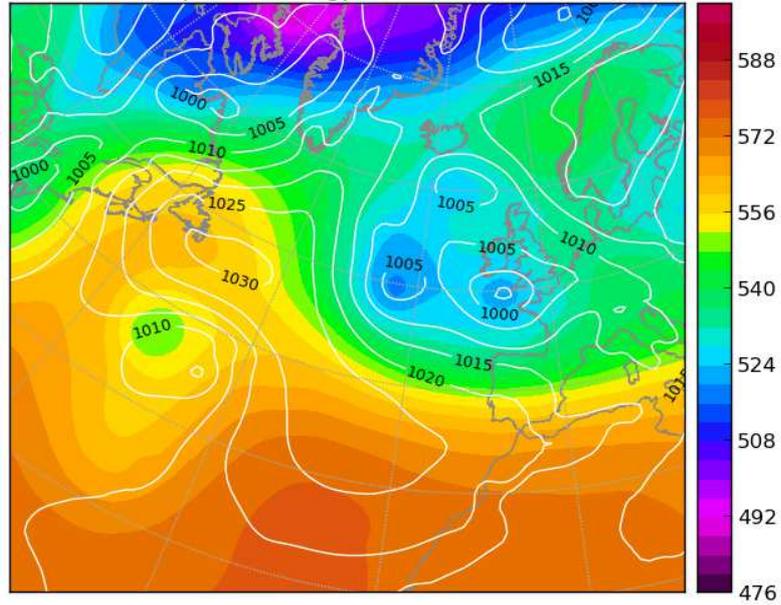


Figura A1.6.- Día representativo del clúster 0. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

soa_06clusters_k01 - 28/08/2009
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

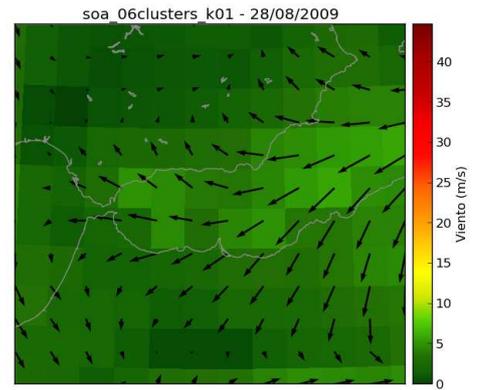
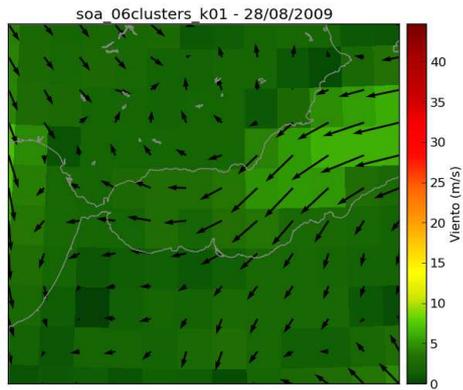
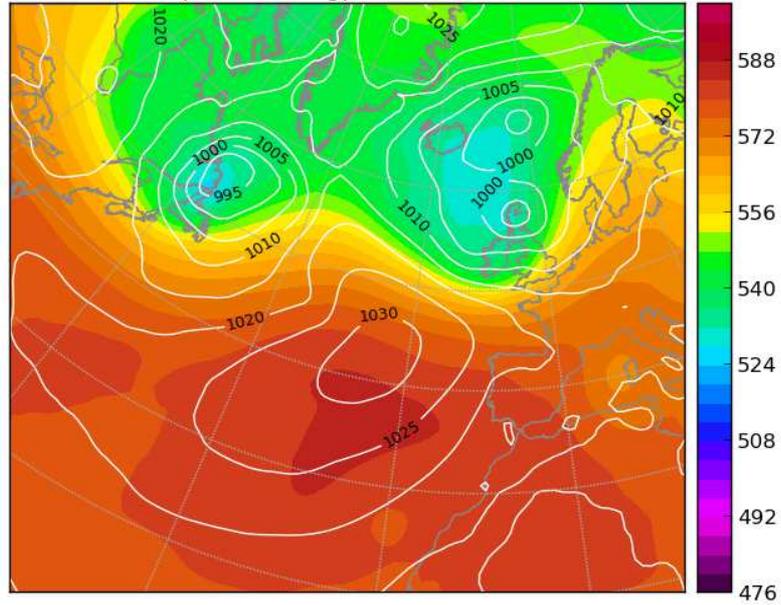
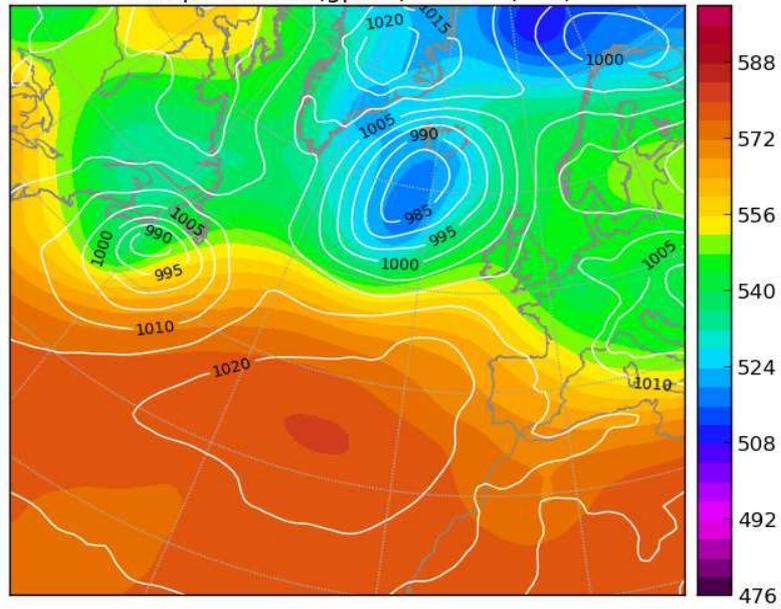
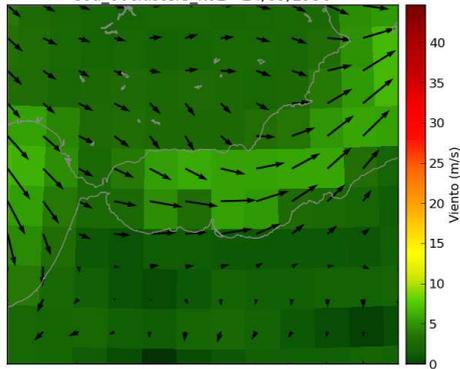


Figura A1.7.- Día representativo del clúster 1. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

soa_06clusters_k02 - 24/09/1996
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)



soa_06clusters_k02 - 24/09/1996



soa_06clusters_k02 - 24/09/1996

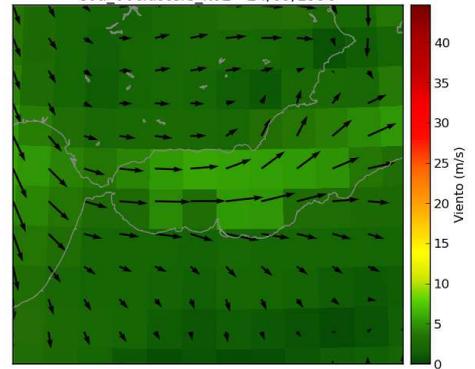


Figura A1.8.- Día representativo del clúster 2. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

soa_06clusters_k03 - 26/04/2007
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

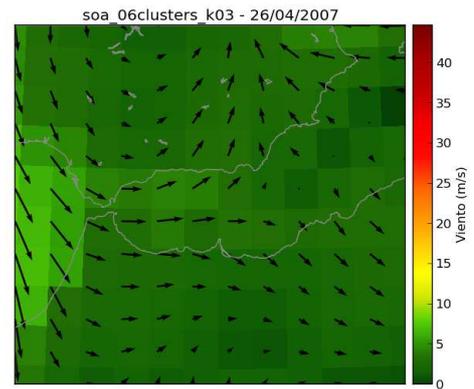
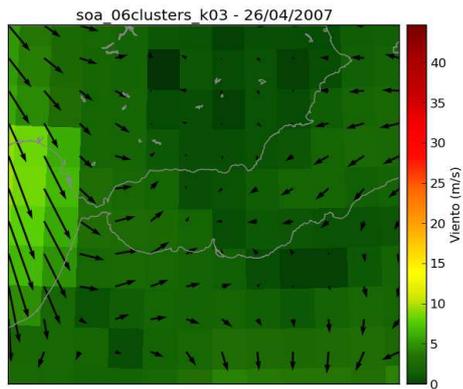
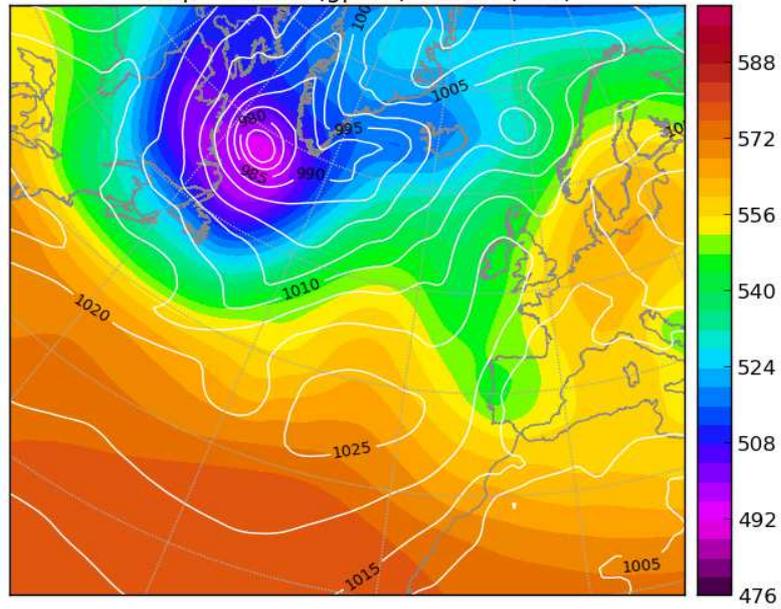


Figura A1.9.- Día representativo del clúster 3. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

soa_06clusters_k04 - 19/12/2008
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

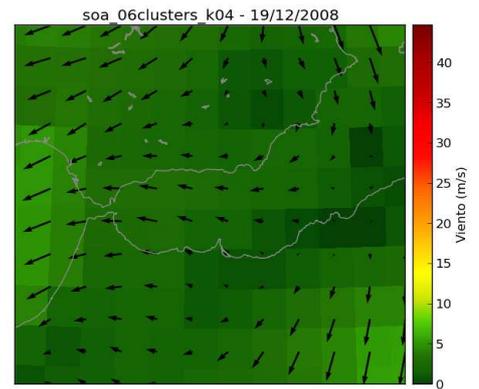
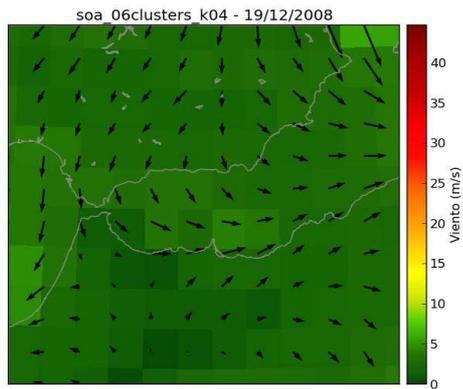
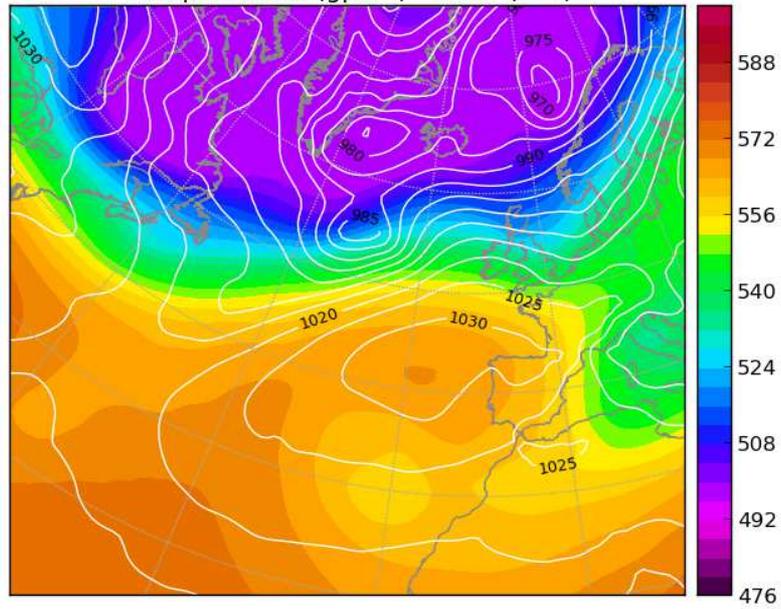


Figura A1.10.- Día representativo del clúster 4. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

soa_06clusters_k05 - 06/05/1995
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

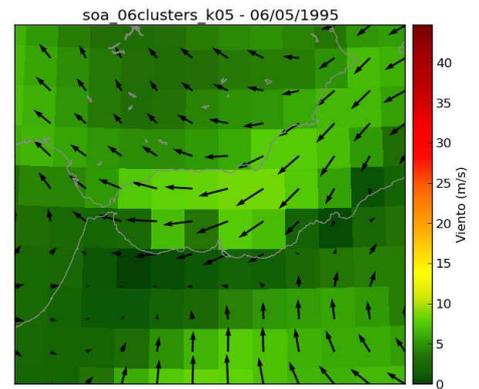
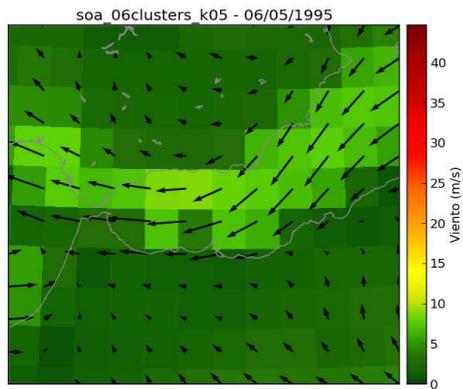
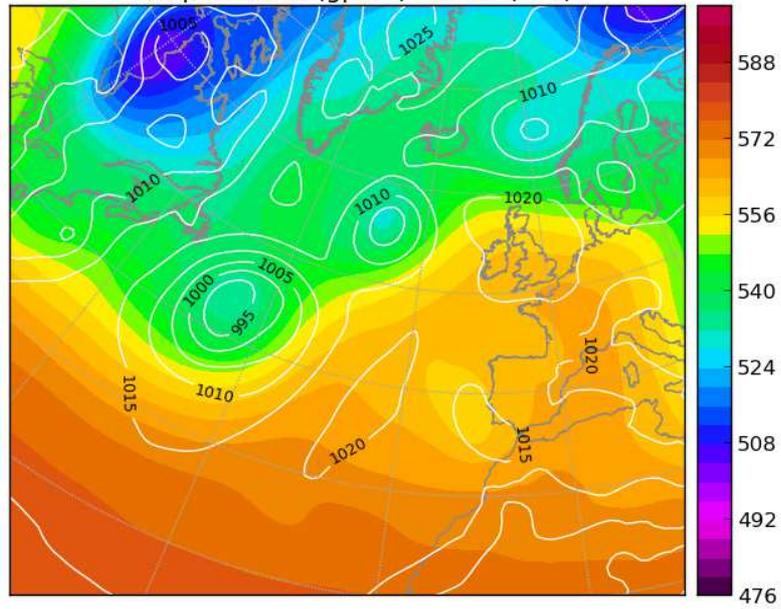
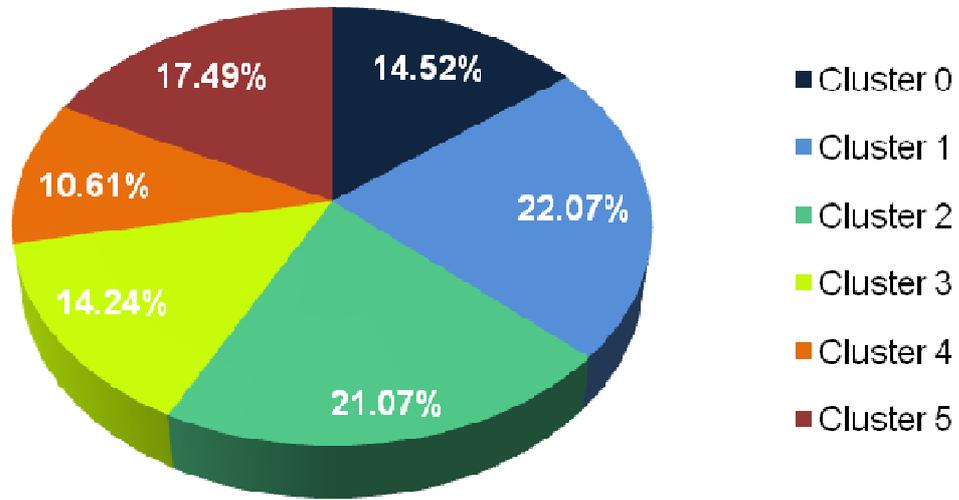
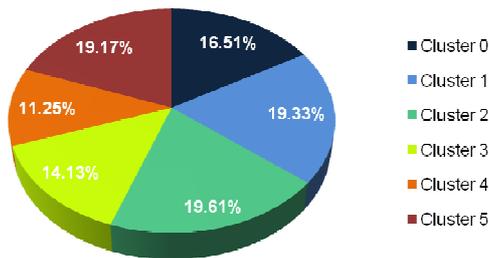


Figura A1.11.- Día representativo del clúster 6. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

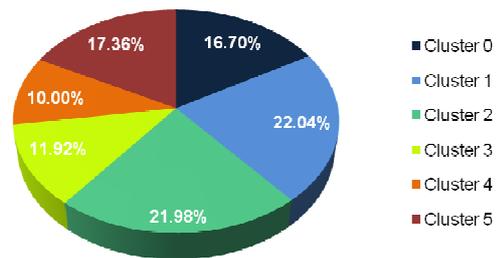
Anual



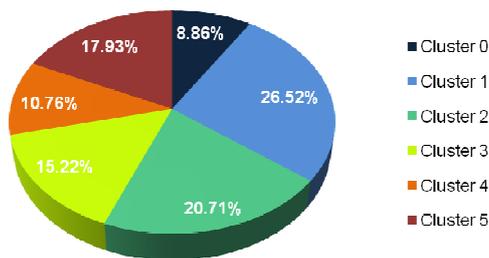
Invierno



Primavera



Verano



Otoño

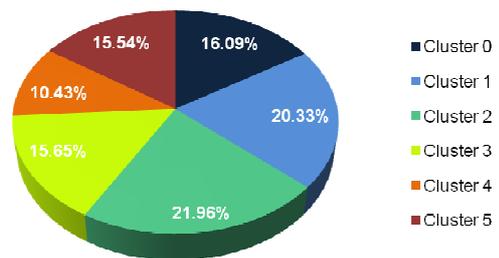


Figura A1.12.- Frecuencia de cada clúster. Anual y estacional

ANEXO 2: Banco de Galicia



Figura A2.1.- Distribución espacial de los puntos de estudio

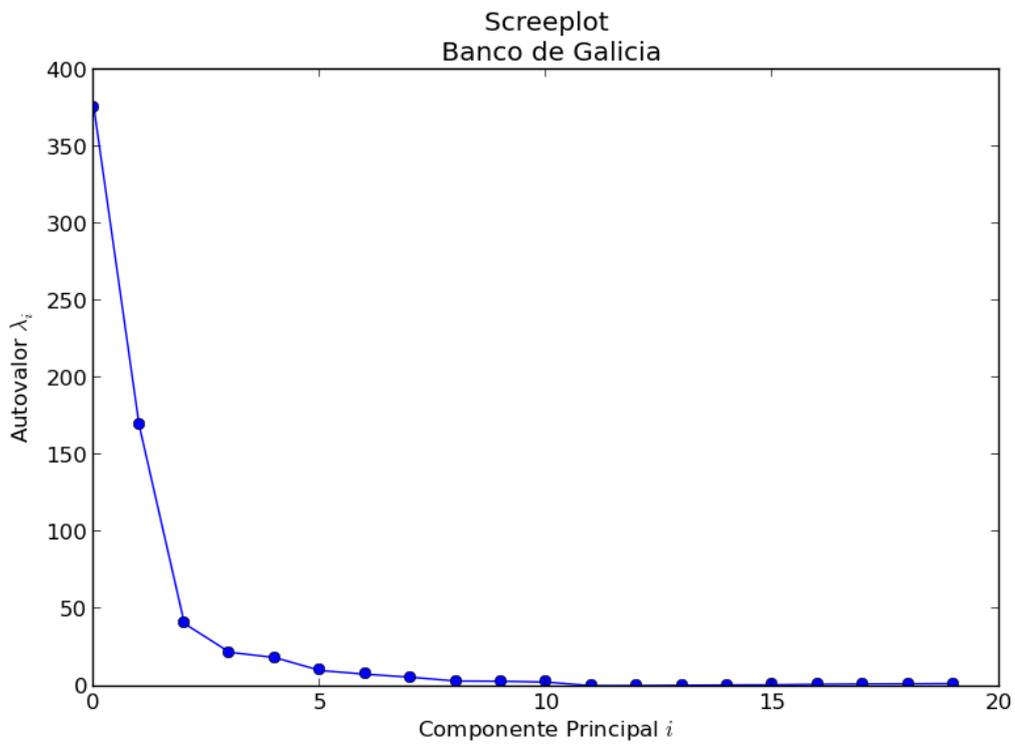


Figura A2.2.- Autovalores calculados para el área de estudio

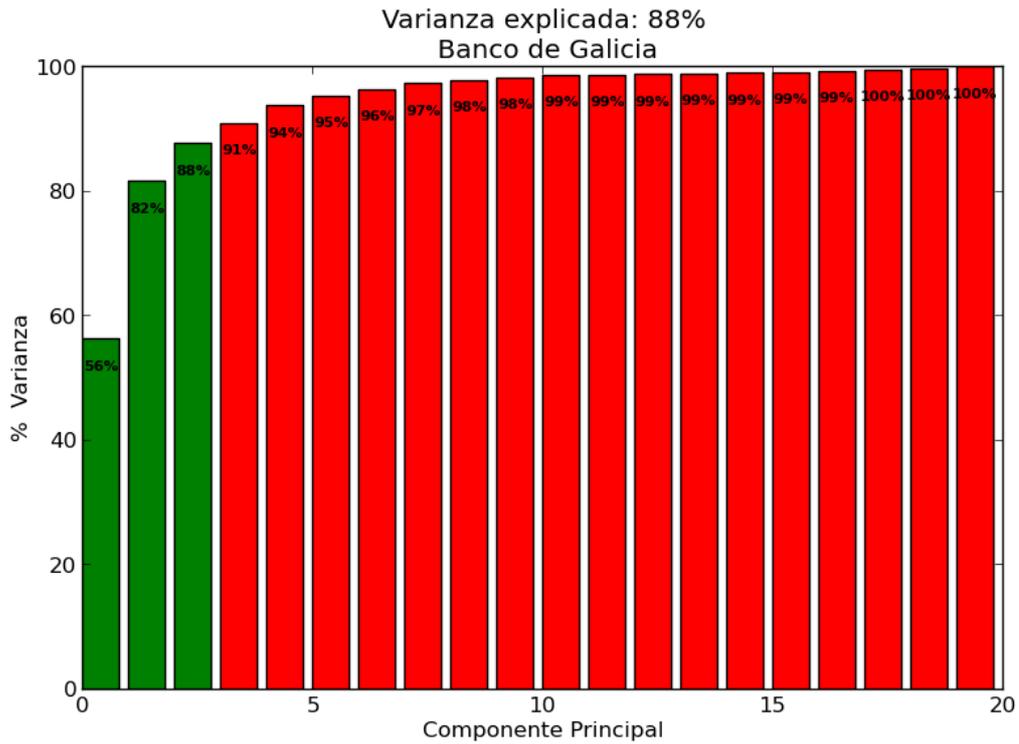


Figura A2.3.- Varianza explicada en función del número de componentes principales

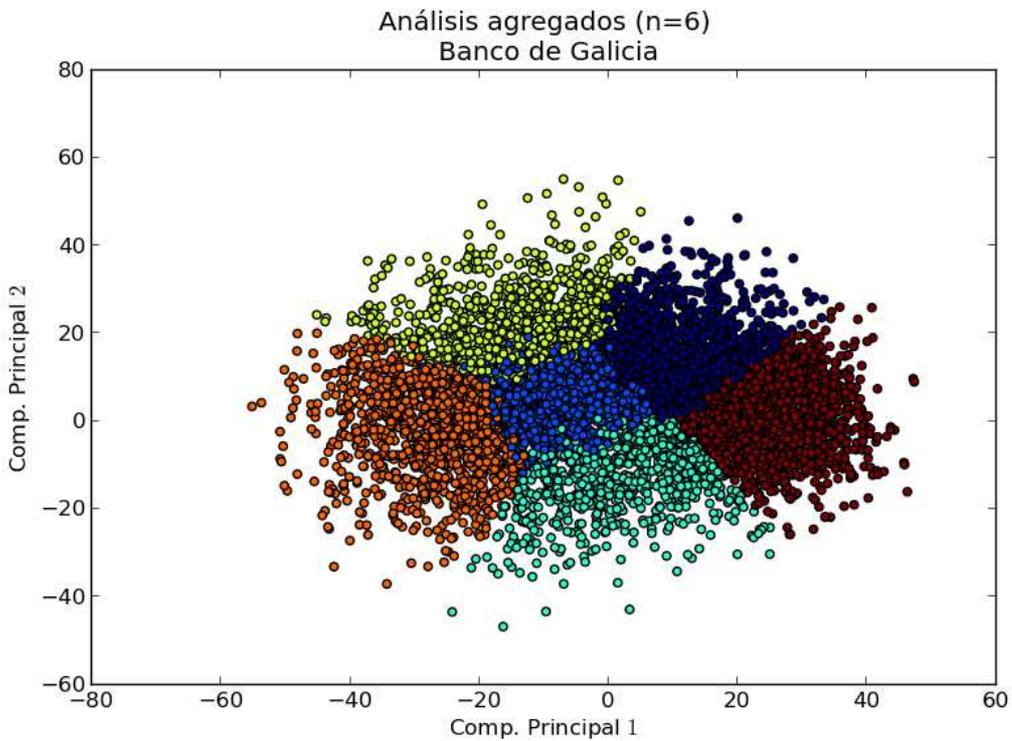


Figura A2.4.- Configuración 2D de las 2 primeras componentes principales

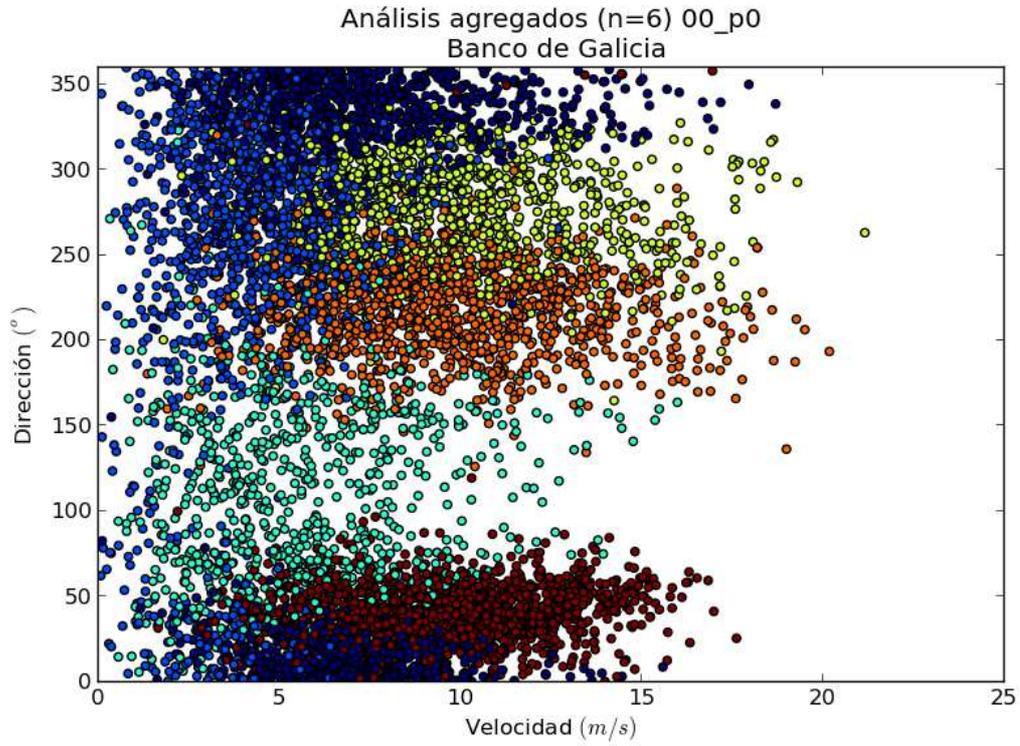


Figura A2.5.- Velocidad y dirección de viento de cada uno de los días de cada clúster

bdg_06clusters_k00 - 03/06/2008
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

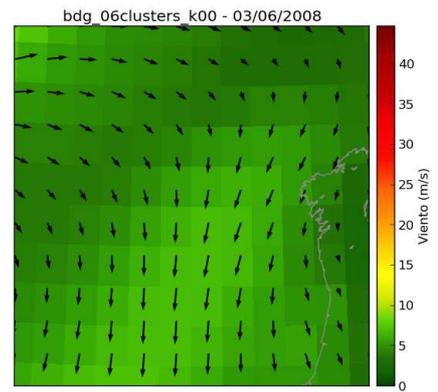
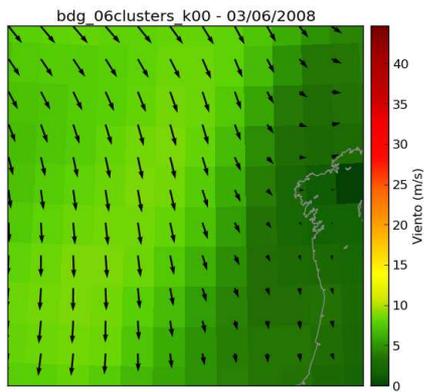
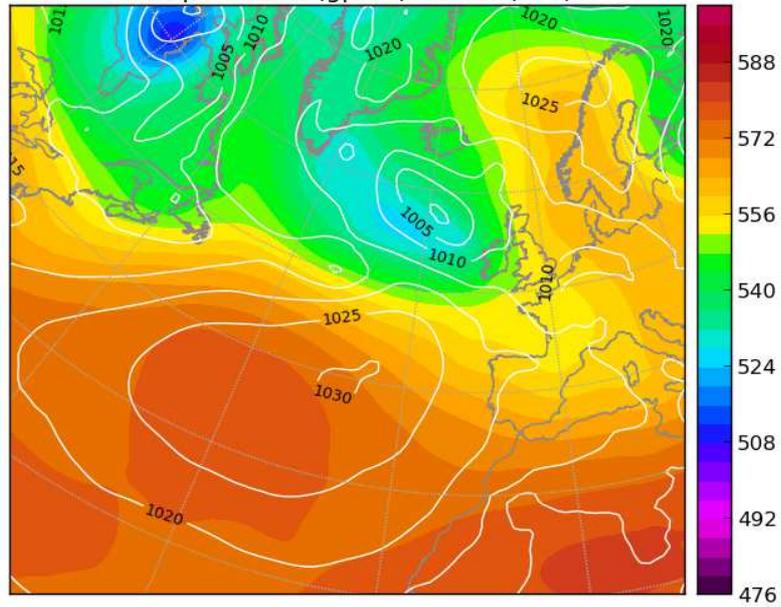


Figura A2.6.- Día representativo del clúster 0. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

bdg_06clusters_k01 - 03/05/2006
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

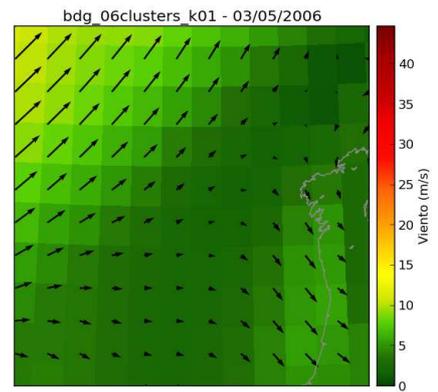
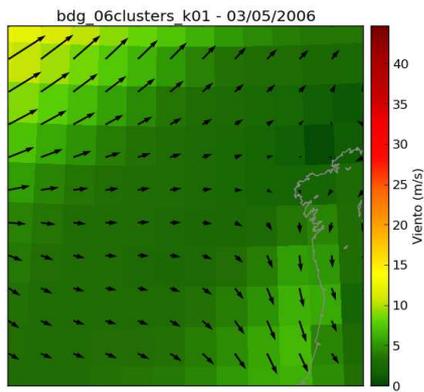
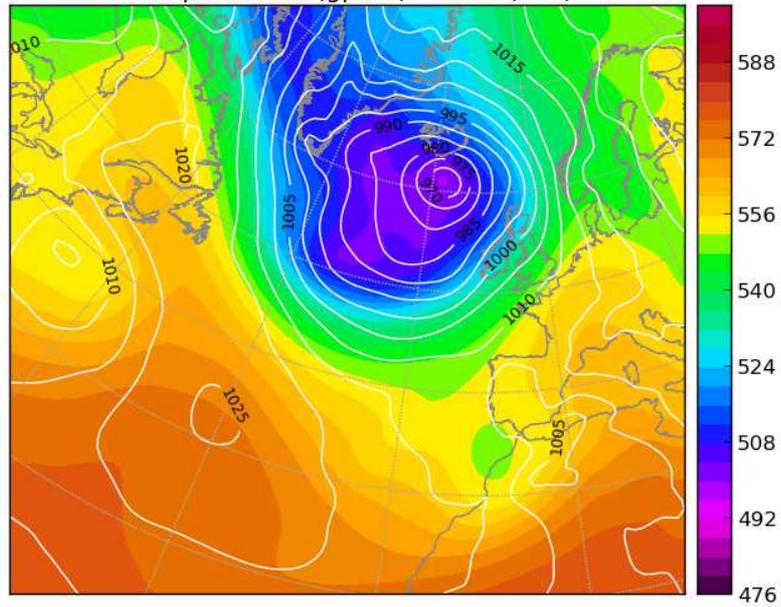


Figura A2.7.- Día representativo del clúster 1. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

bdg_06clusters_k02 - 07/06/2007
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

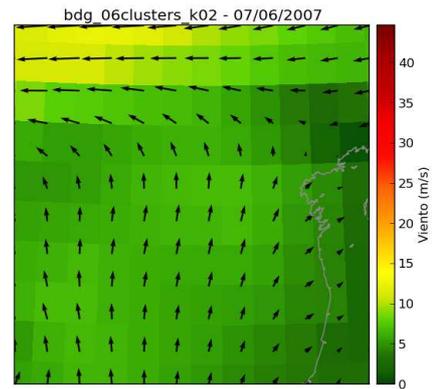
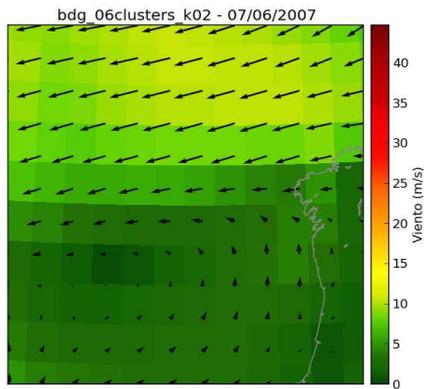
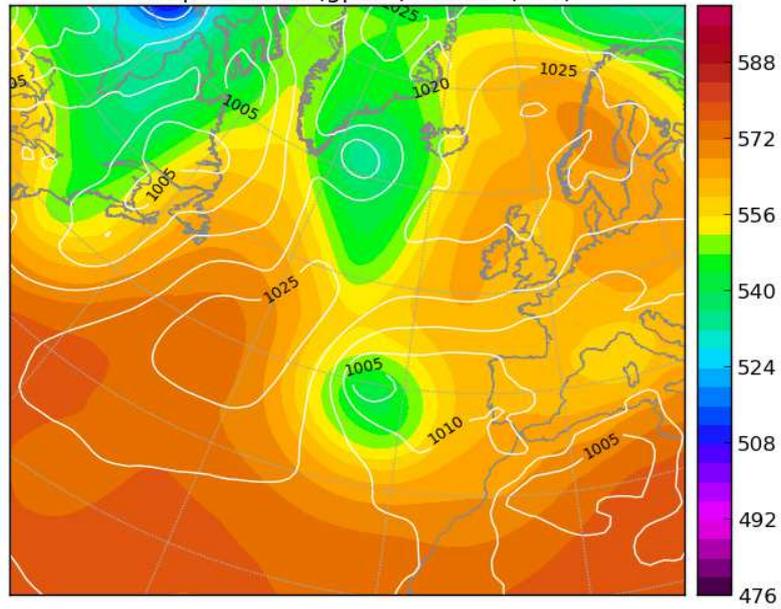


Figura A2.8.- Día representativo del clúster 2. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

bdg_06clusters_k03 - 17/05/2009
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

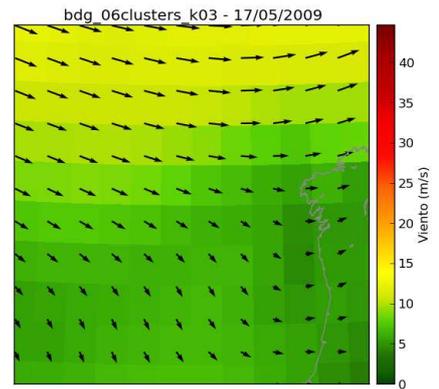
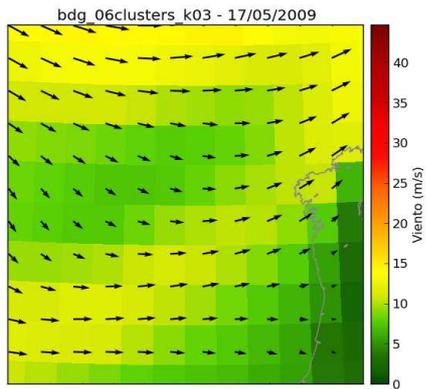
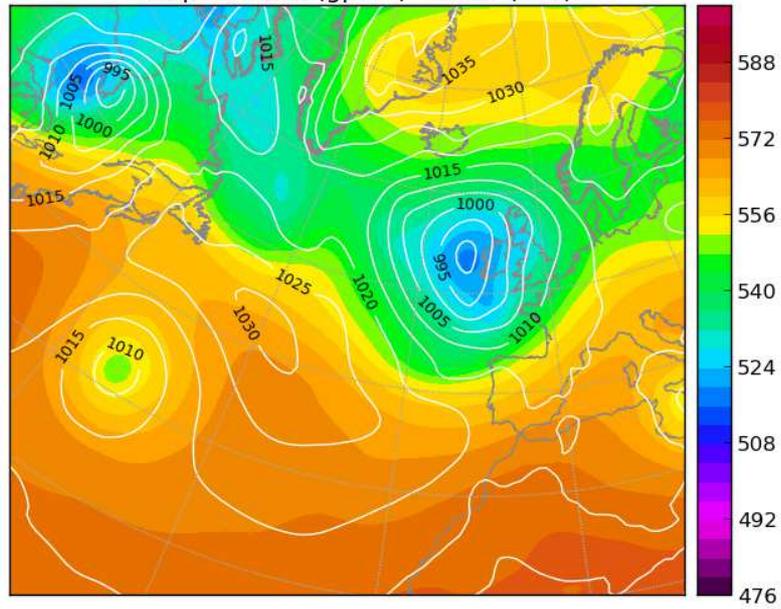


Figura A2.9.- Día representativo del clúster 3. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

bdg_06clusters_k04 - 28/10/2005
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

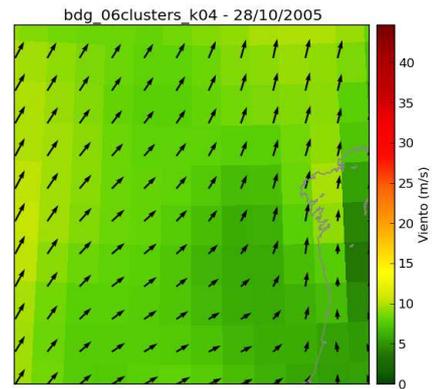
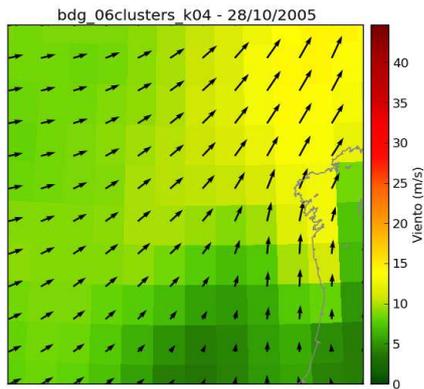
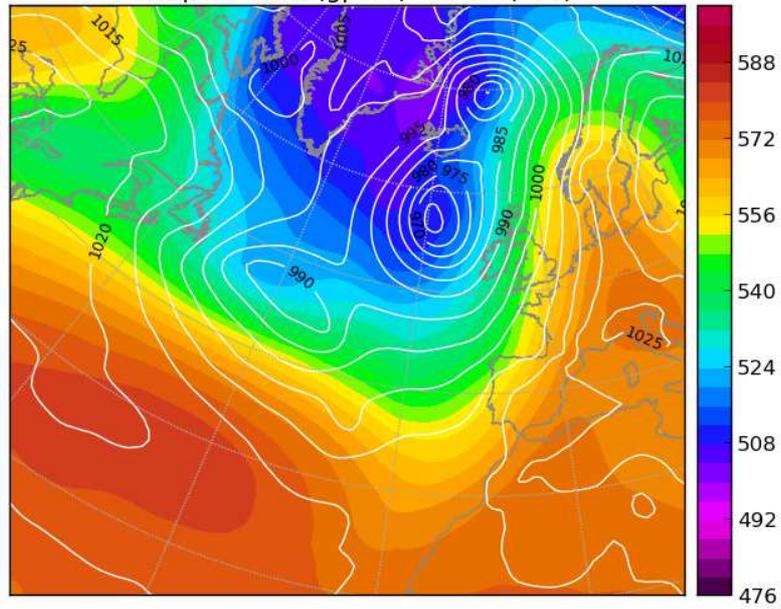


Figura A2.10.- Día representativo del clúster 4. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

bdg_06clusters_k05 - 11/06/2008
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

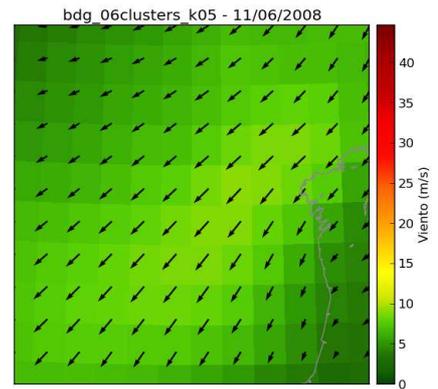
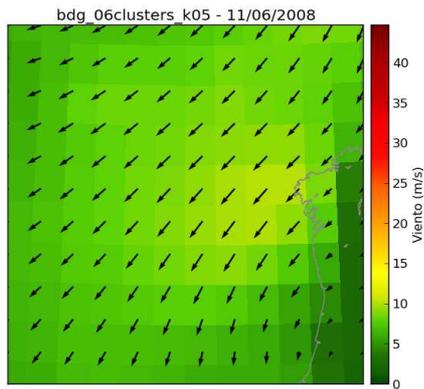
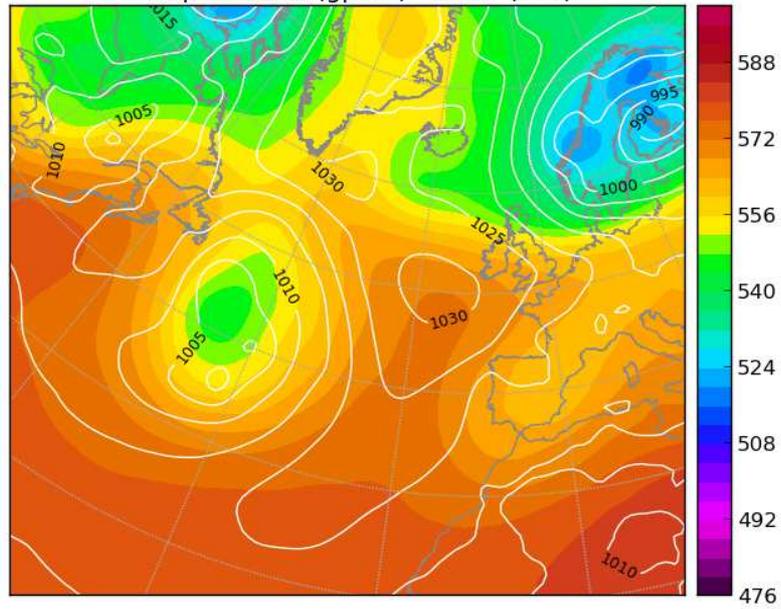
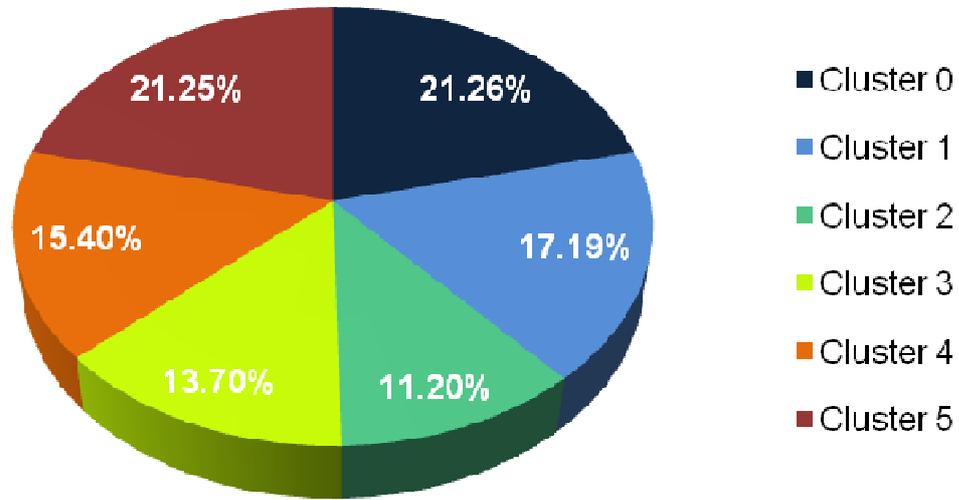
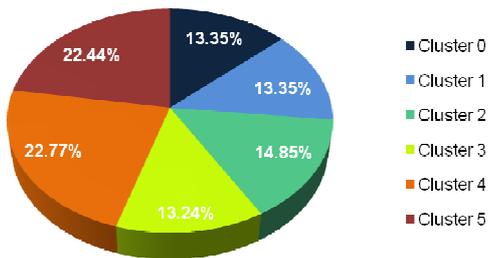


Figura A2.11.- Día representativo del clúster 6. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

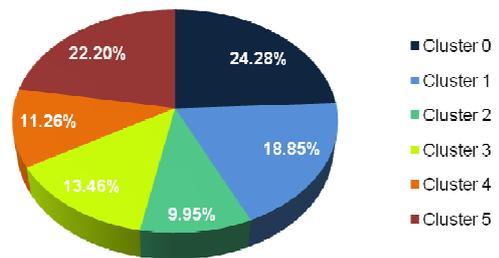
Anual



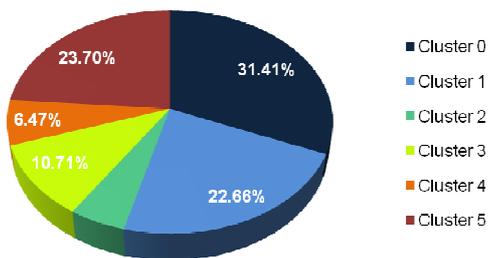
Invierno



Primavera



Verano



Otoño

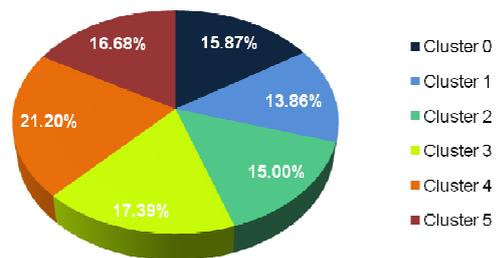


Figura A2.12.- Frecuencia de cada clúster. Anual y estacional

3.- Oriente y Sur de Fuerteventura y Lanzarote

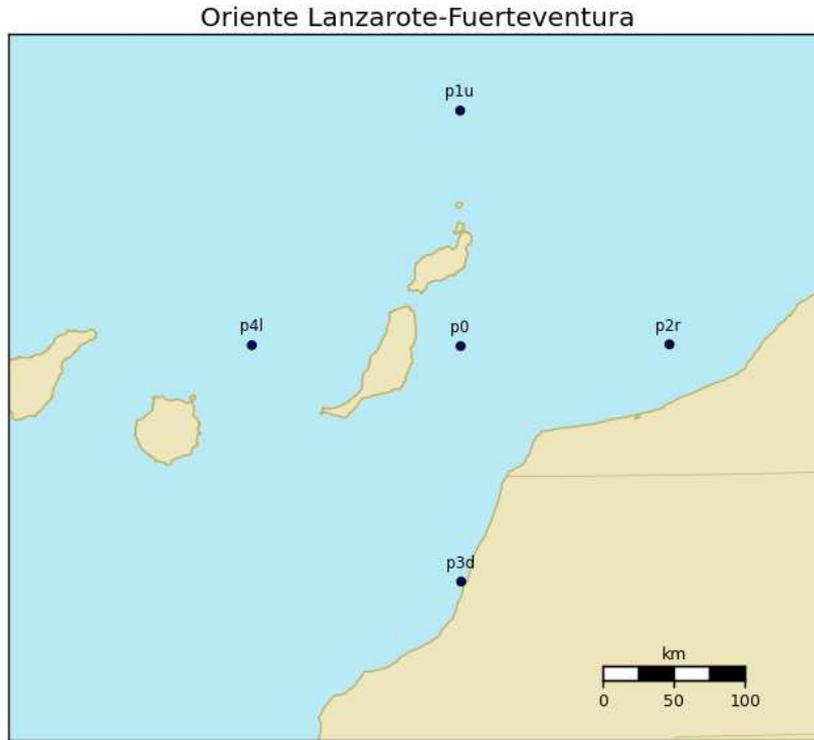


Figura A3.1.- Distribución espacial de los puntos de estudio

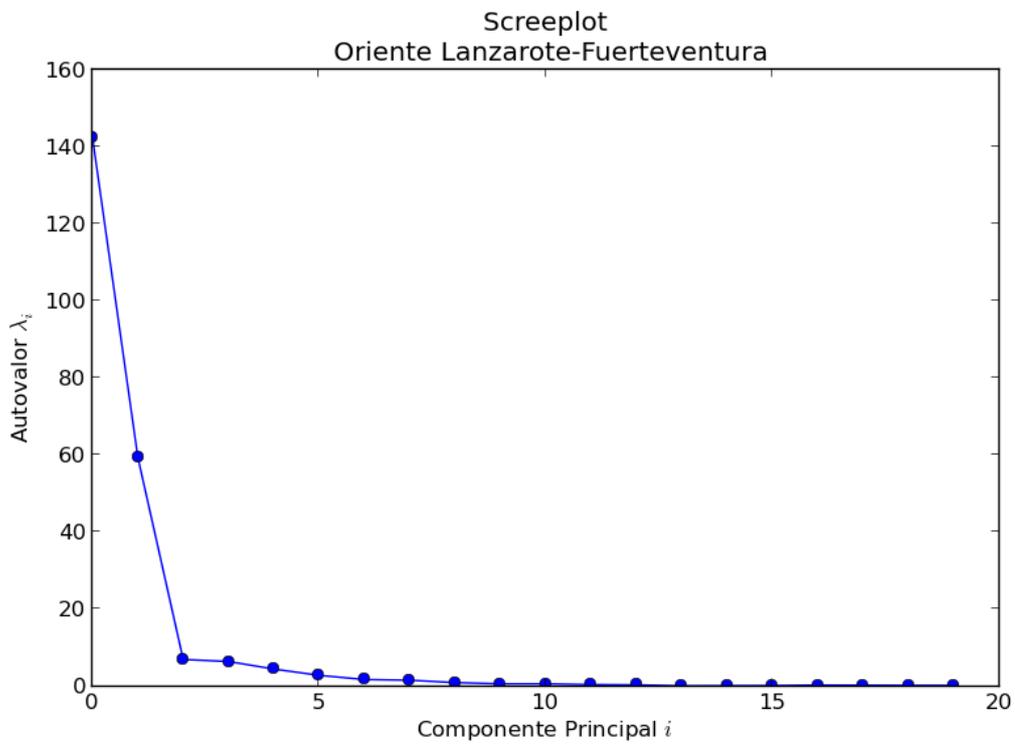


Figura A3.2.- Autovalores calculados para el área de estudio

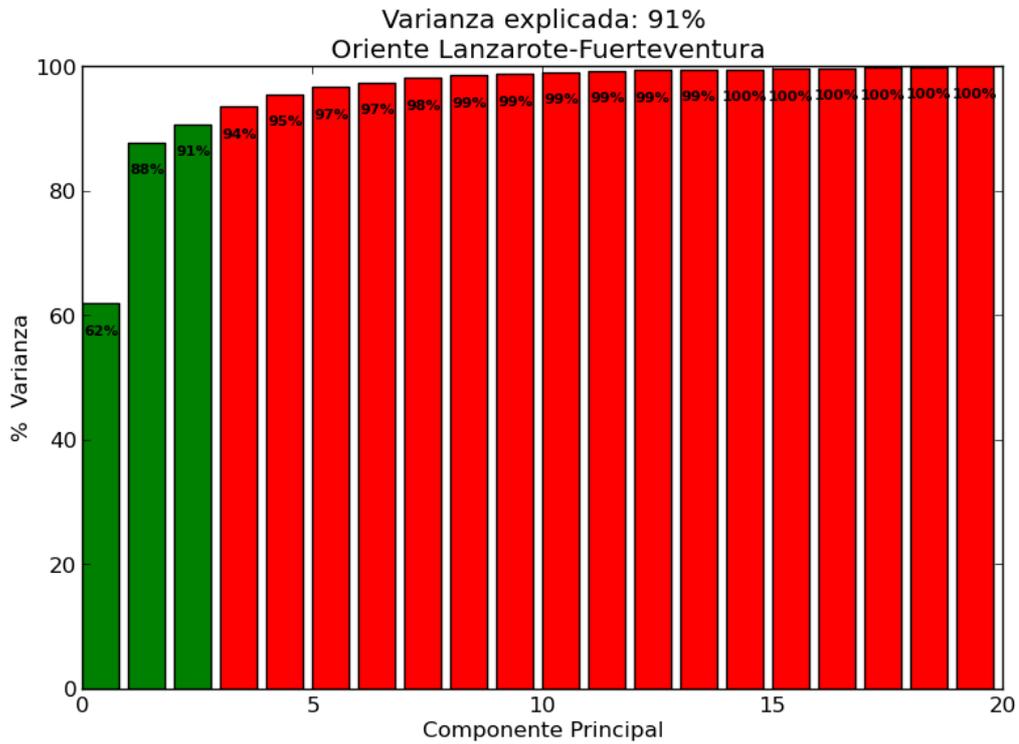


Figura A3.3.- Varianza explicada en función del número de componentes principales

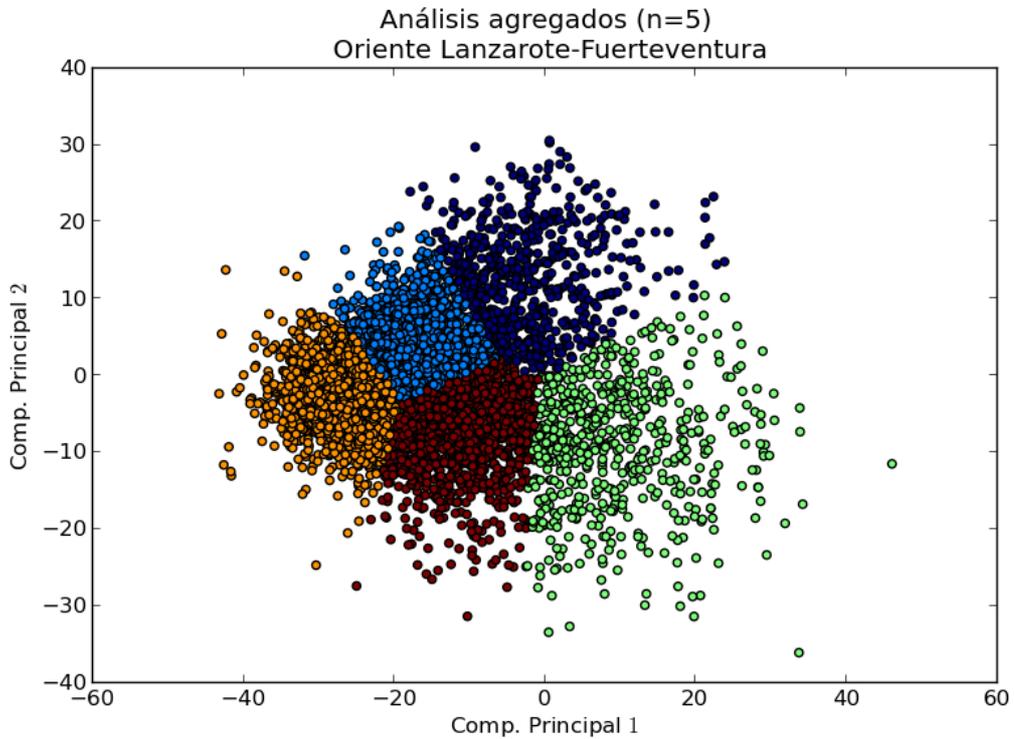


Figura A3.4.- Configuración 2D de las 2 primeras componentes principales

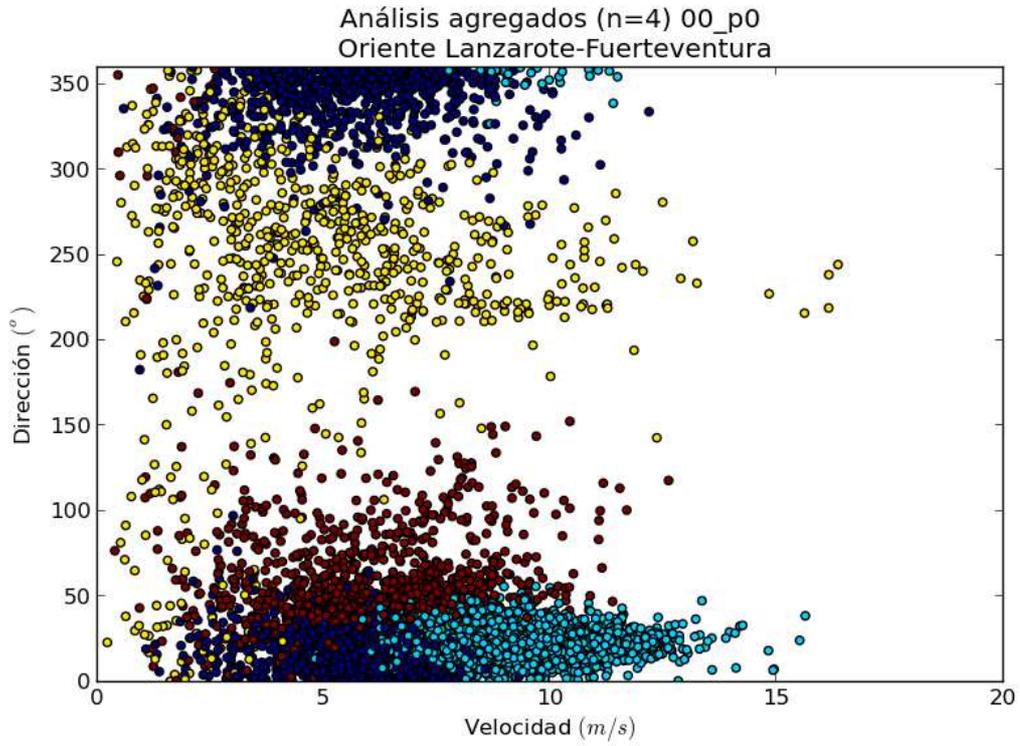


Figura A3.5.- Velocidad y dirección de viento de cada uno de los días de cada clúster

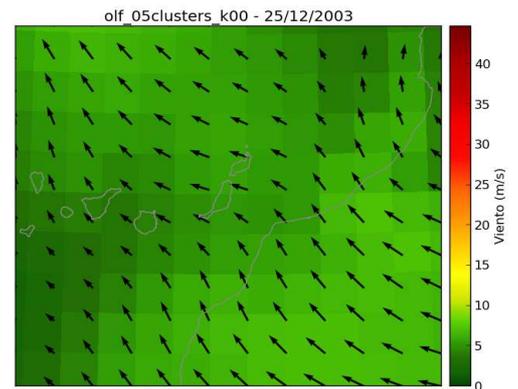
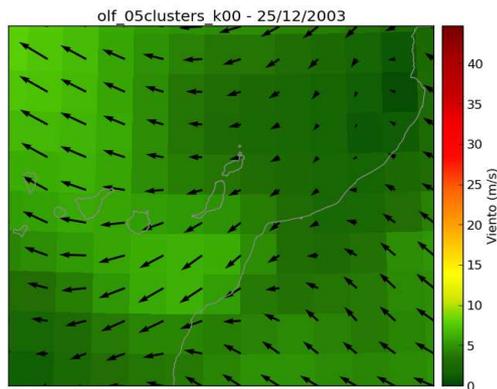
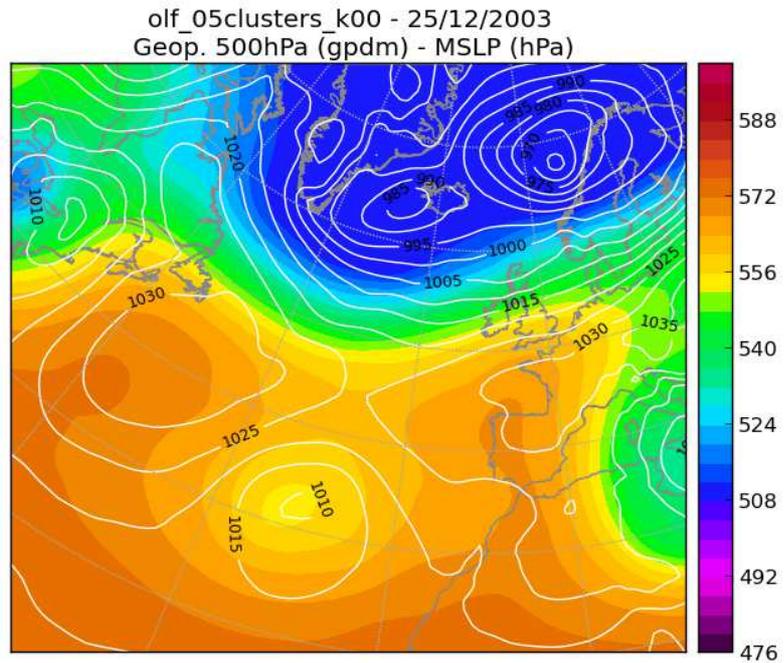


Figura A3.6.- Día representativo del clúster 0. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

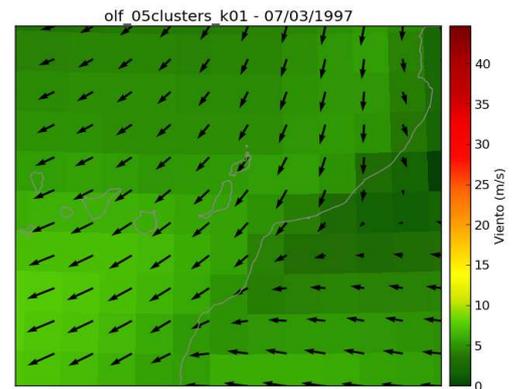
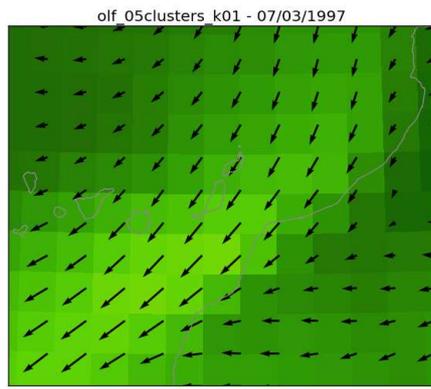
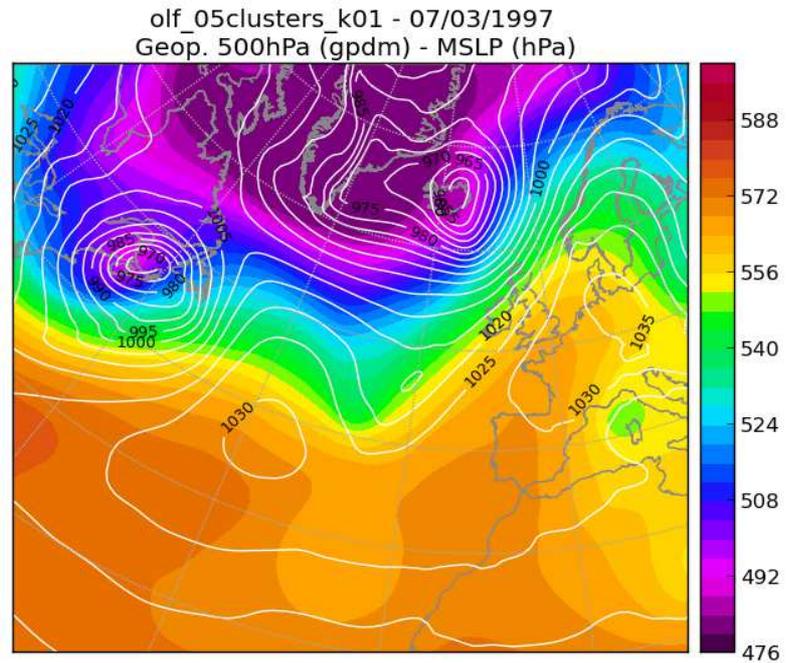


Figura A3.7.- Día representativo del clúster 1. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

olf_05clusters_k02 - 26/10/2003
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

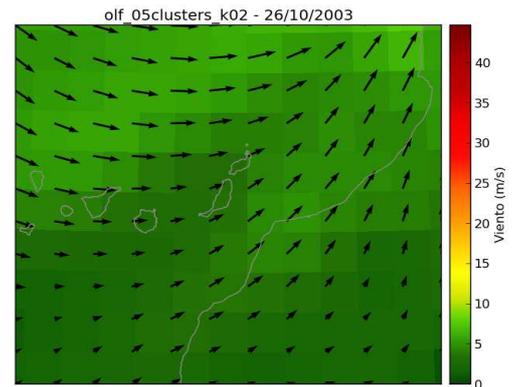
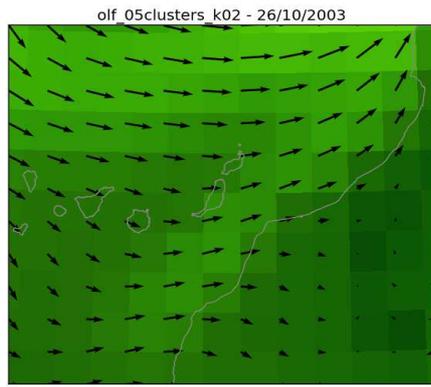
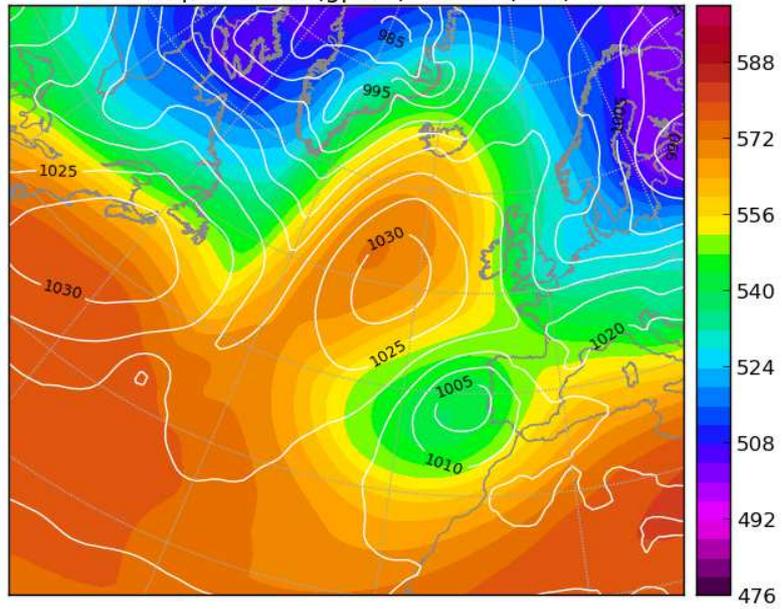


Figura A3.8.- Día representativo del clúster 2. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

olf_05clusters_k03 - 12/07/1993
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

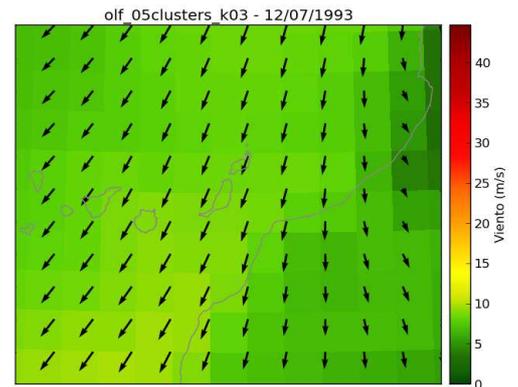
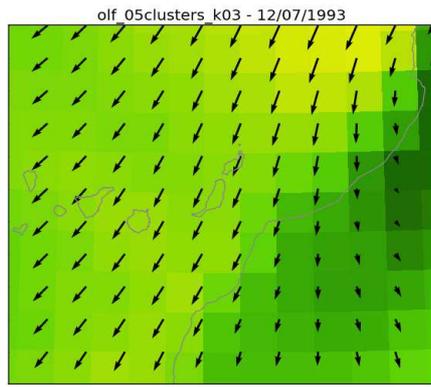
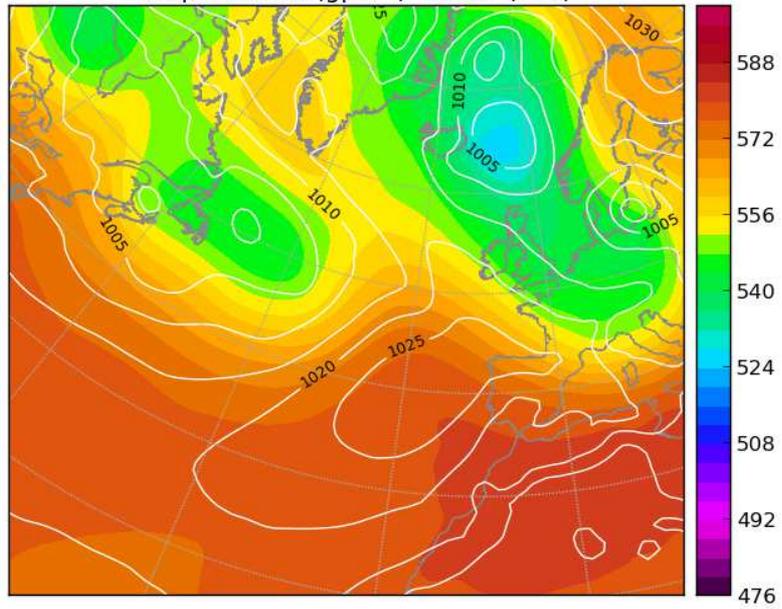
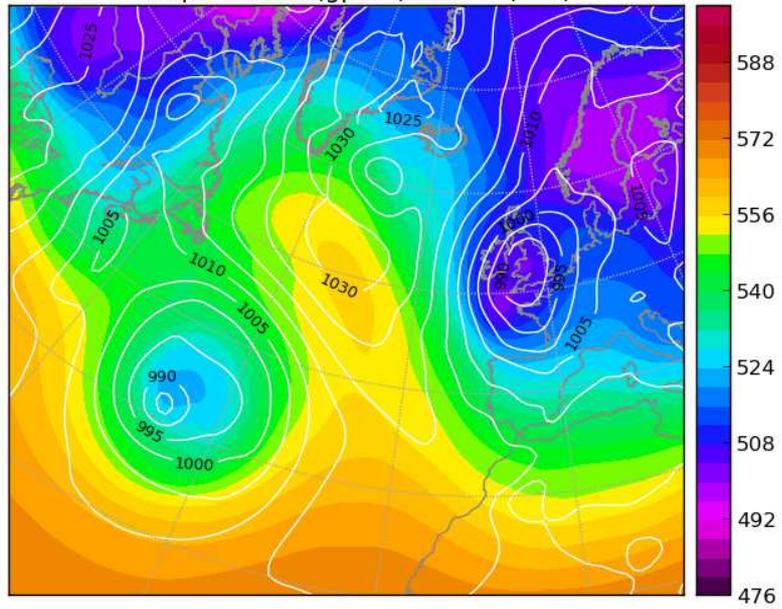
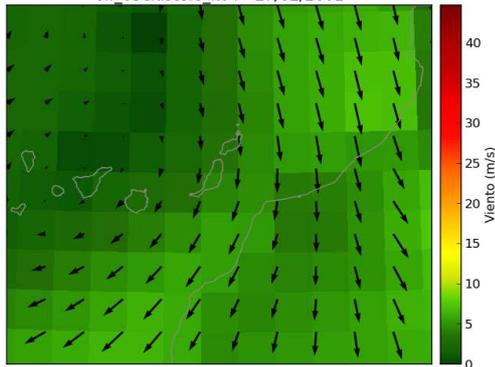


Figura A3.9.- Día representativo del clúster 3. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

olf_05clusters_k04 - 27/02/2001
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)



olf_05clusters_k04 - 27/02/2001



olf_05clusters_k04 - 27/02/2001

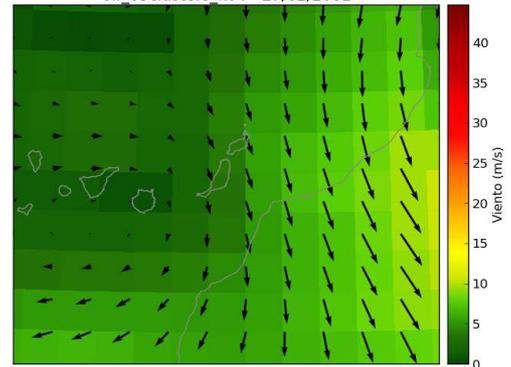
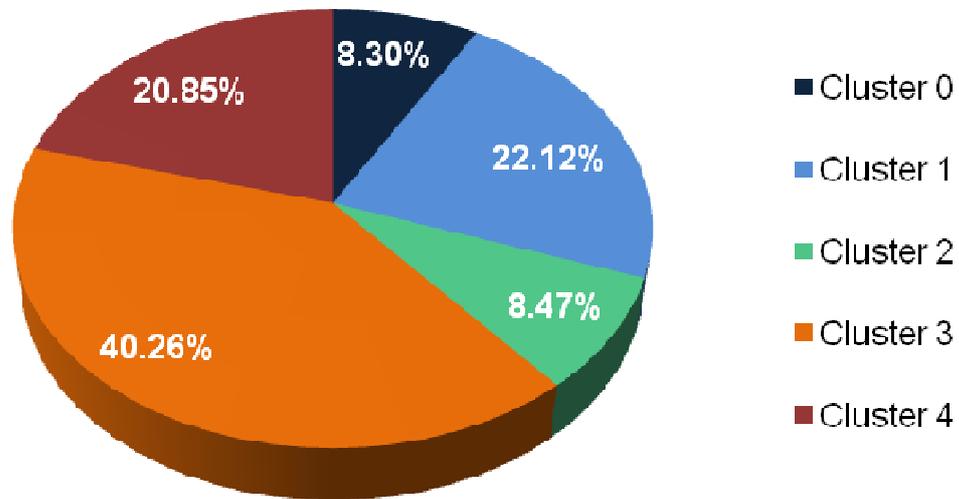
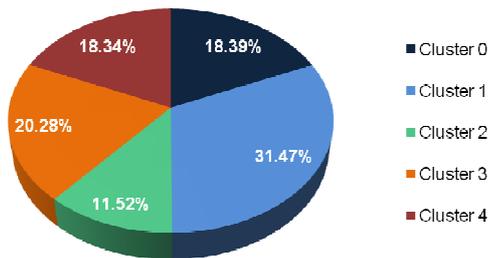


Figura A3.10.- Día representativo del clúster 4. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

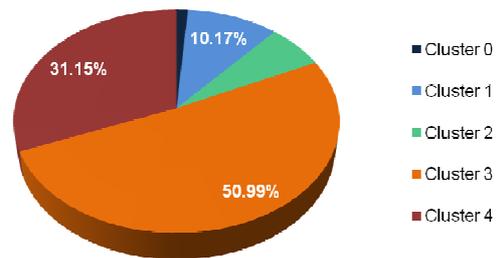
Anual



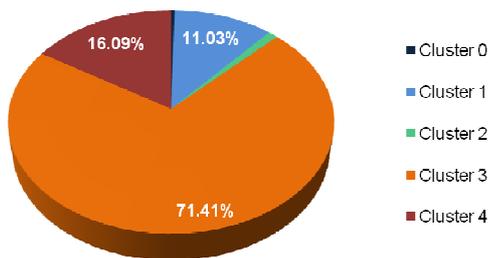
Invierno



Primavera



Verano



Otoño

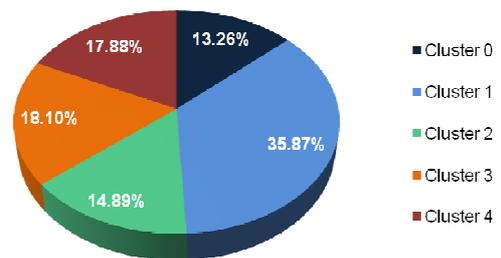


Figura A3.11.- Frecuencia de cada clúster. Anual y estacional

4.- Chimeneas de Cádiz

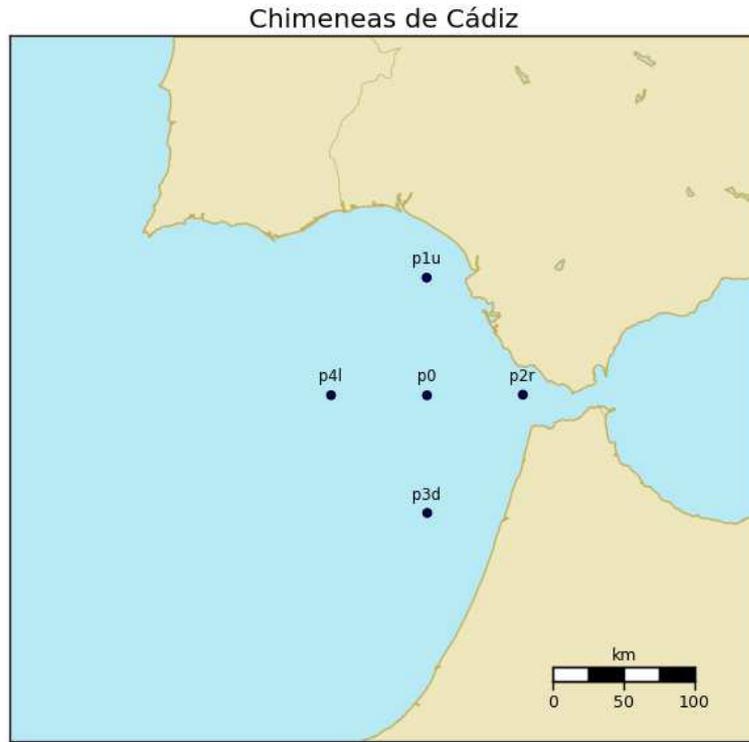


Figura A4.1.- Distribución espacial de los puntos de estudio

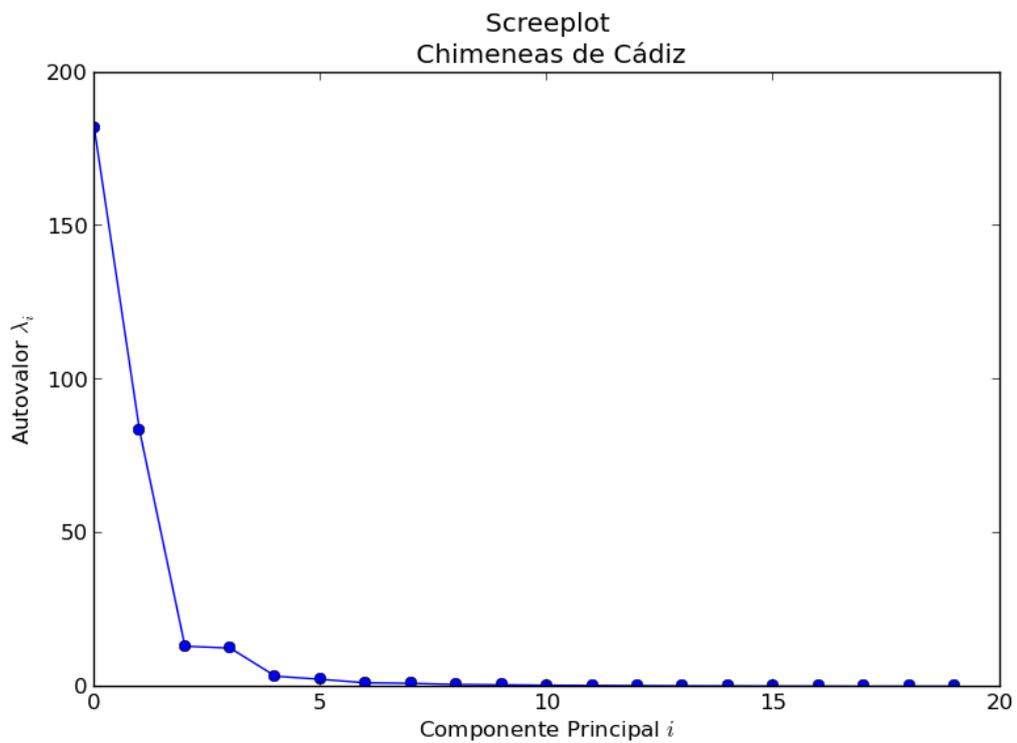


Figura A4.2.- Autovalores calculados para el área de estudio

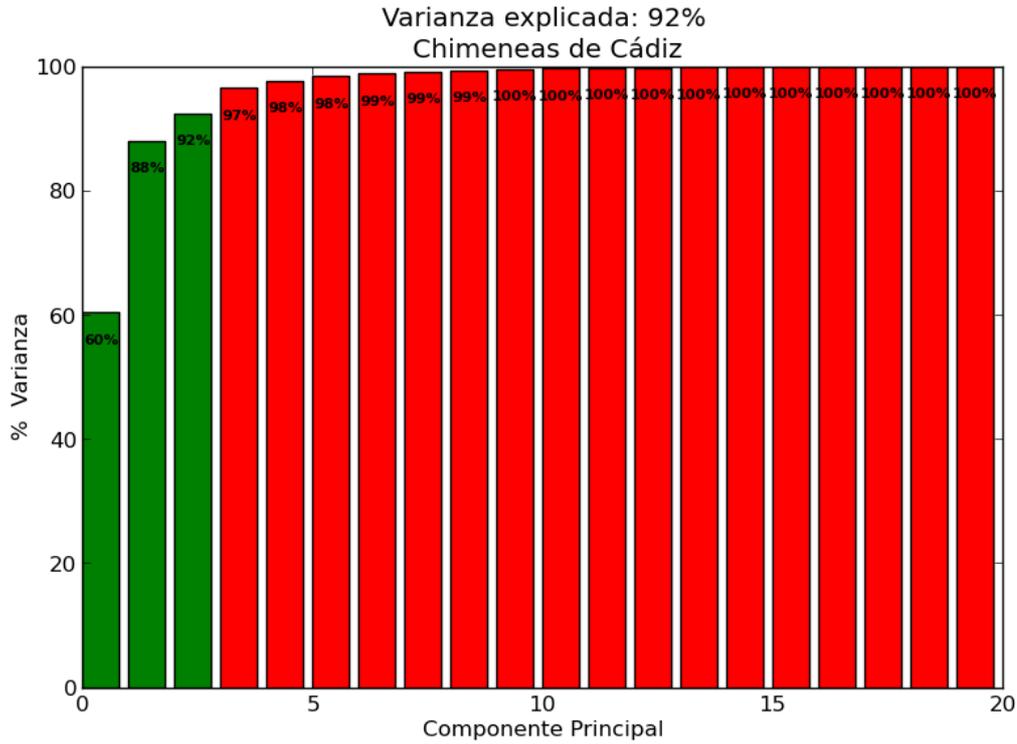


Figura A4.3.- Varianza explicada en función del número de componentes principales

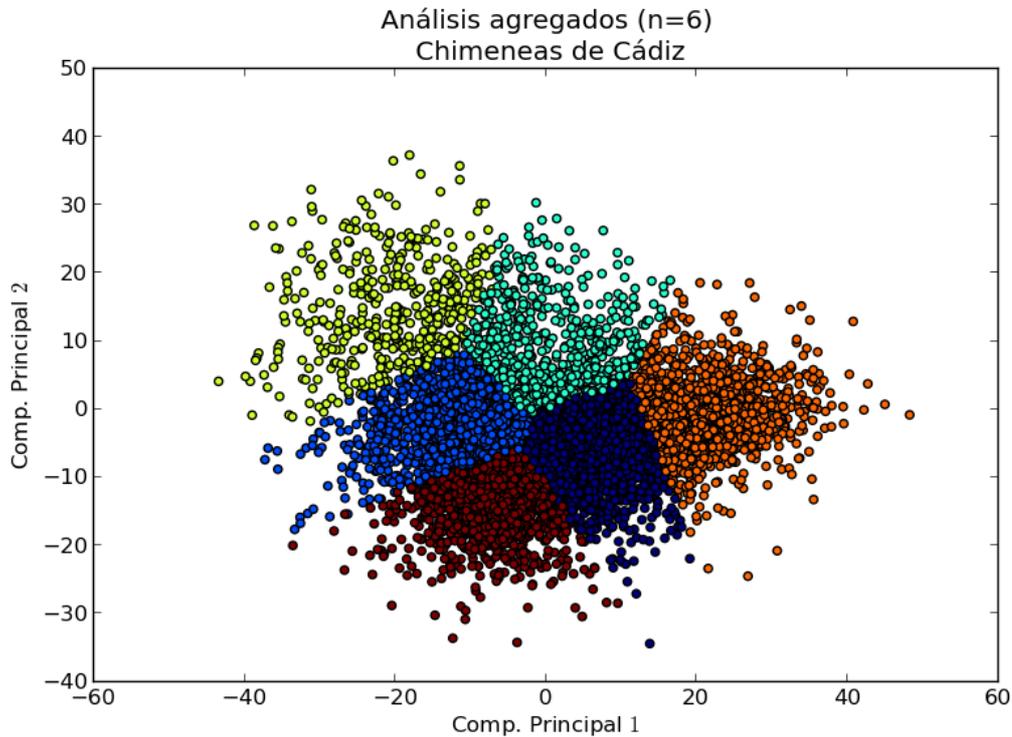


Figura A4.4.- Configuración 2D de las 2 primeras componentes principales

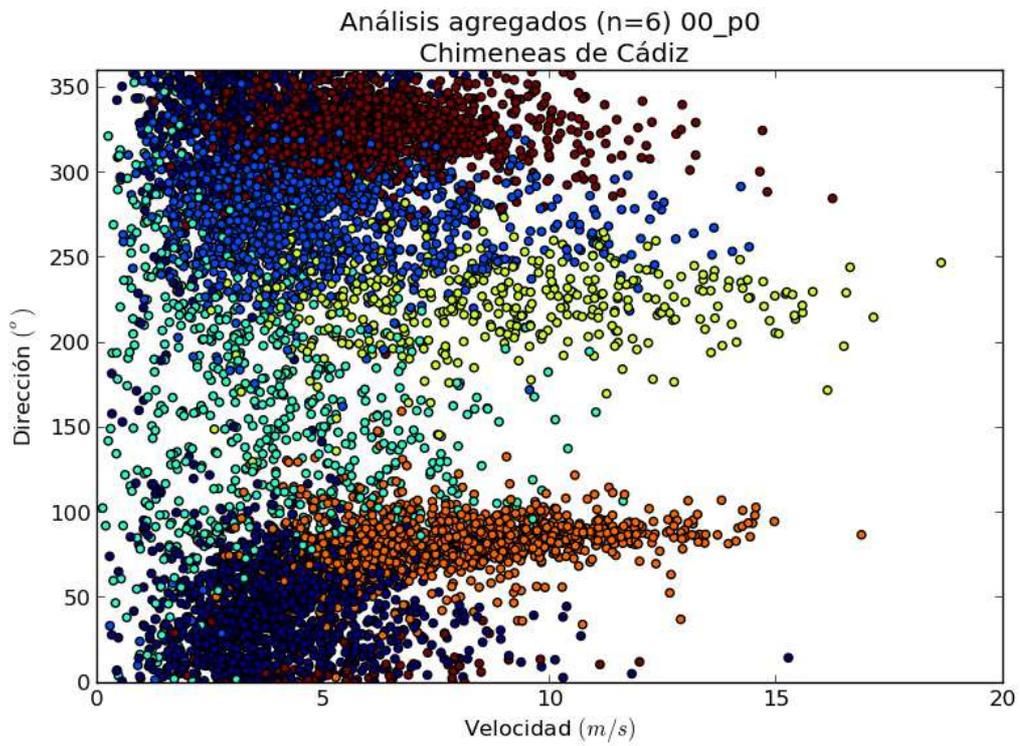


Figura A4.5.- Velocidad y dirección de viento de cada uno de los días de cada clúster

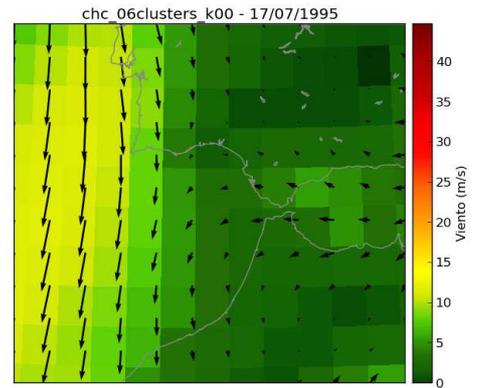
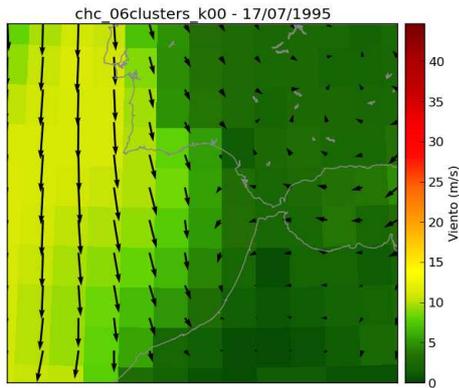
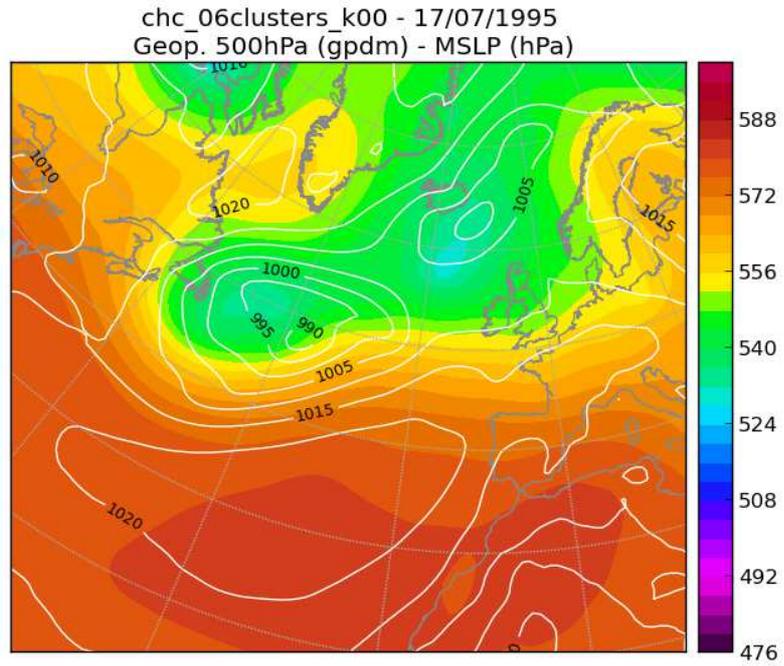
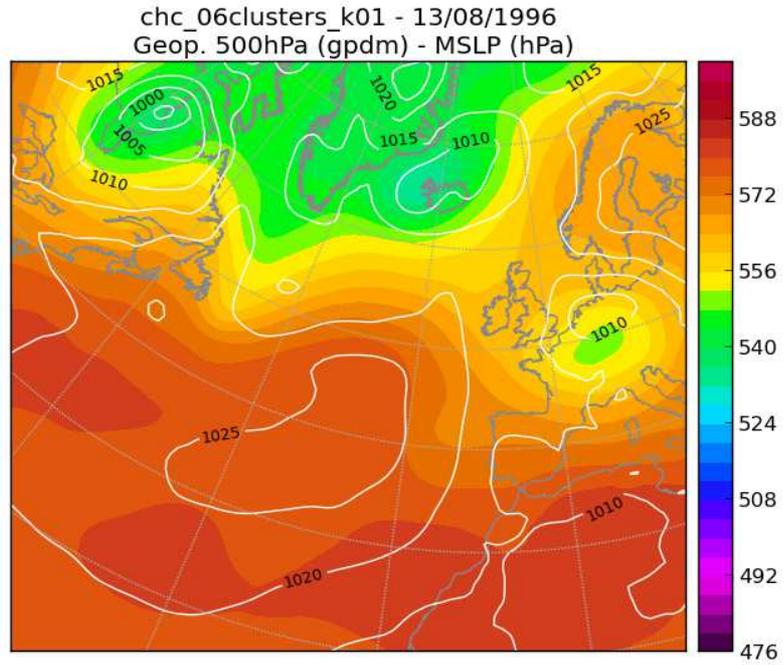
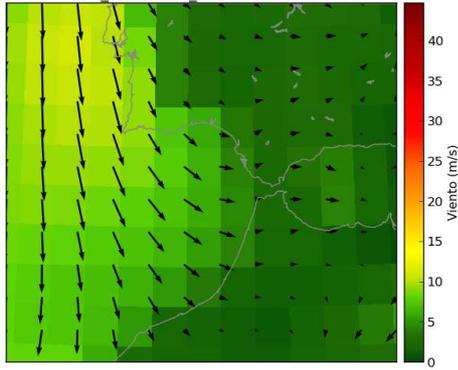


Figura A4.6.- Día representativo del clúster 0. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC



chc_06clusters_k01 - 13/08/1996



chc_06clusters_k01 - 13/08/1996

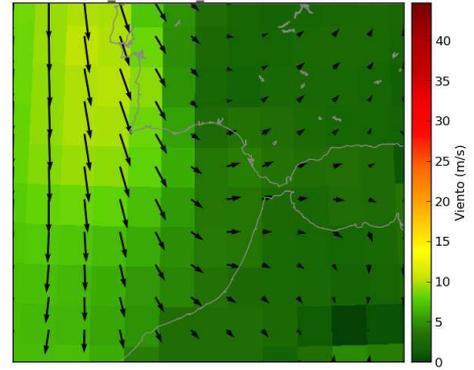


Figura A4.7.- Día representativo del clúster 1. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

chc_06clusters_k02 - 29/10/2005
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

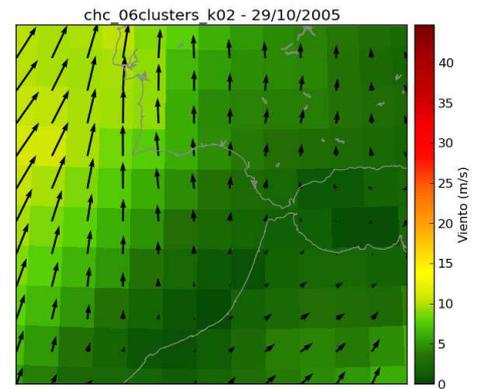
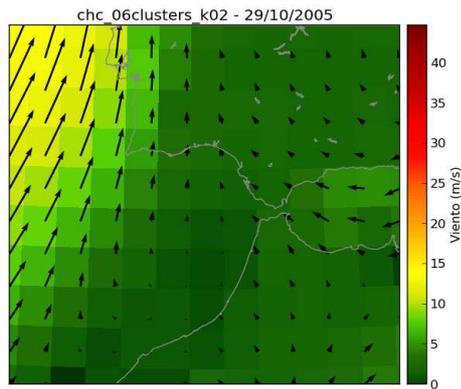
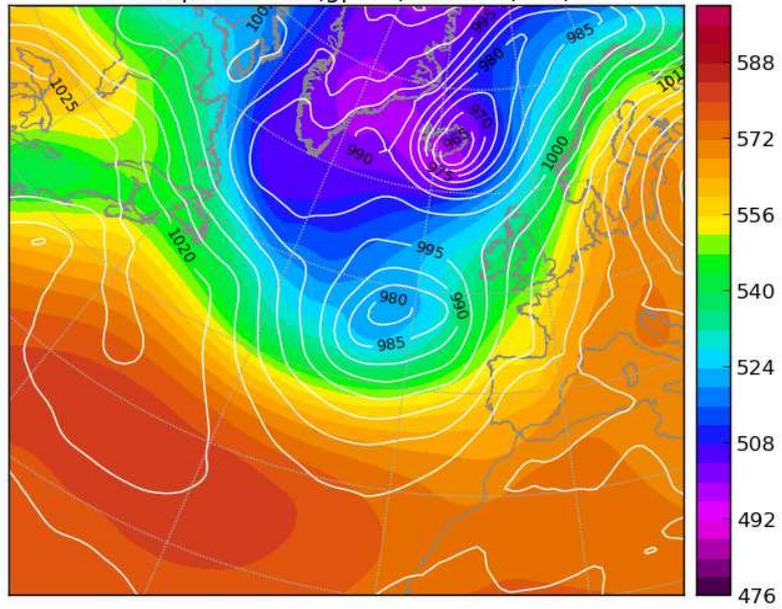


Figura A4.8.- Día representativo del clúster 2. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

chc_06clusters_k03 - 29/04/1999
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

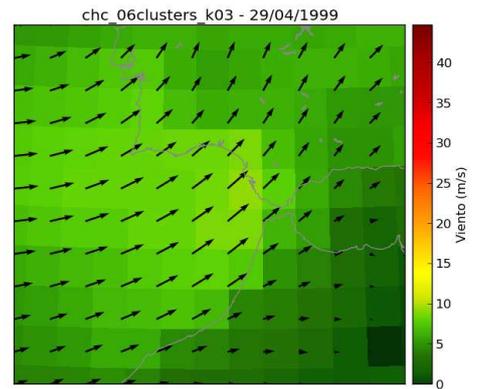
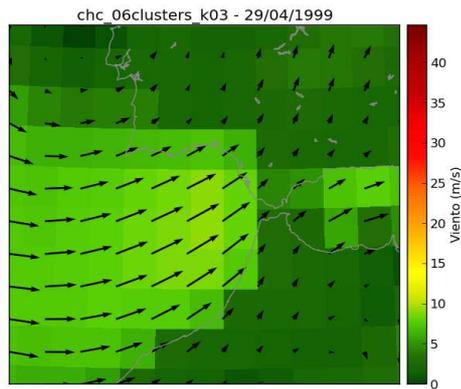
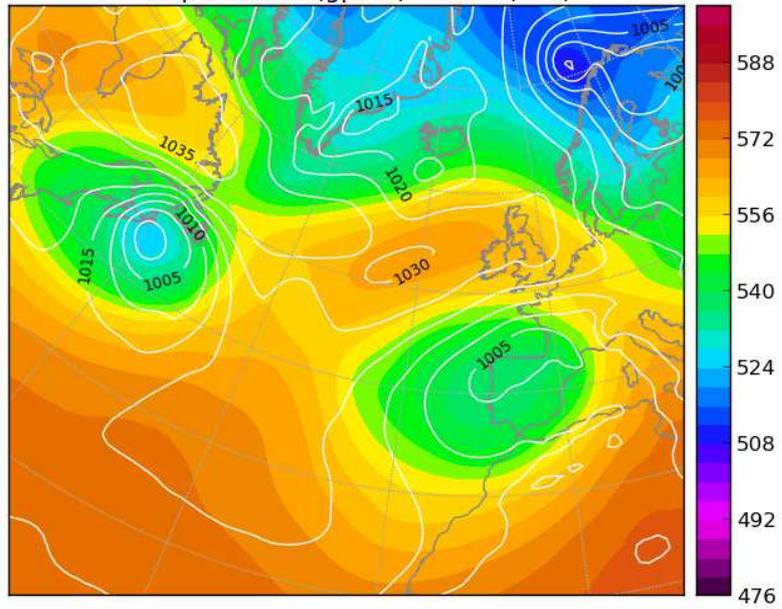


Figura A4.9.- Día representativo del clúster 3. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

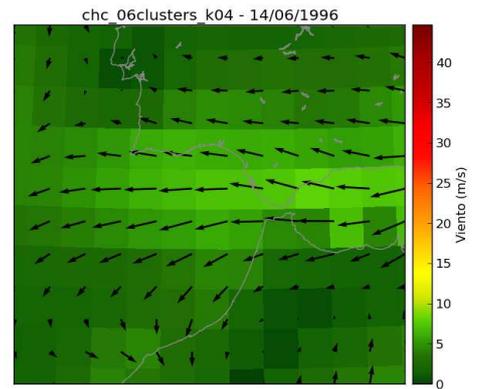
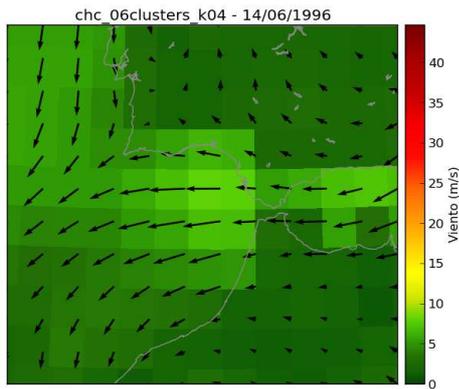
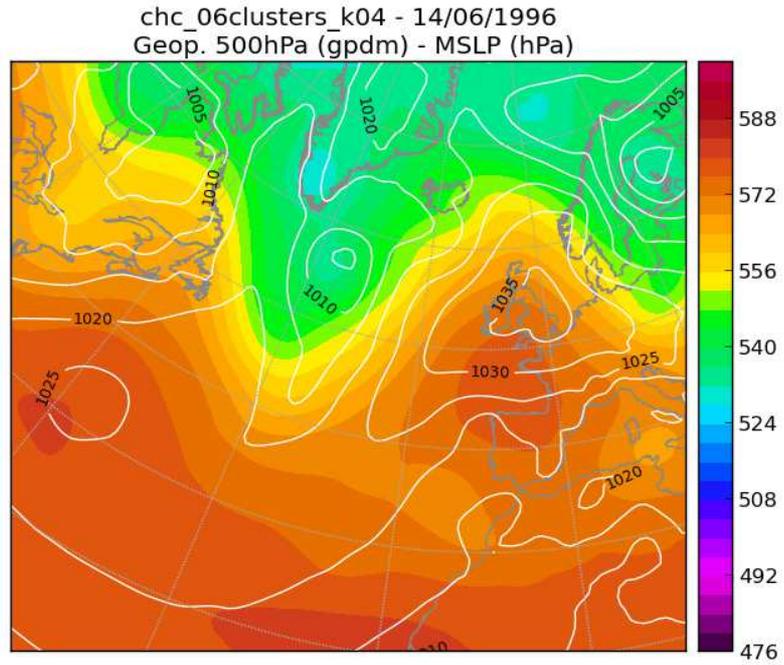


Figura A4.10.- Día representativo del clúster 4. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

chc_06clusters_k05 - 12/04/2008
Geop. 500hPa (gpdm) - MSLP (hPa)

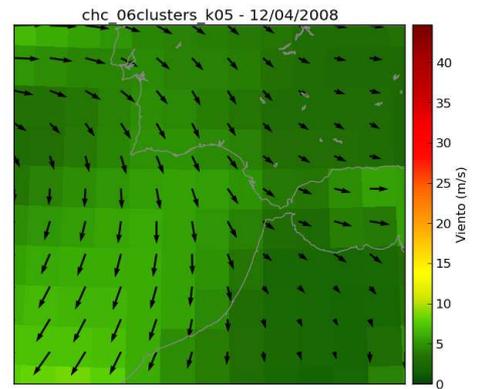
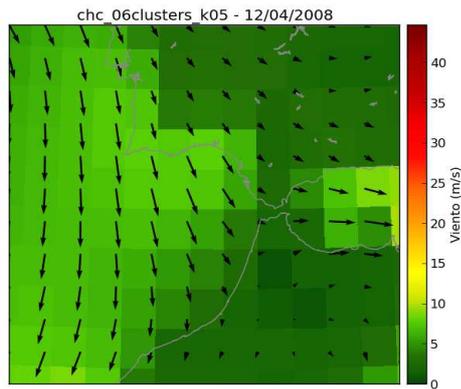
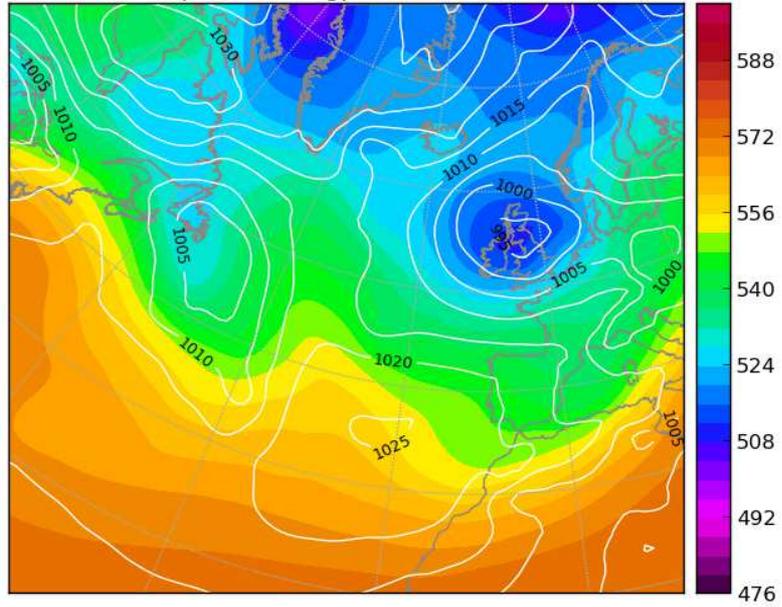
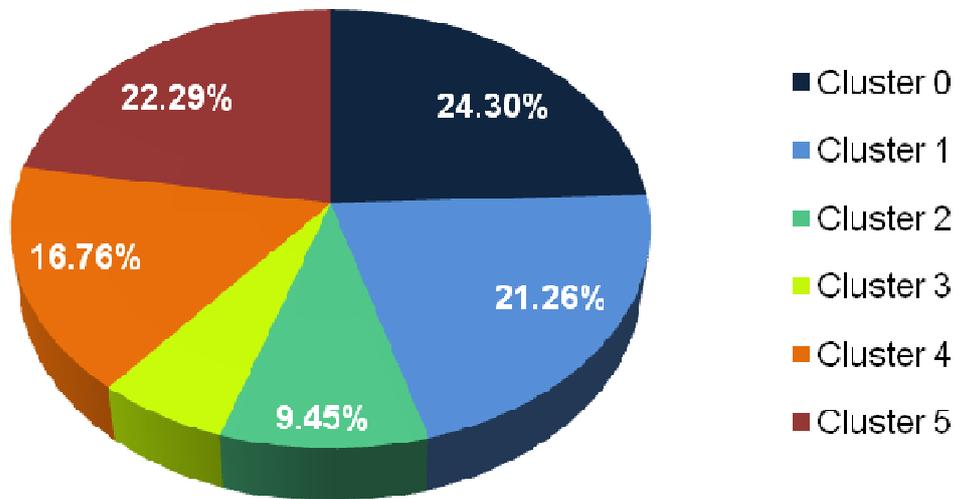
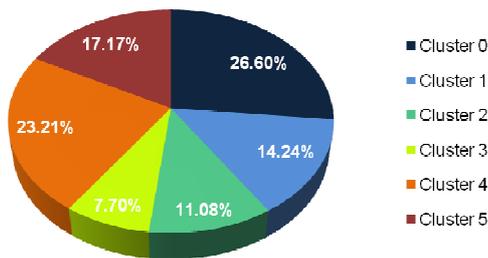


Figura A4.11.- Día representativo del clúster 6. Presión a las 00 y viento a las 00 y 12 UTC

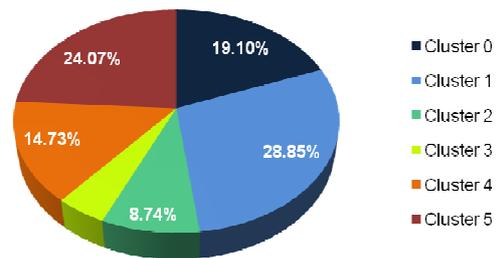
Anual



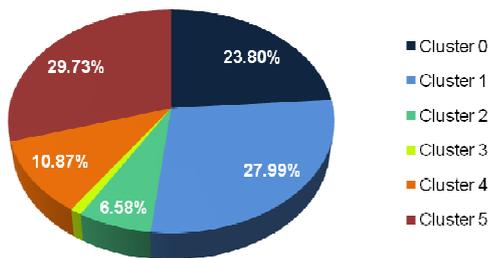
Invierno



Primavera



Verano



Otoño

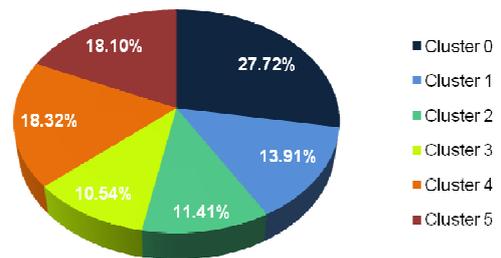


Figura A4.12.- Frecuencia de cada clúster. Anual y estacional

ANEXO 2: ANÁLISIS DE LAS PROBABILIDADES

1.- Alborán y Seco de los Olivos

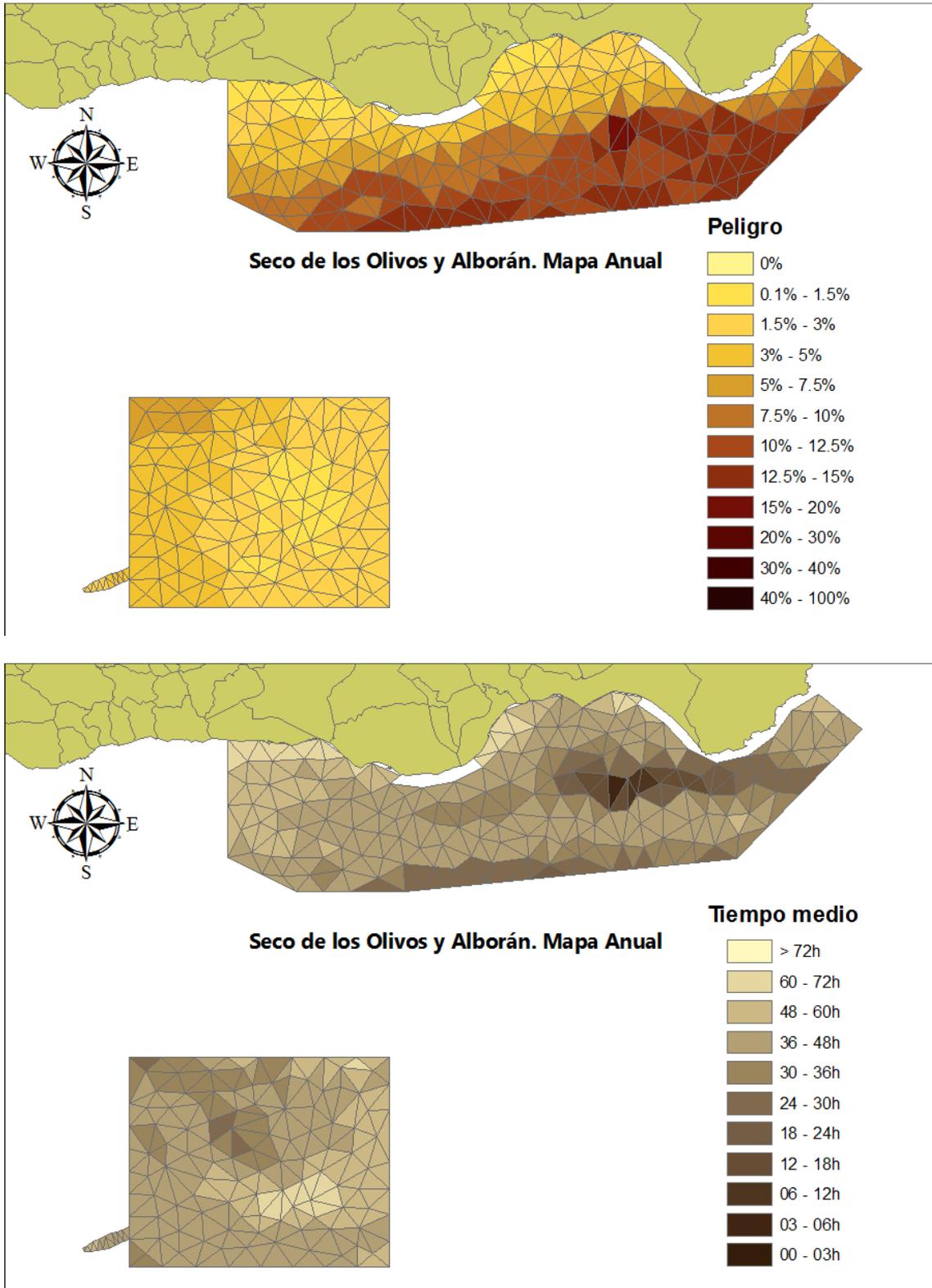


Fig A2.1.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

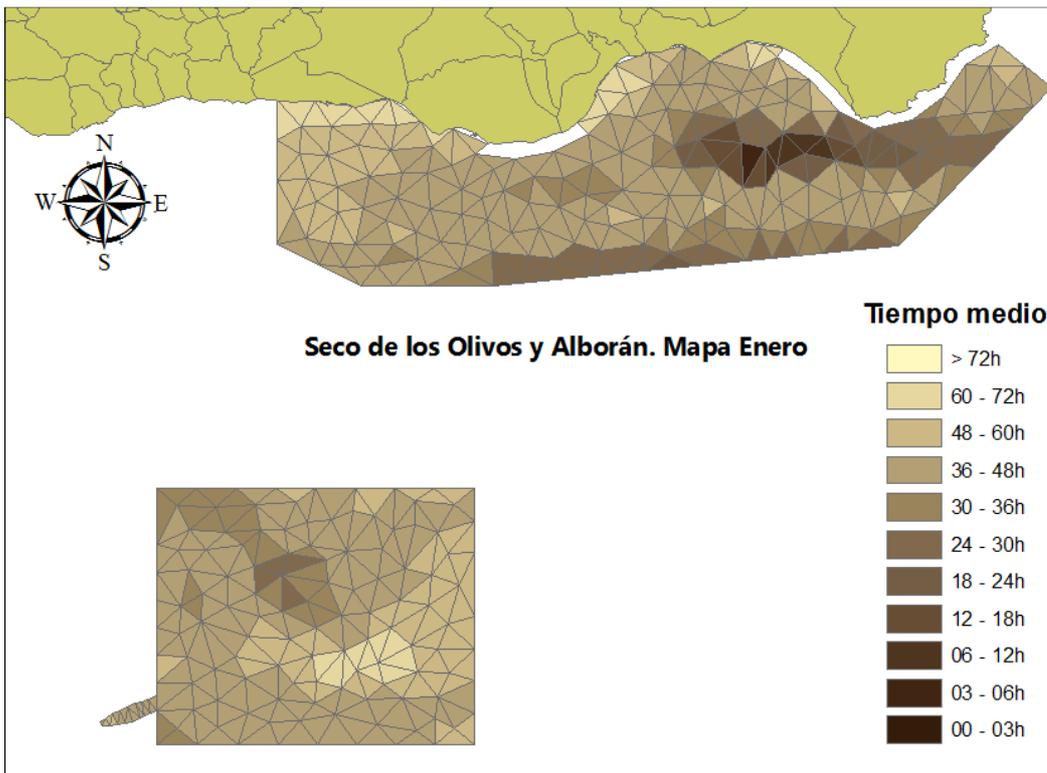
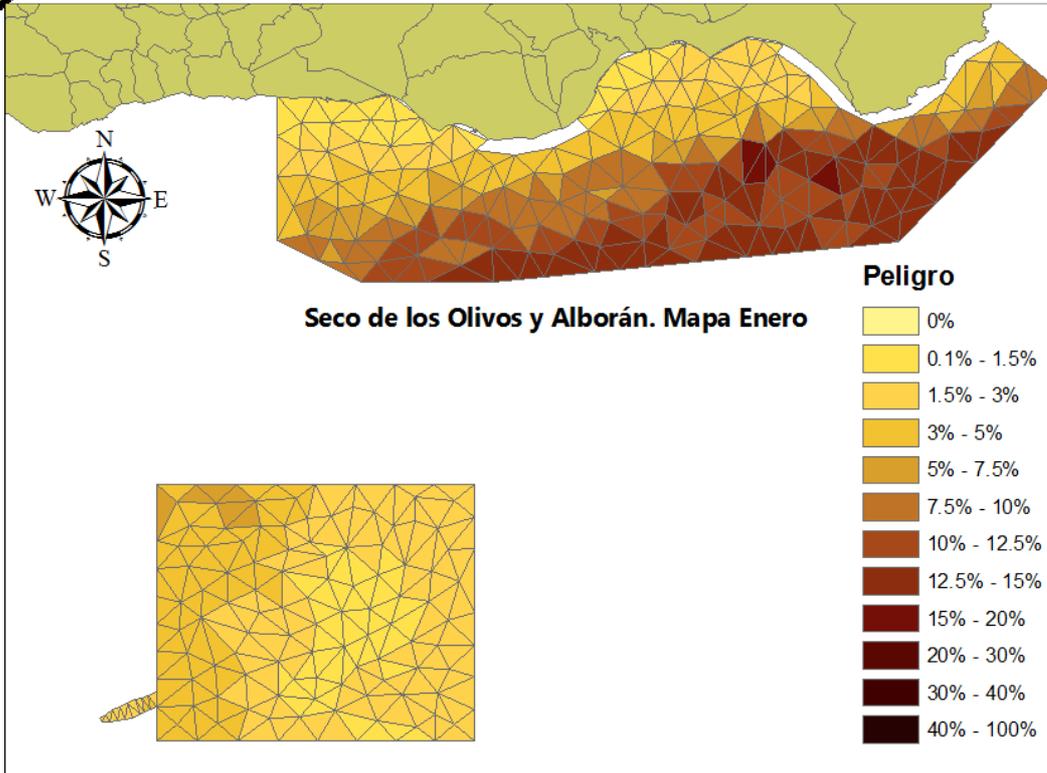


Fig A2.1.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

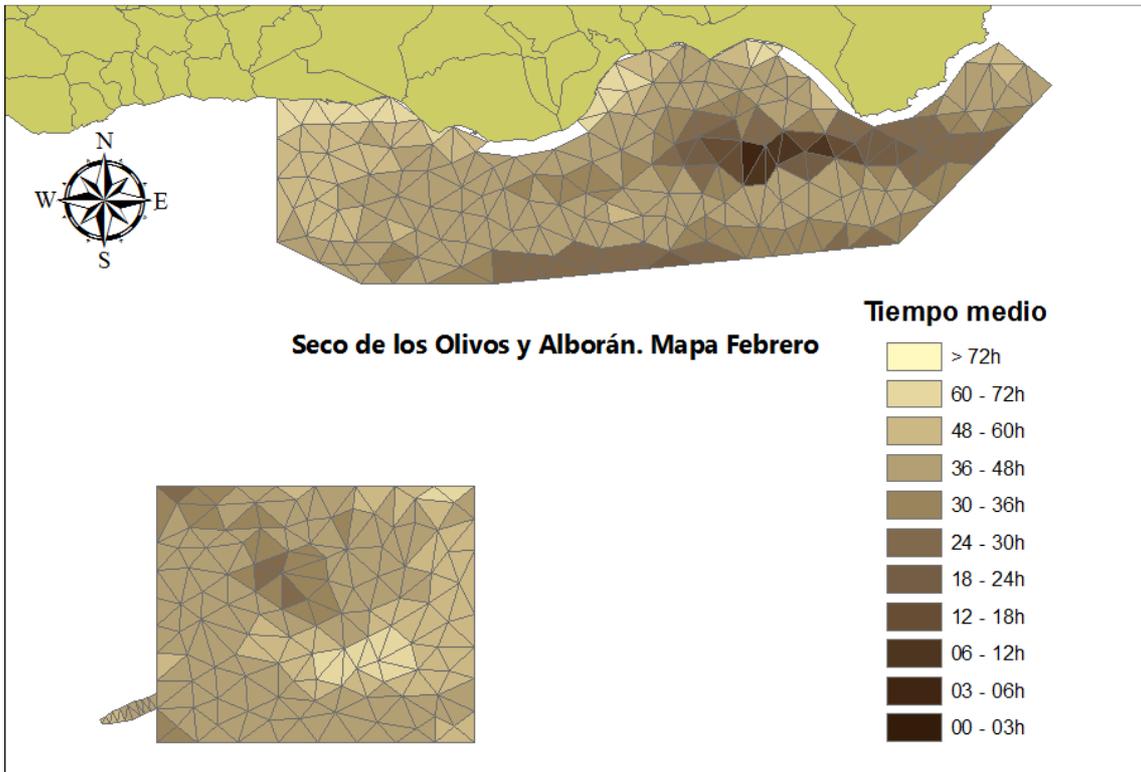
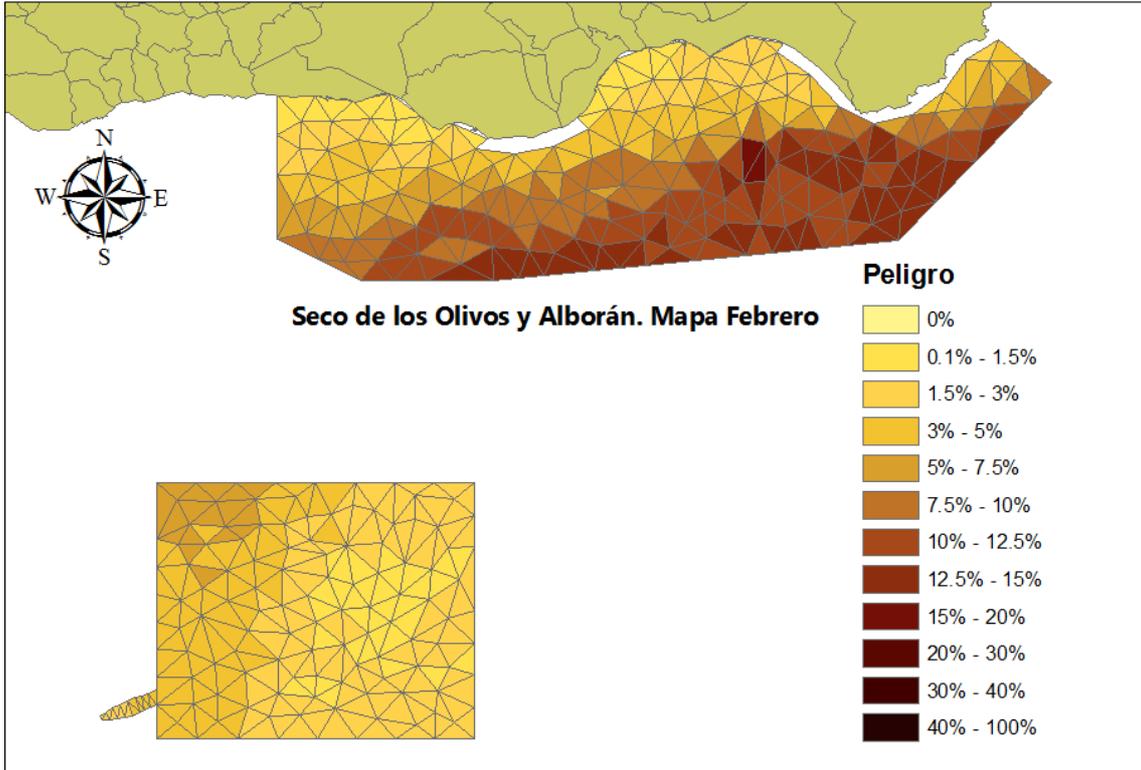


Fig A2.1.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

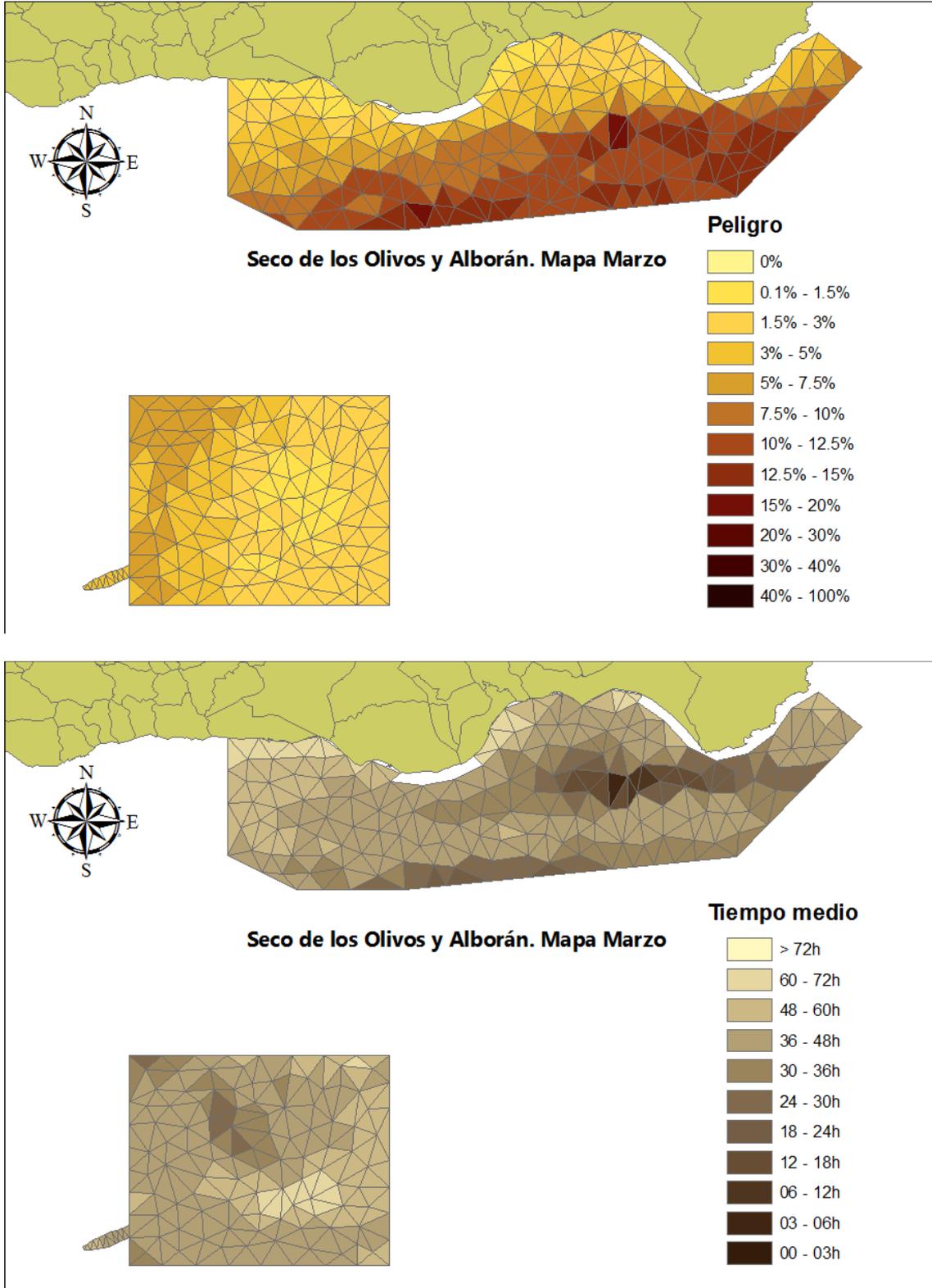


Fig A2.1.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

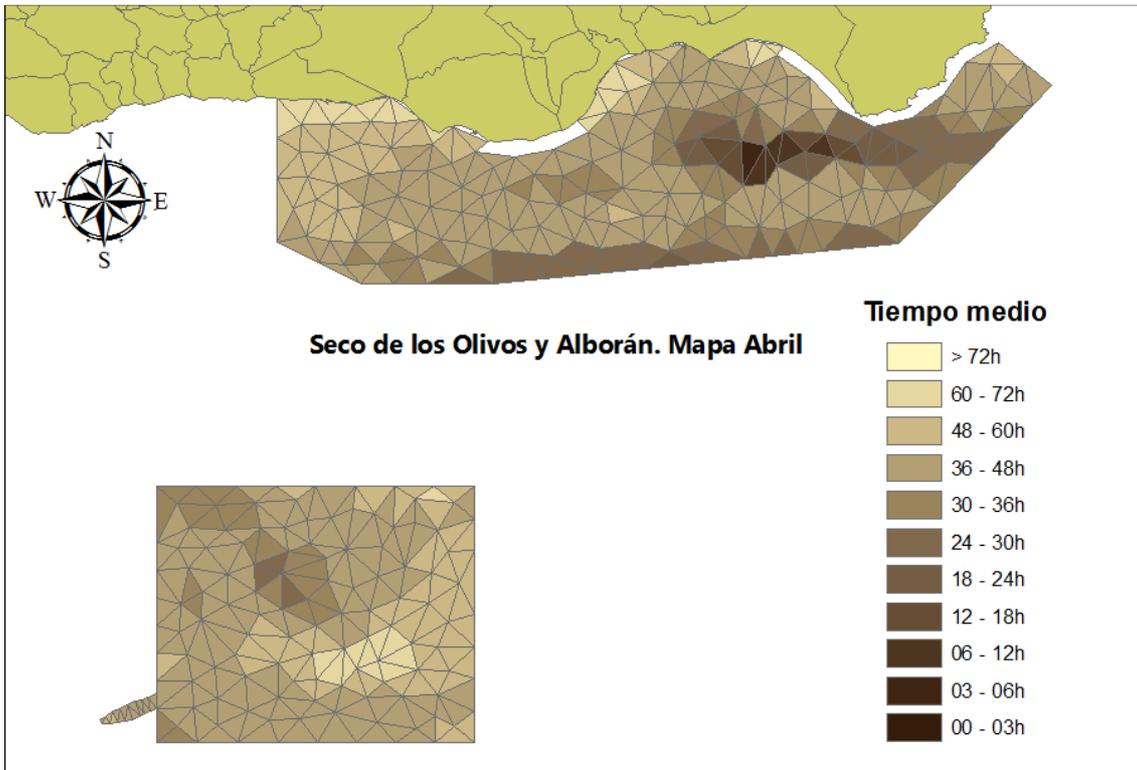
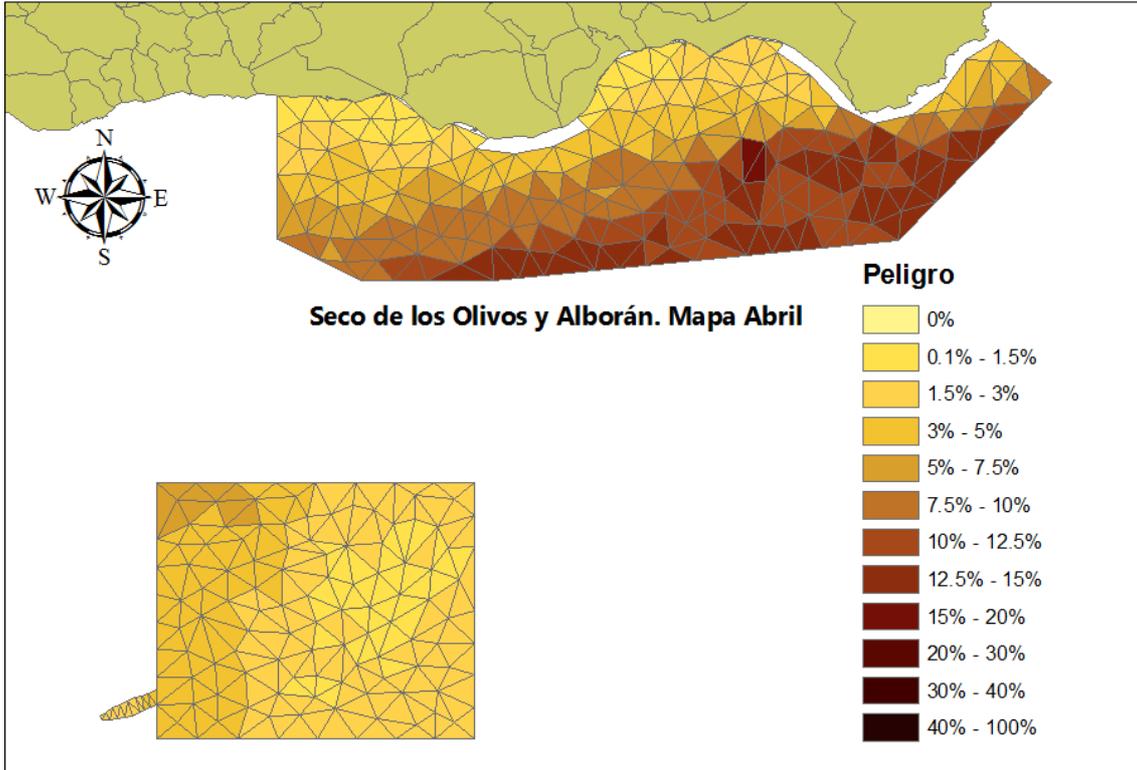


Fig A2.1.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

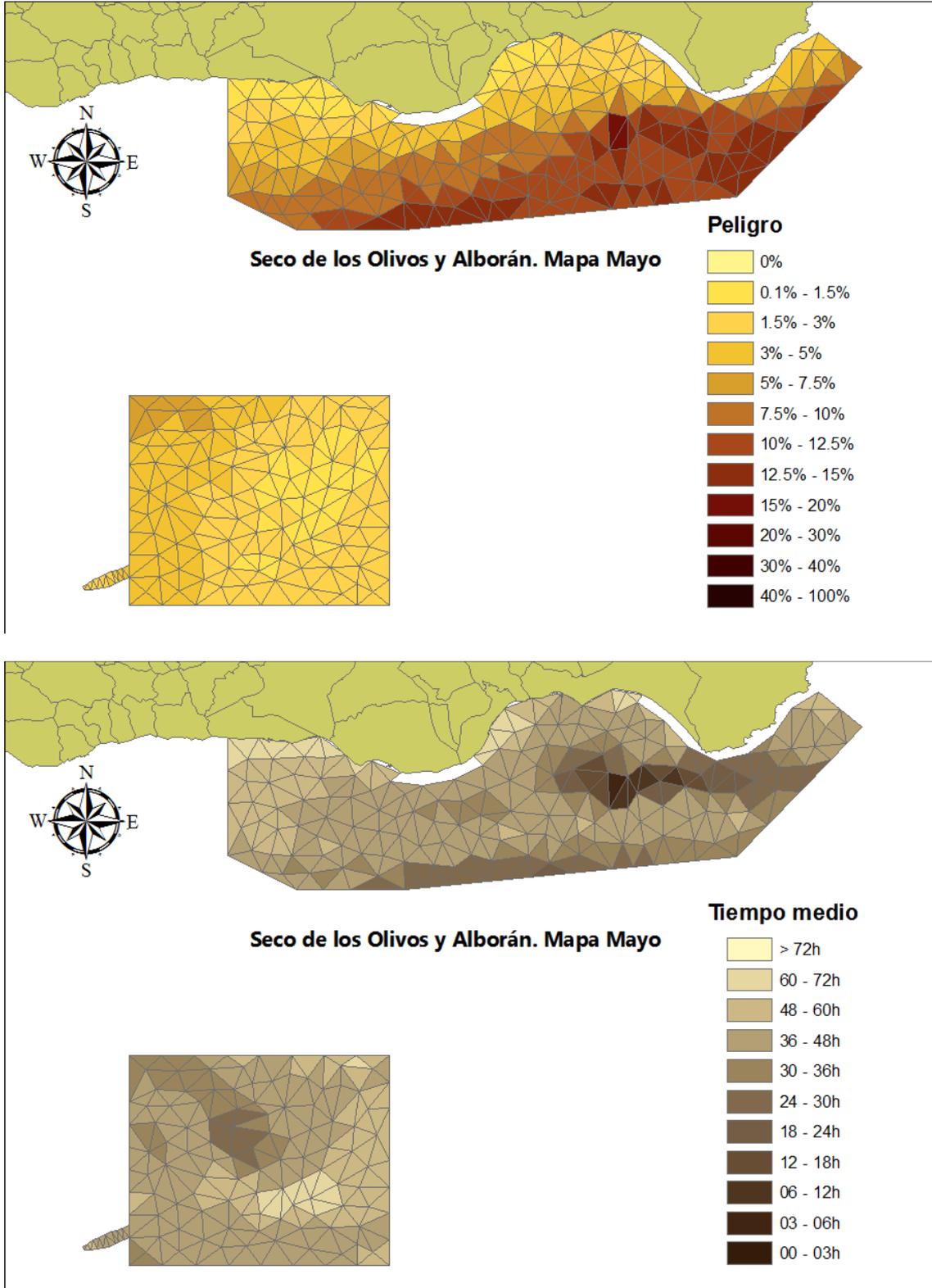


Fig A2.1.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

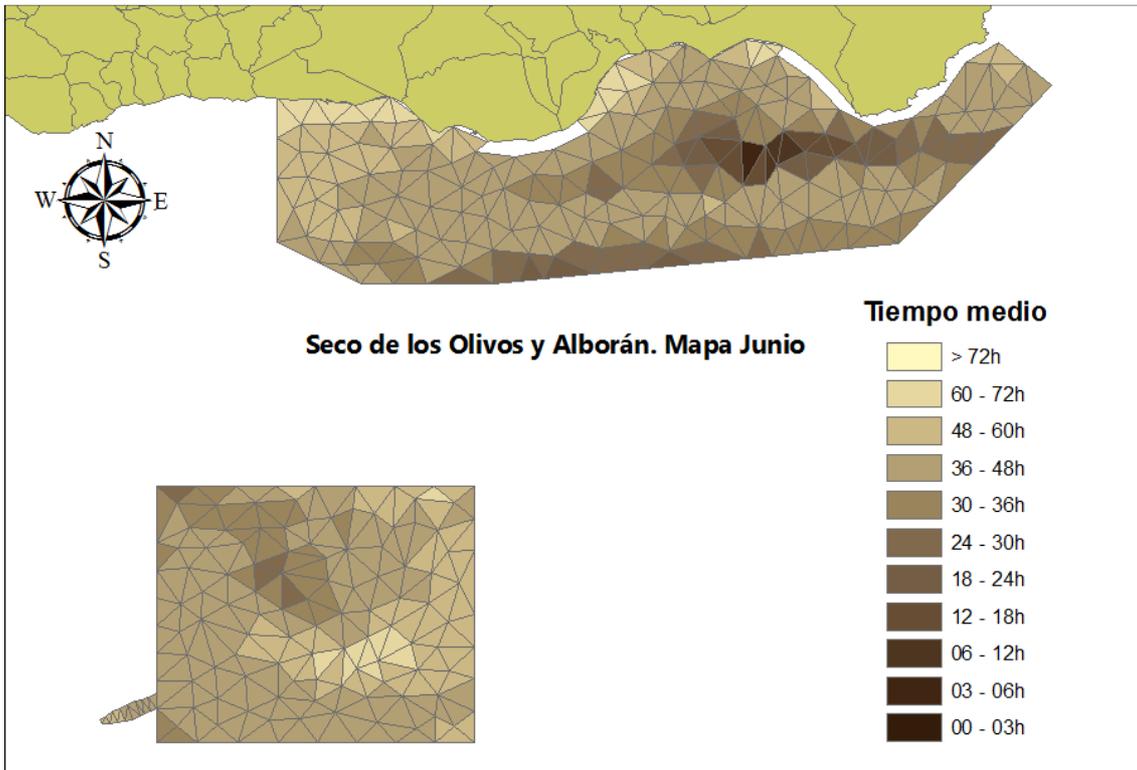
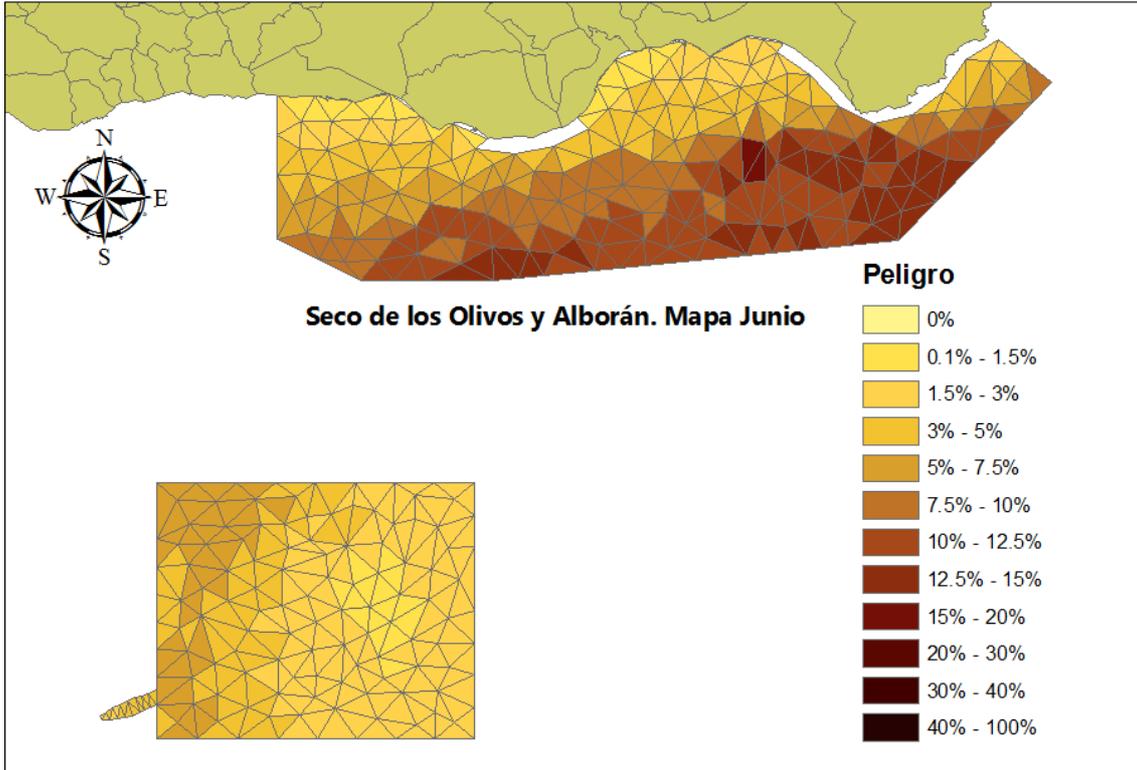


Fig A2.1.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

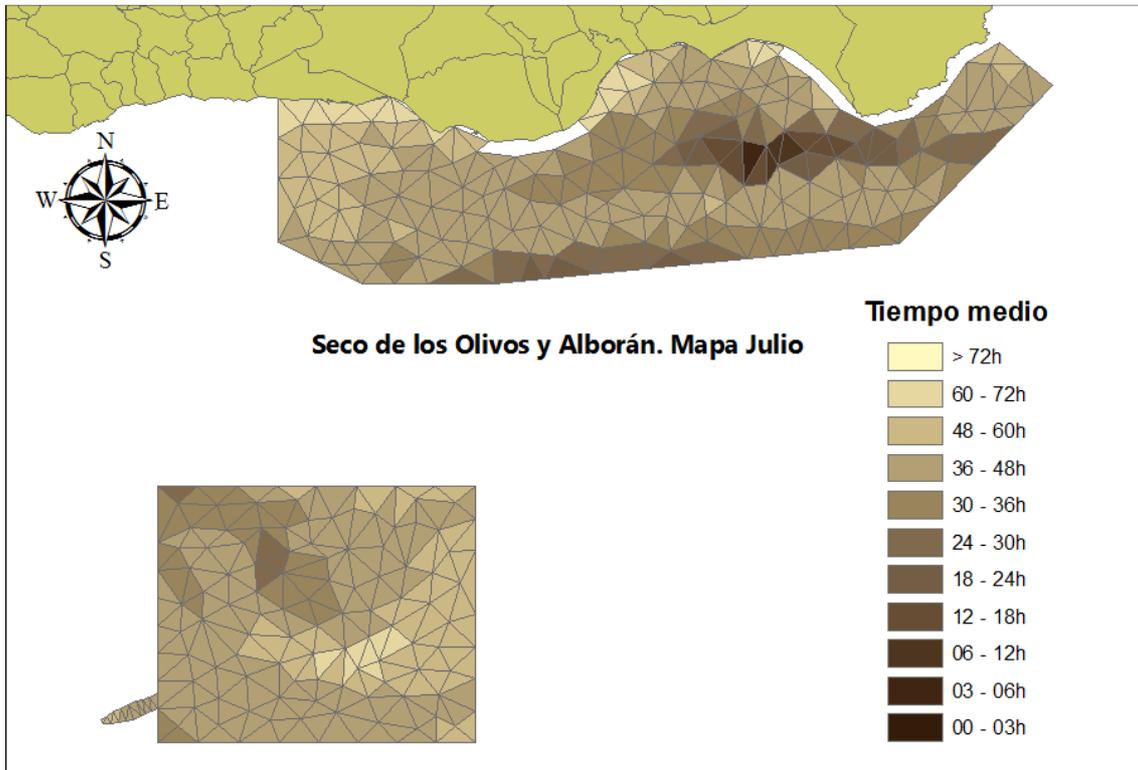
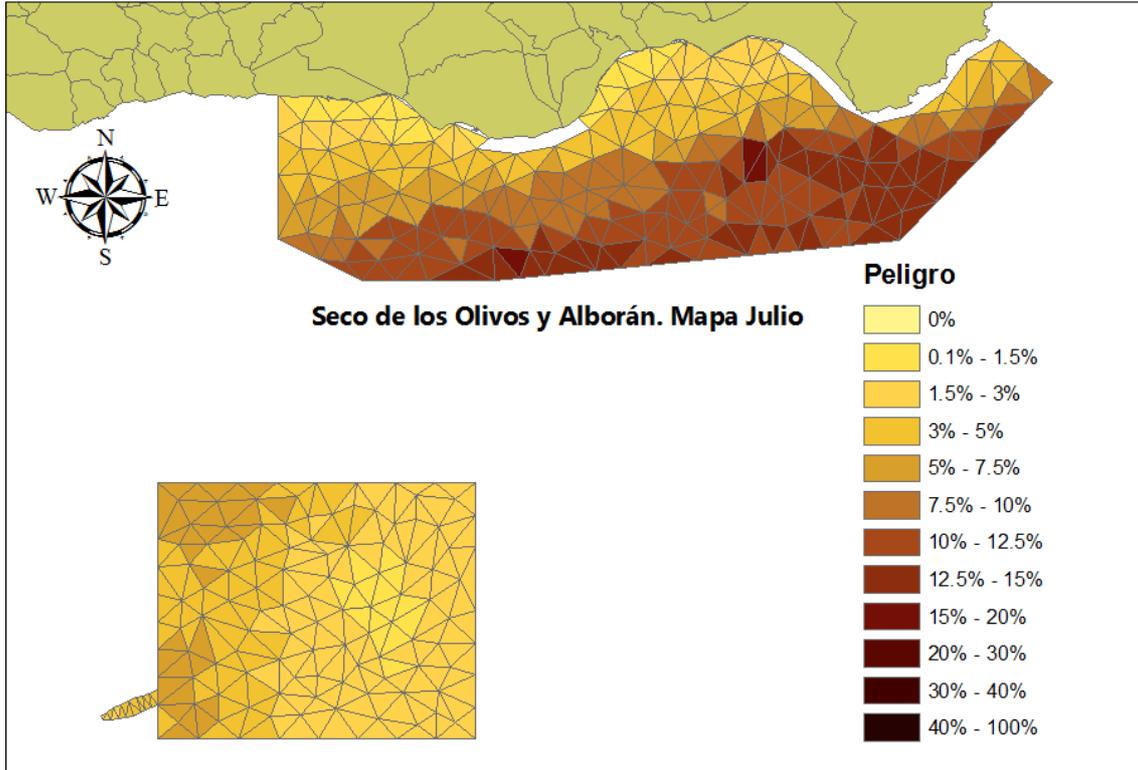


Fig A2.1.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

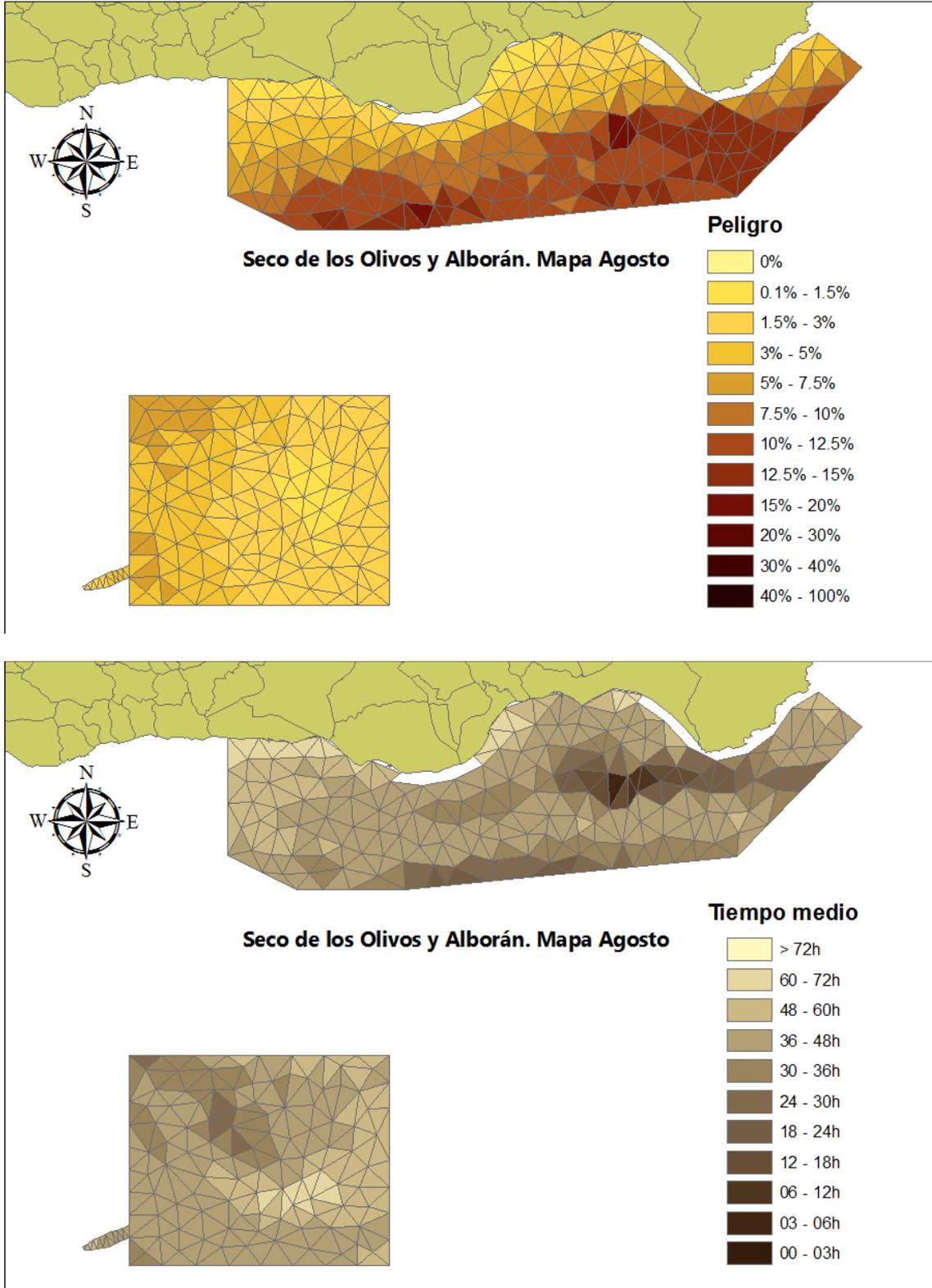


Fig A2.1.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

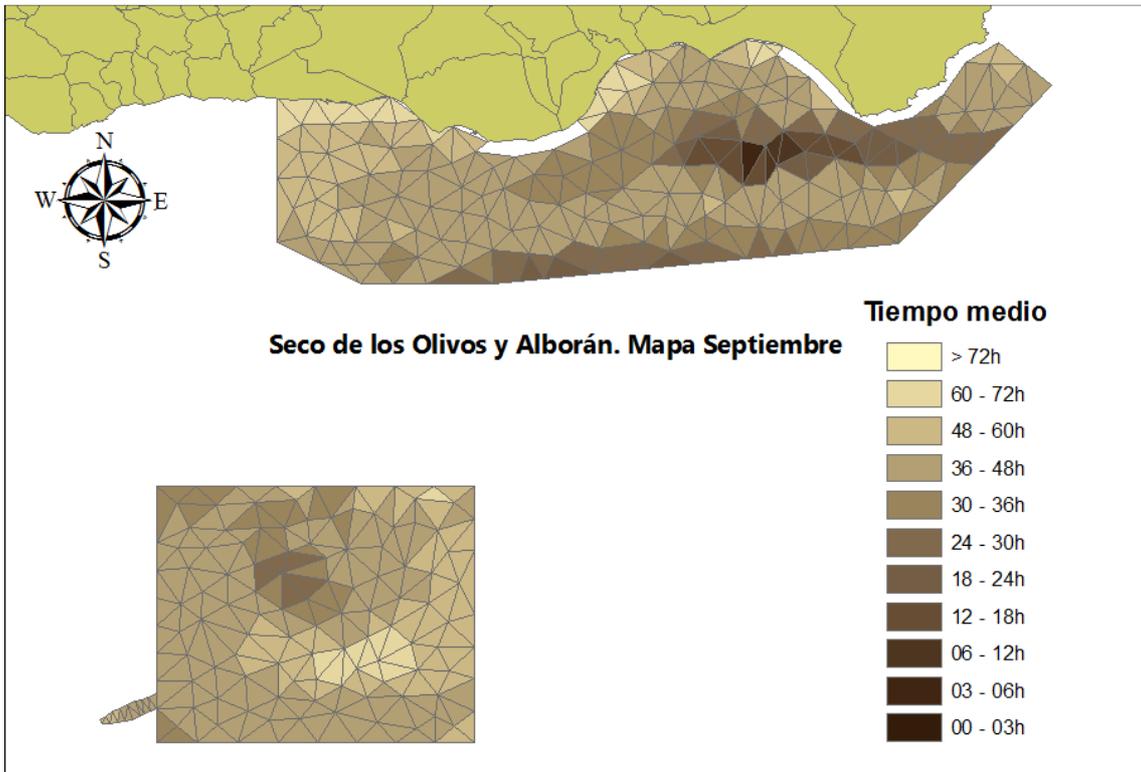
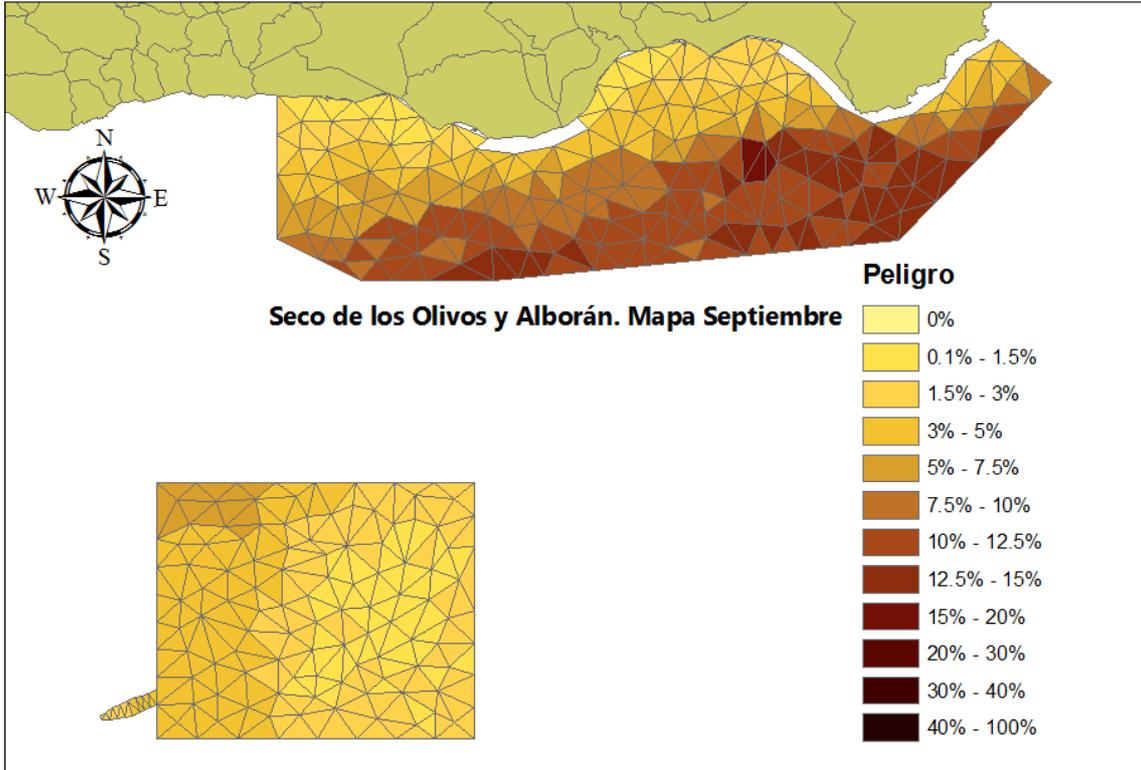


Fig A2.1.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

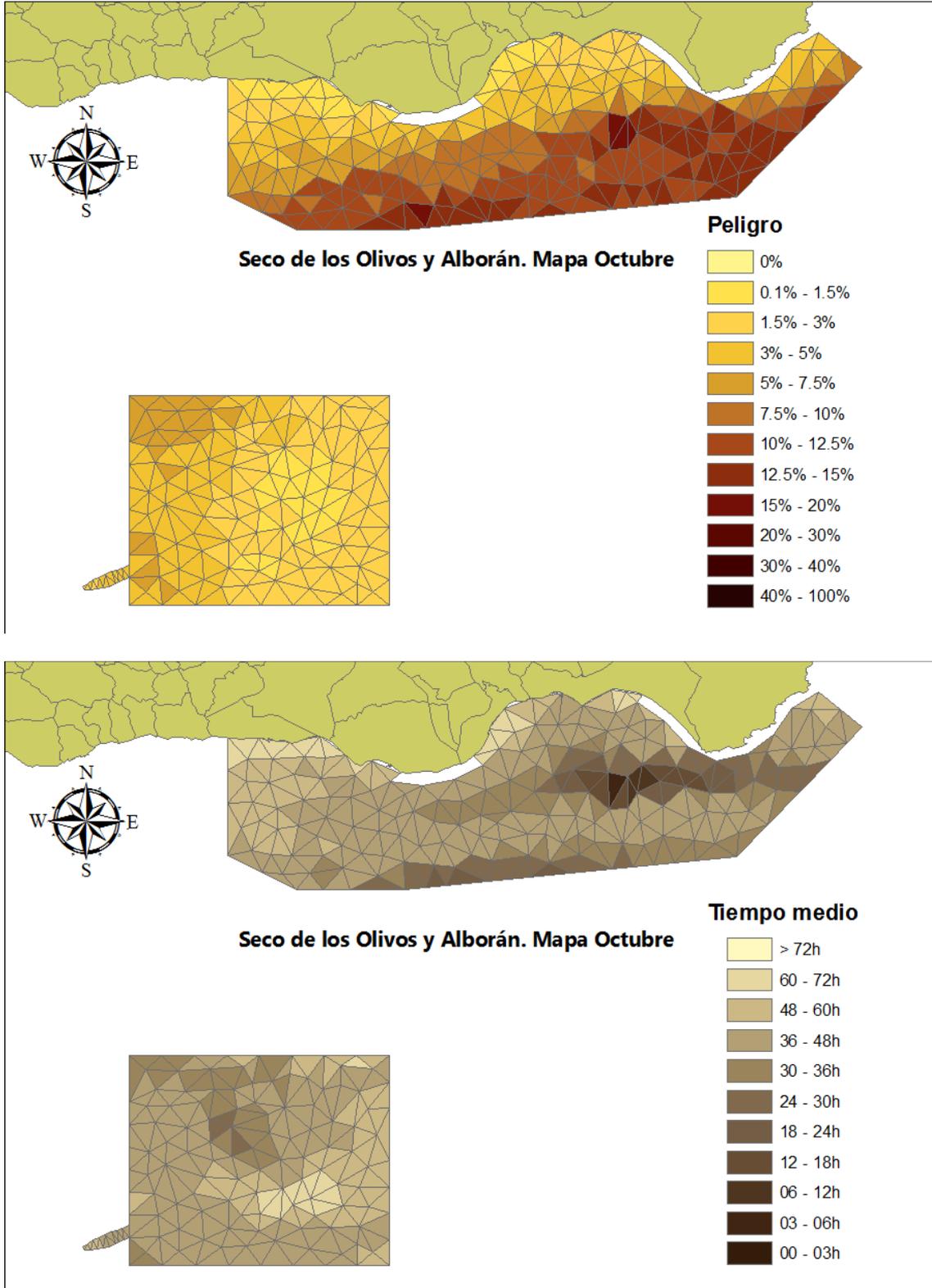


Fig A2.1.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

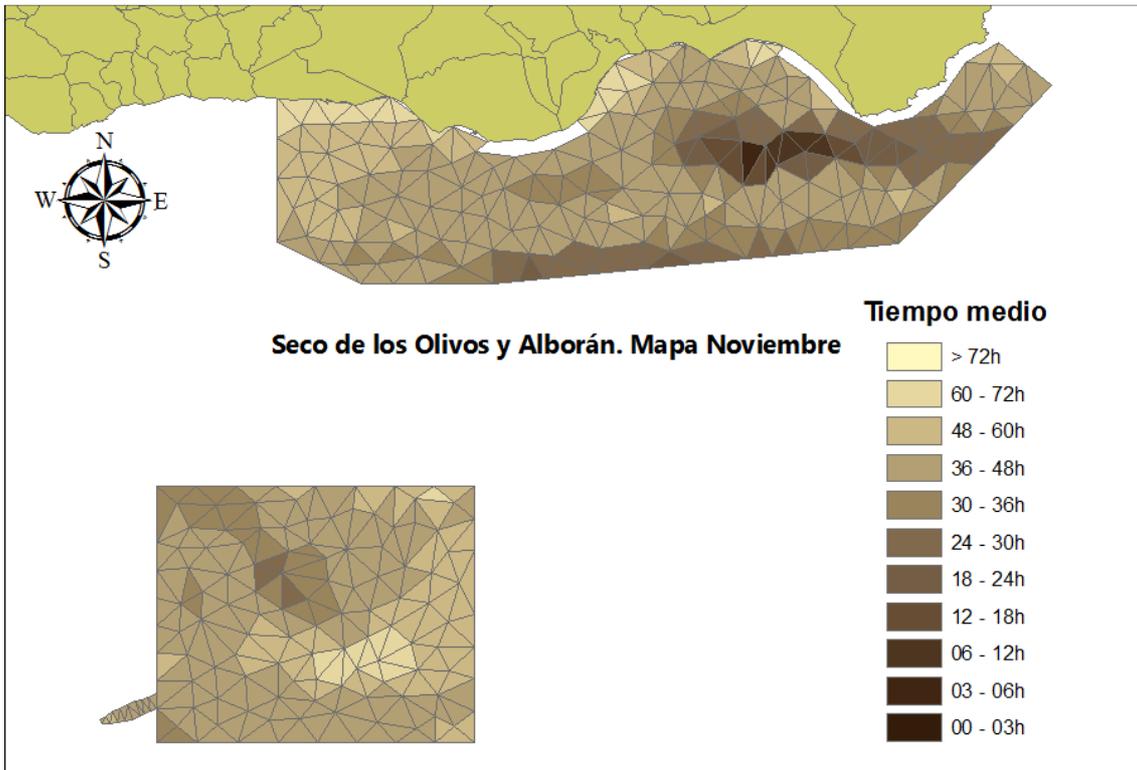
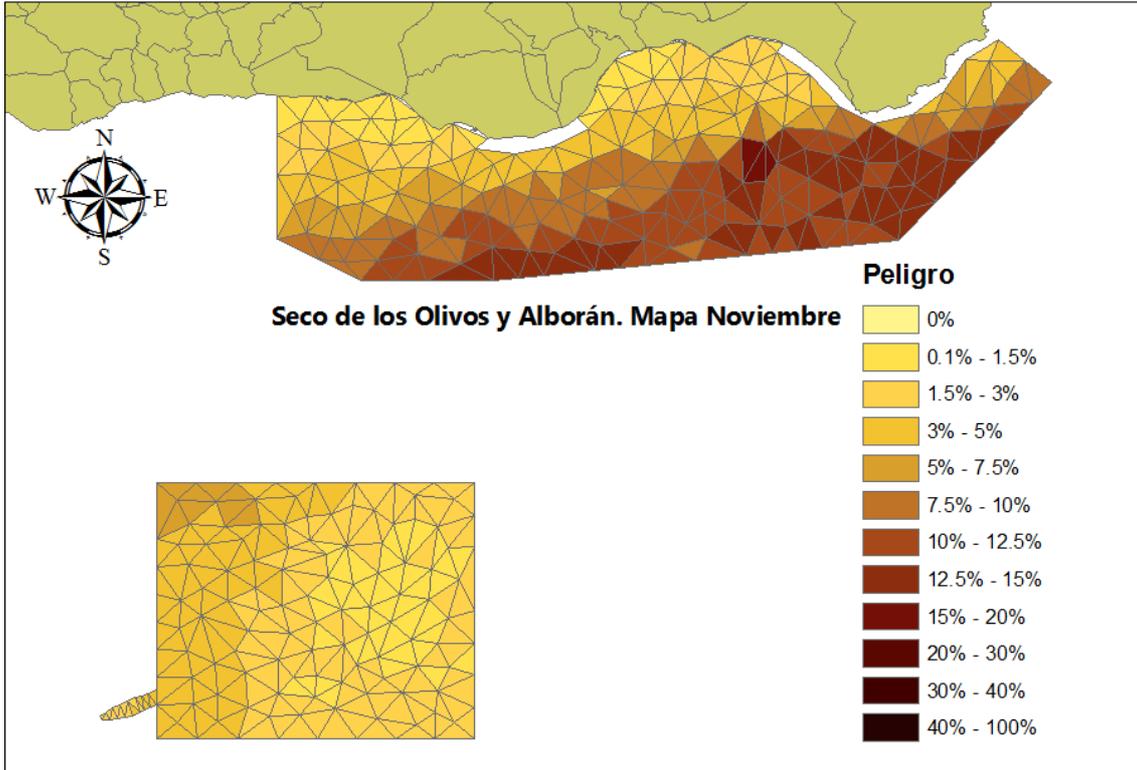


Fig A2.1.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

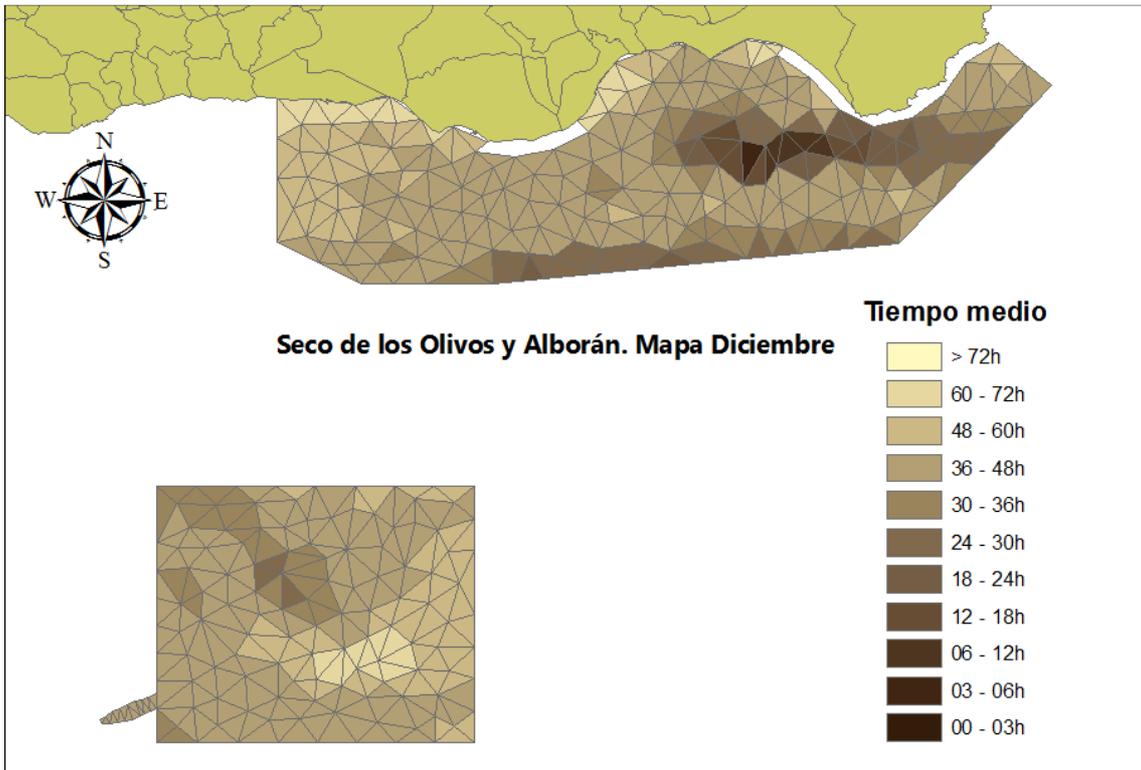
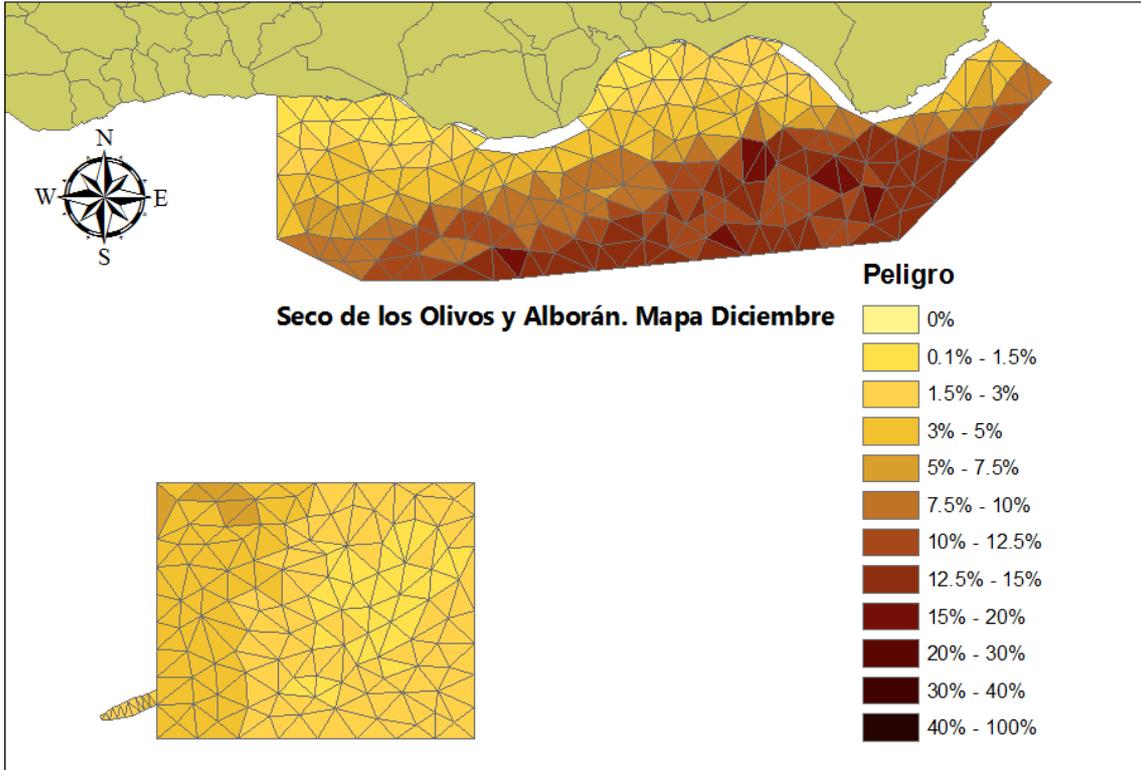


Fig A2.1.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

2.- Banco de Galicia

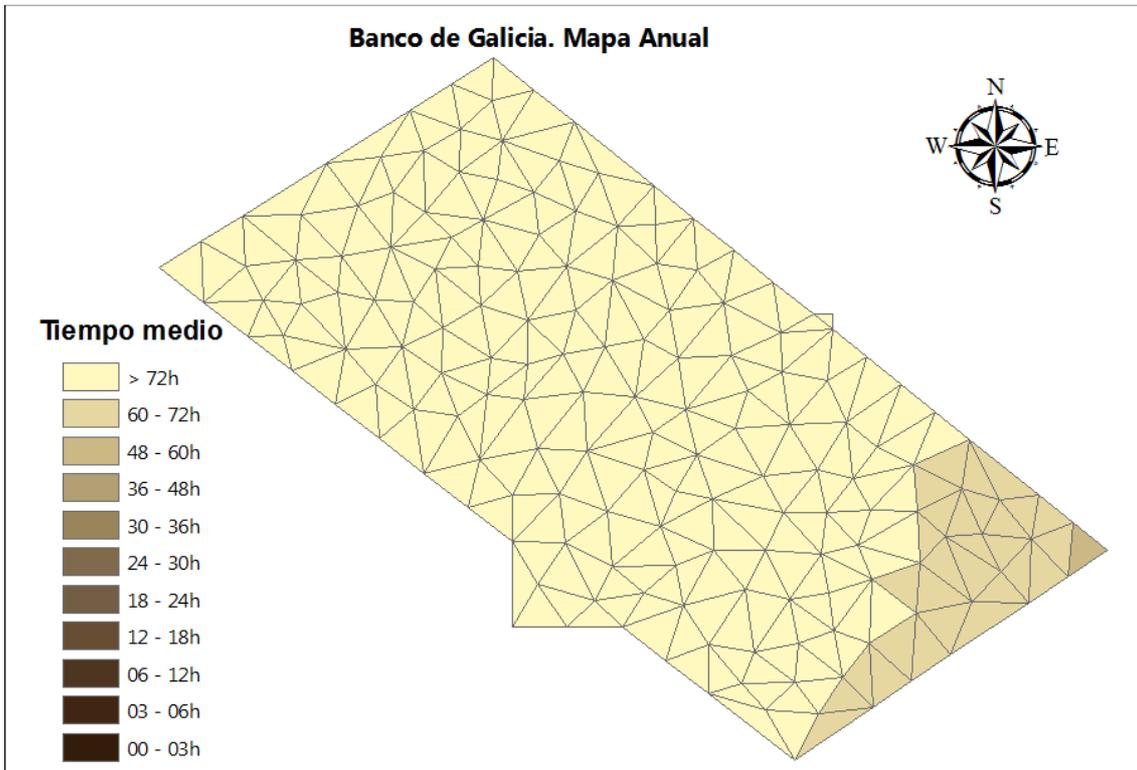
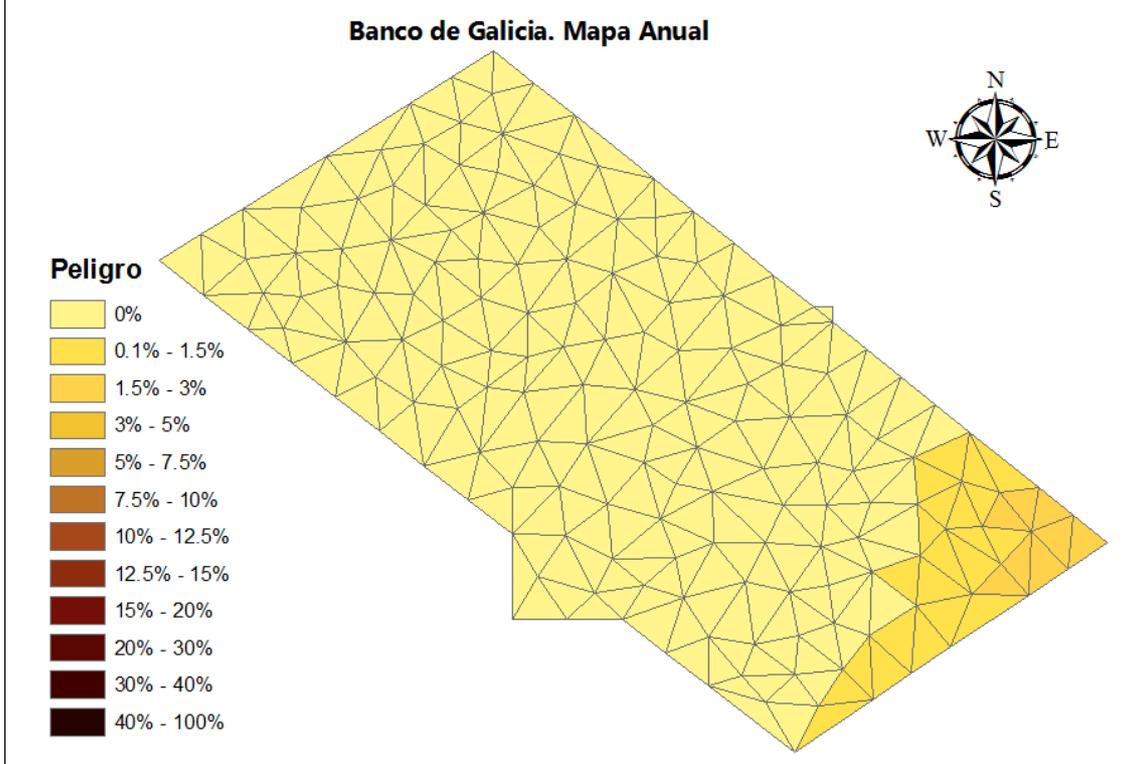
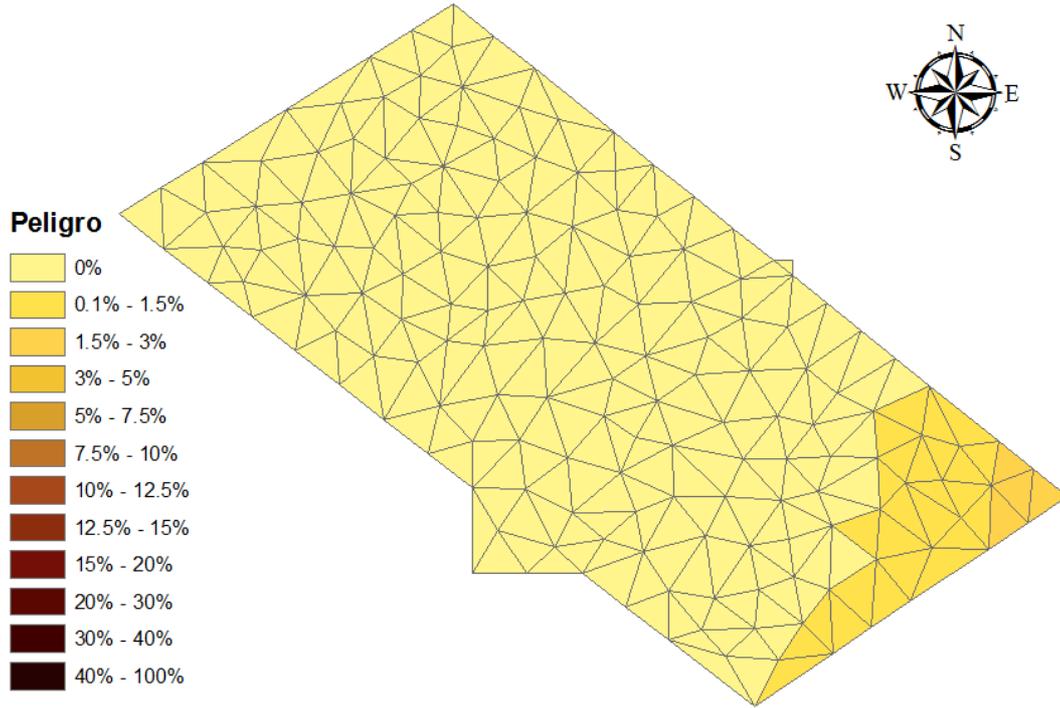


Fig A2.2.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

Banco de Galicia. Mapa Enero



Banco de Galicia. Mapa Enero

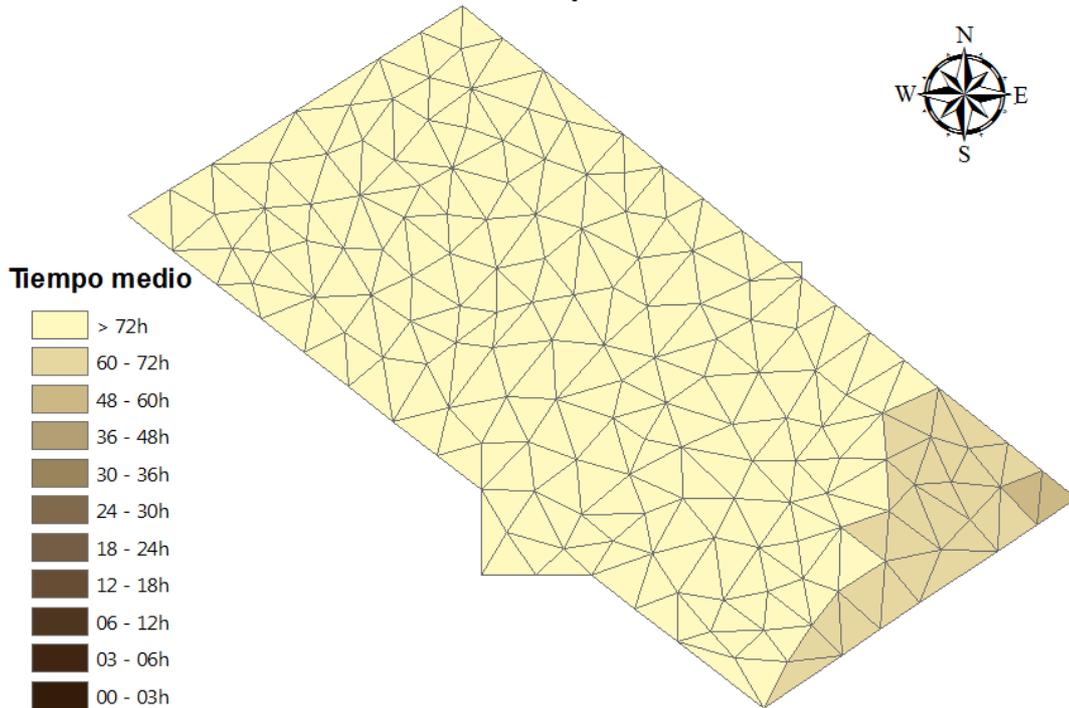


Fig A2.2.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

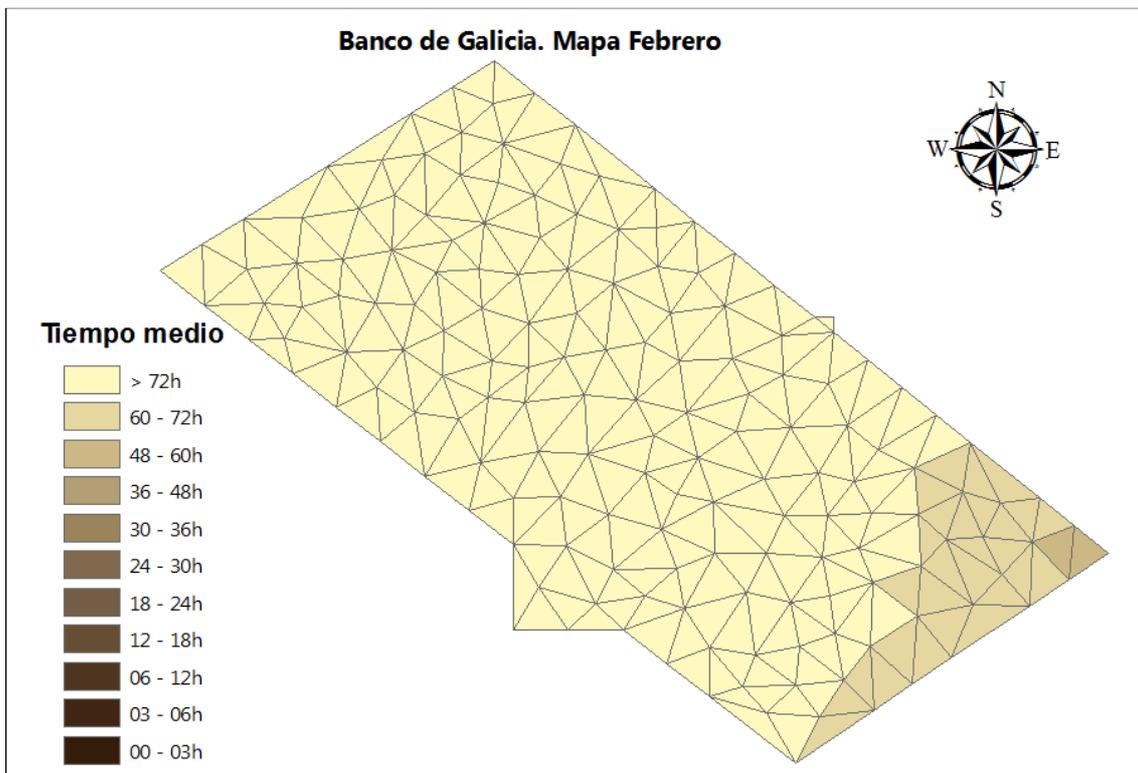
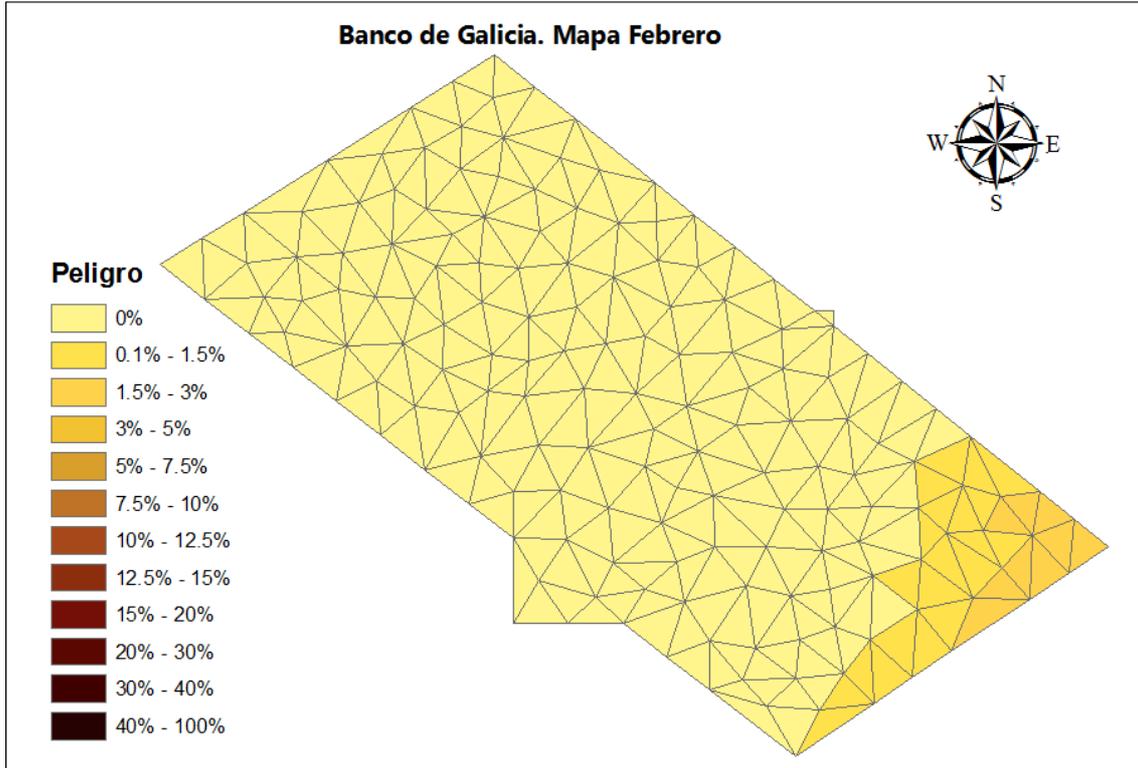


Fig A2.2.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

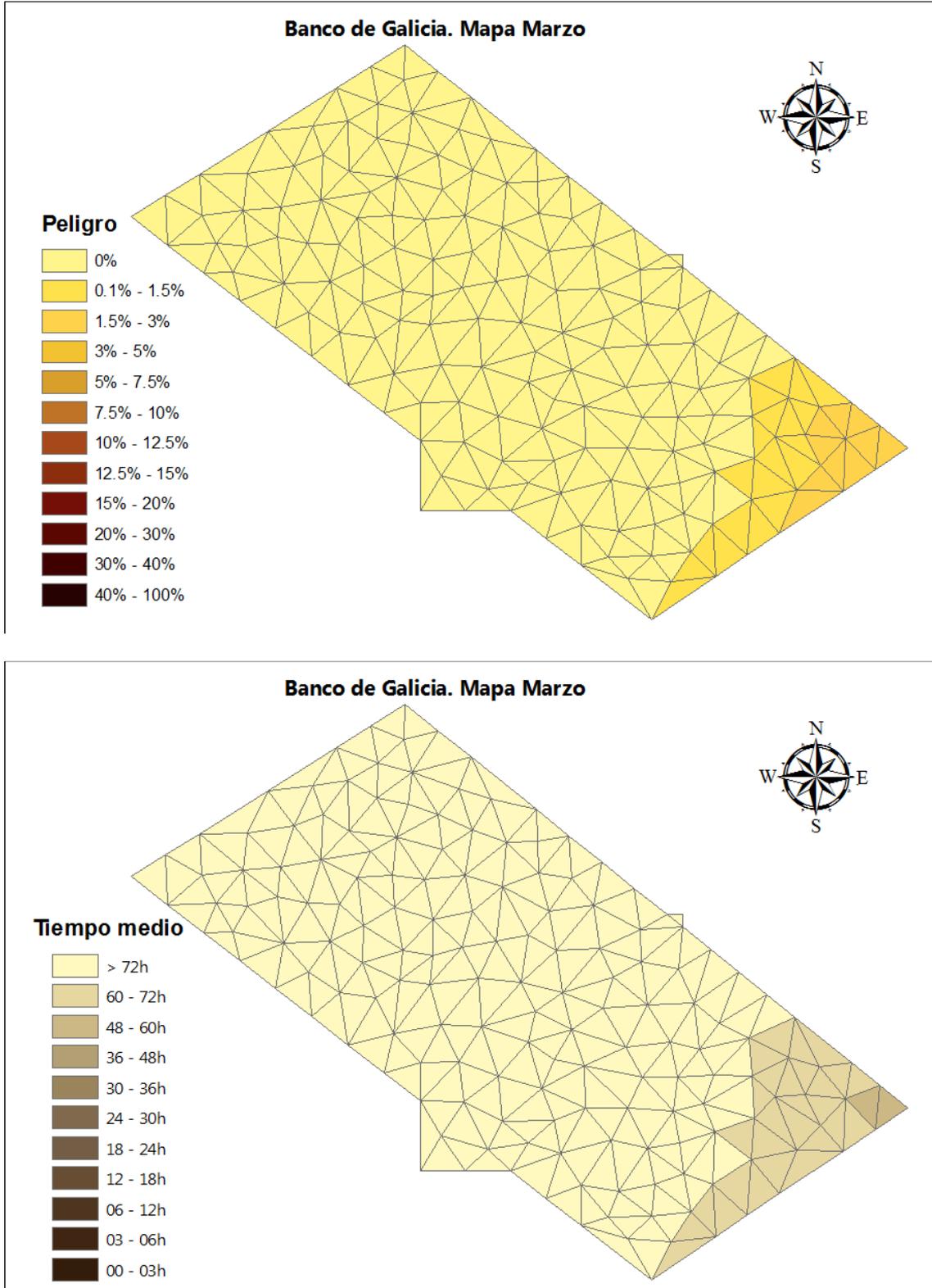


Fig A2.2.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

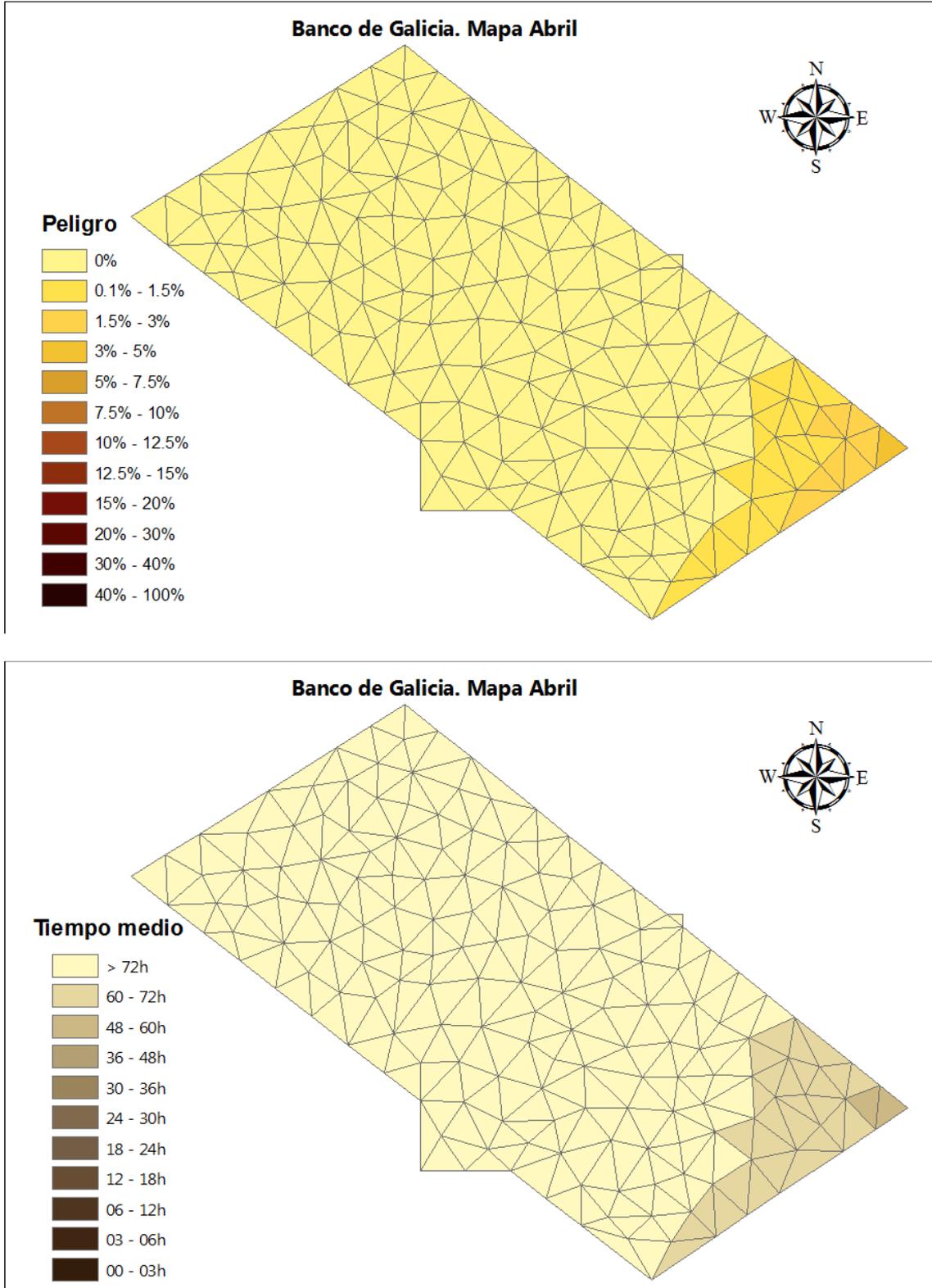


Fig A2.2.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

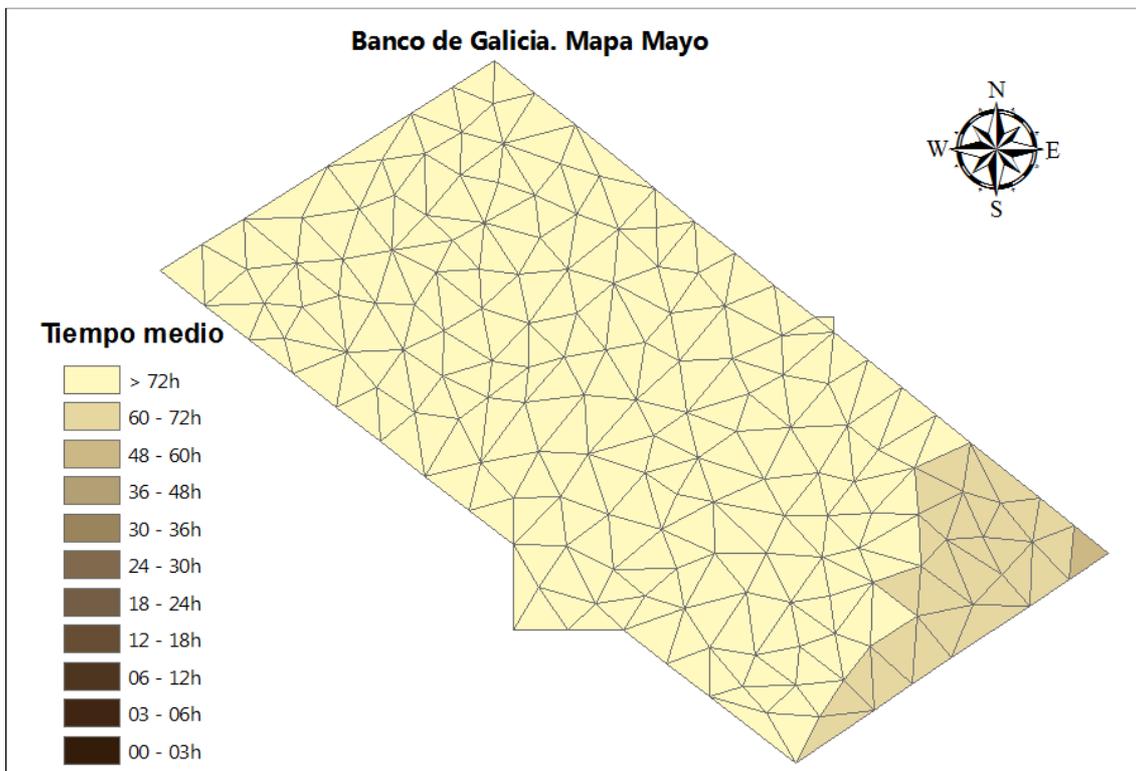
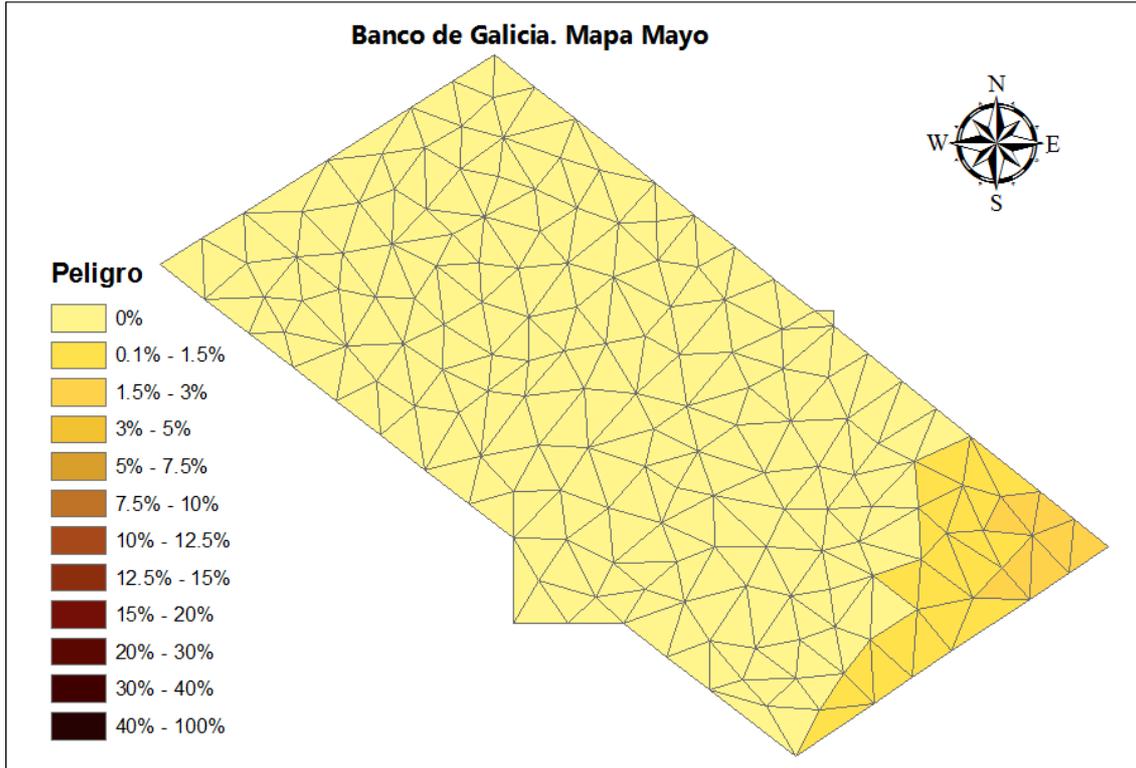


Fig A2.2.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

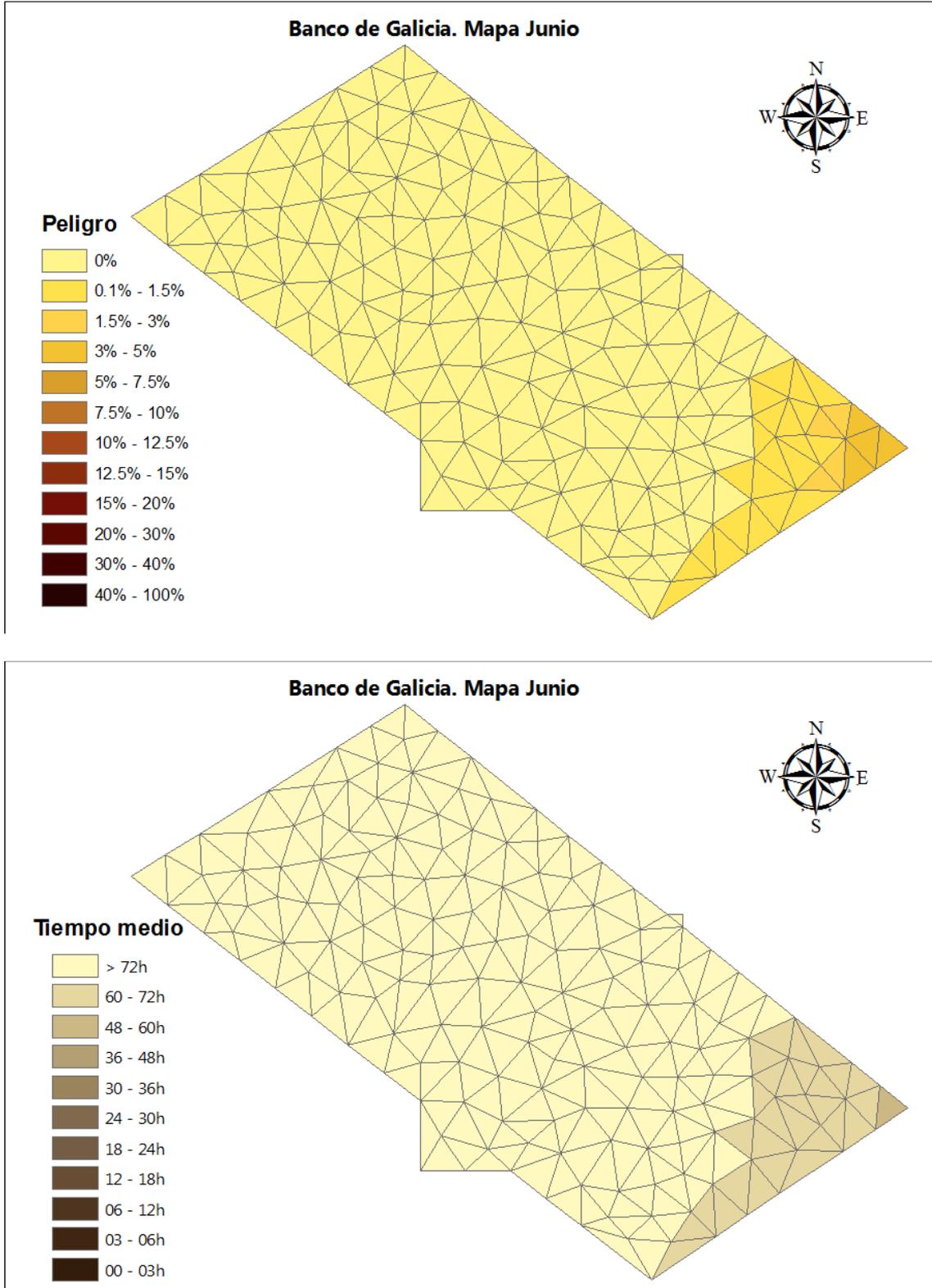


Fig A2.2.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

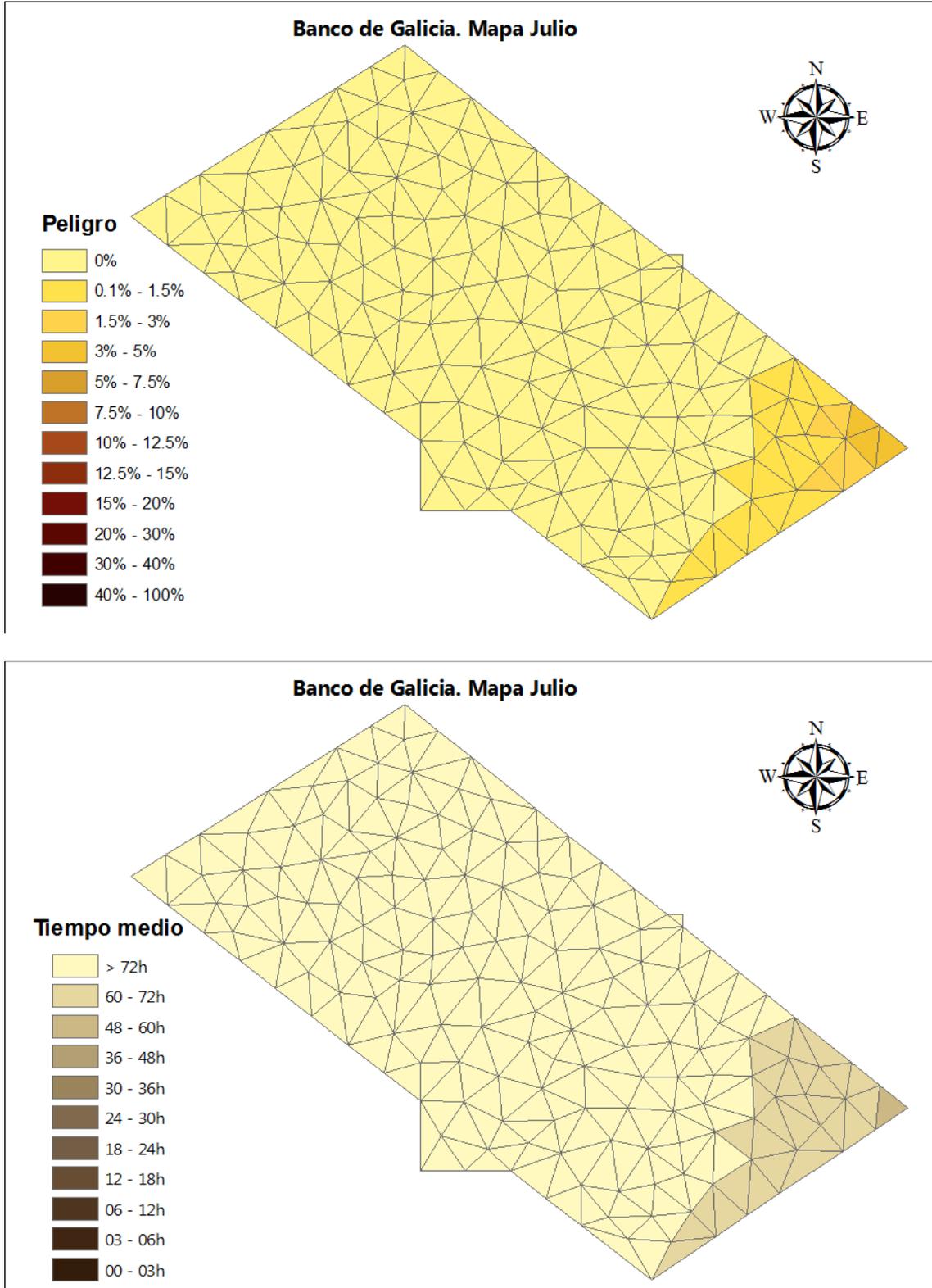


Fig A2.2.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

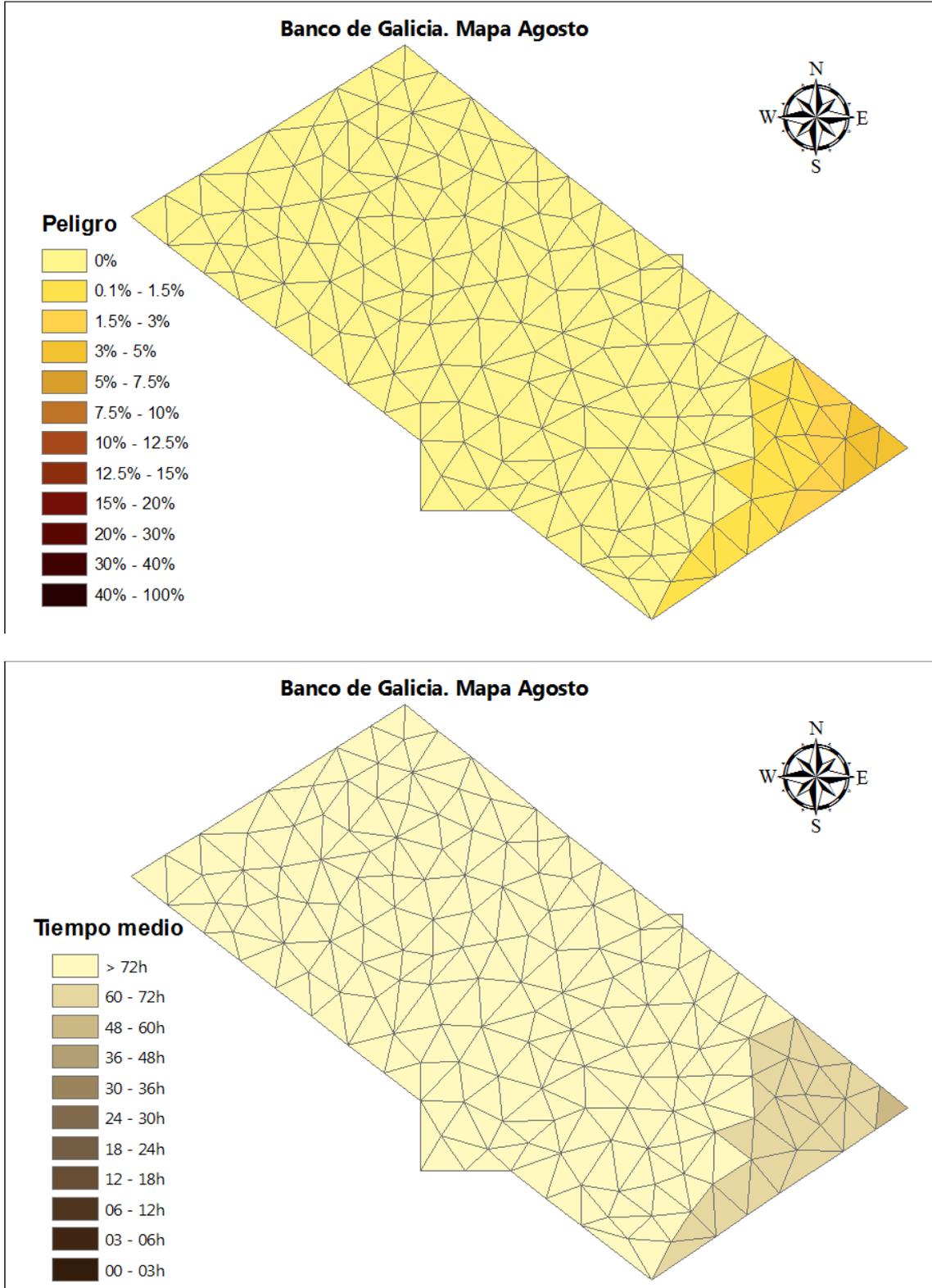


Fig A2.2.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

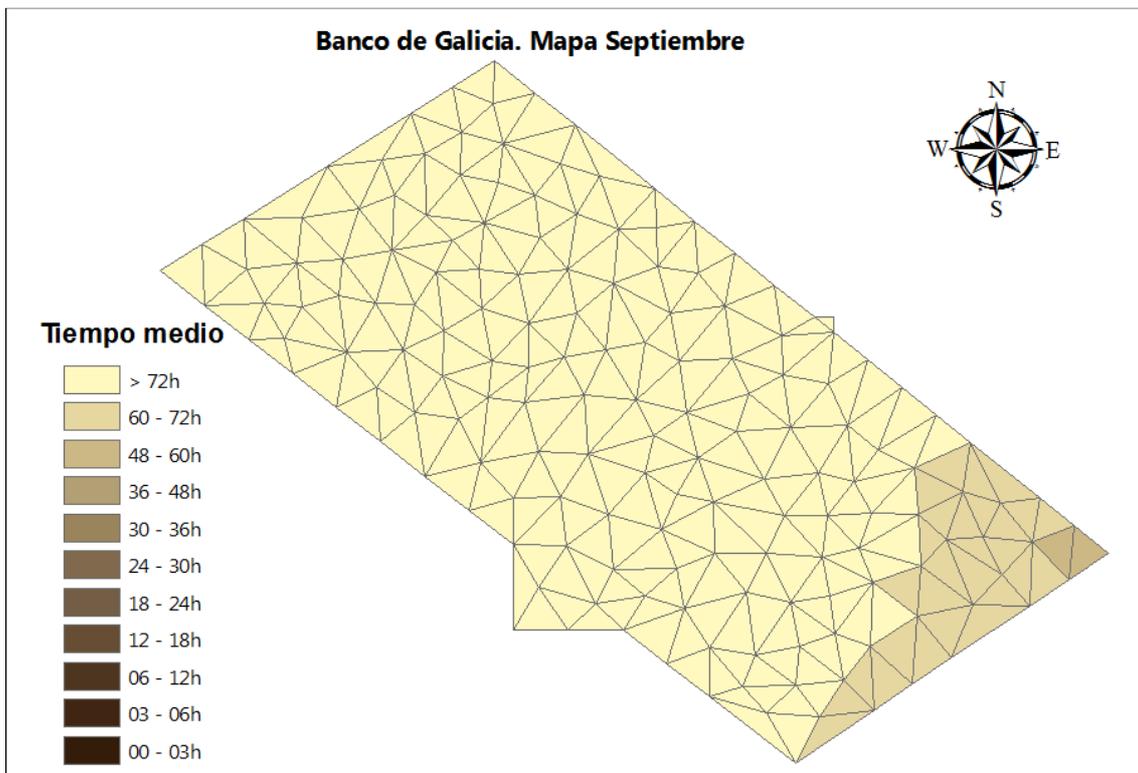
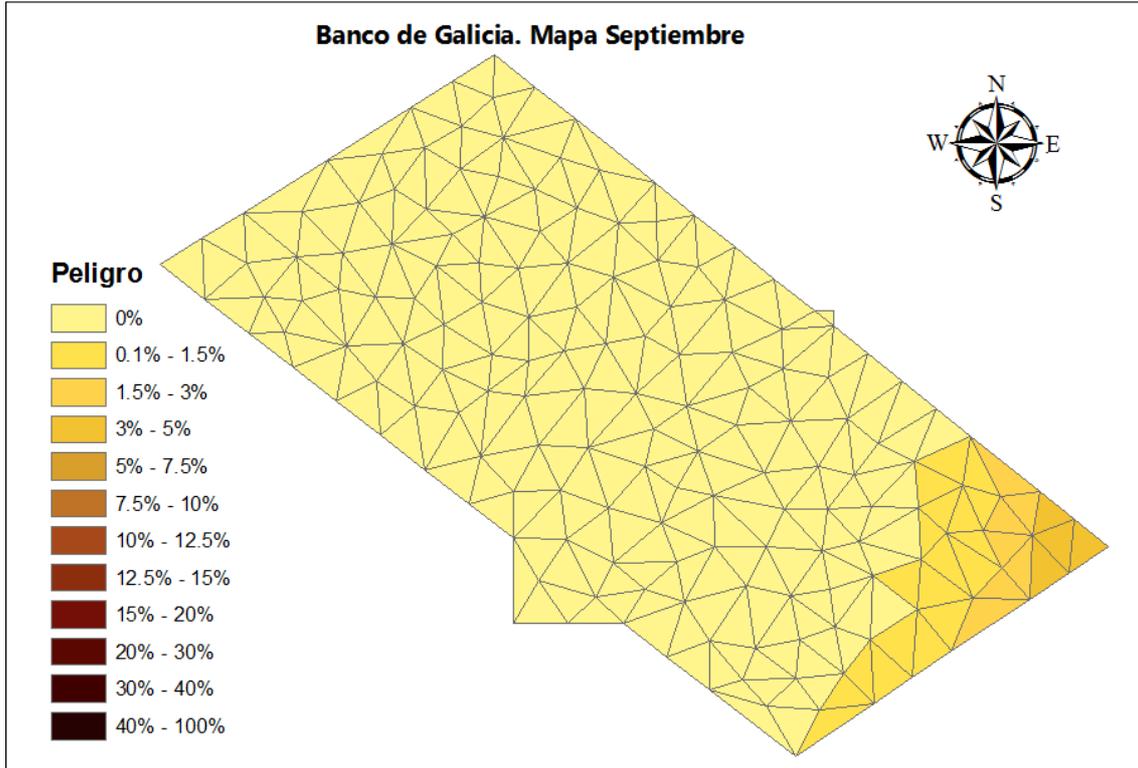


Fig A2.2.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

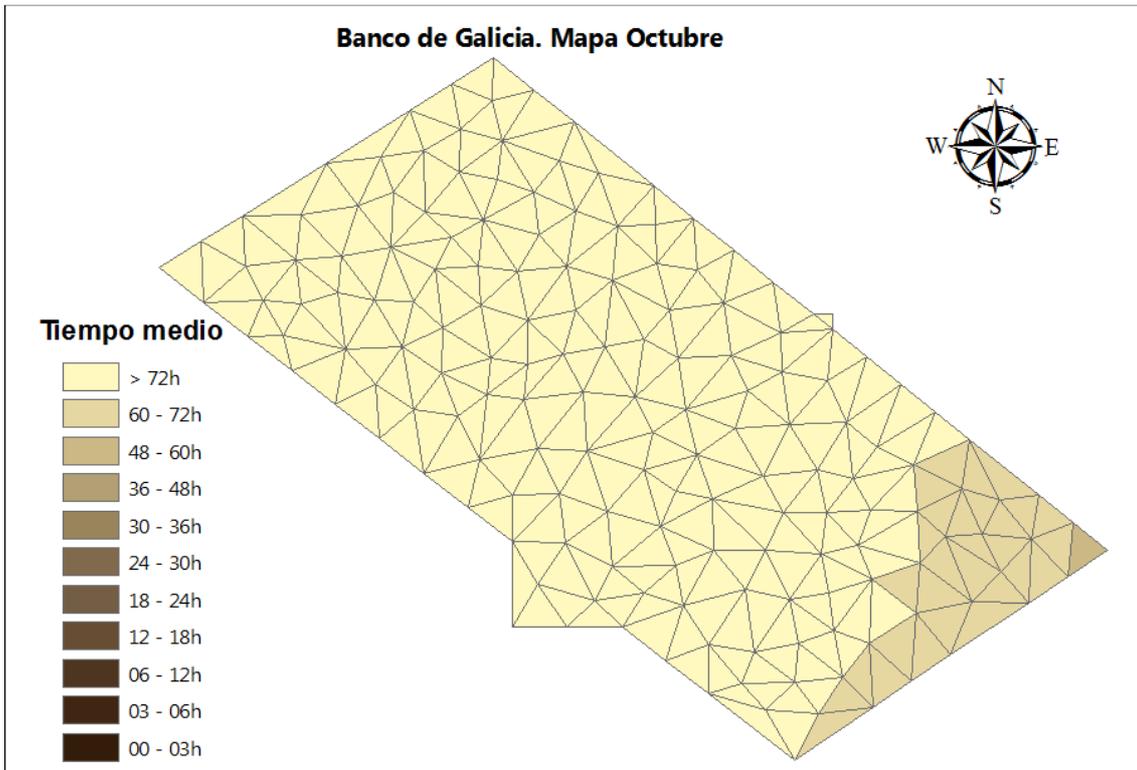
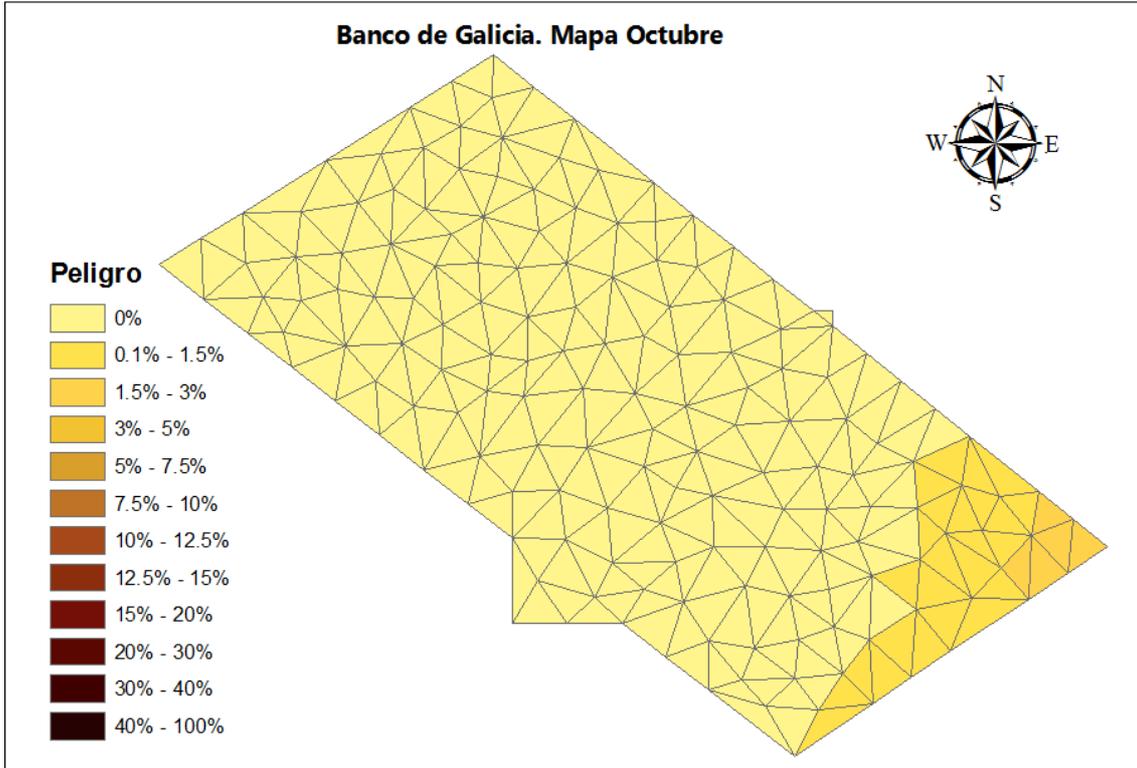


Fig A2.2.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

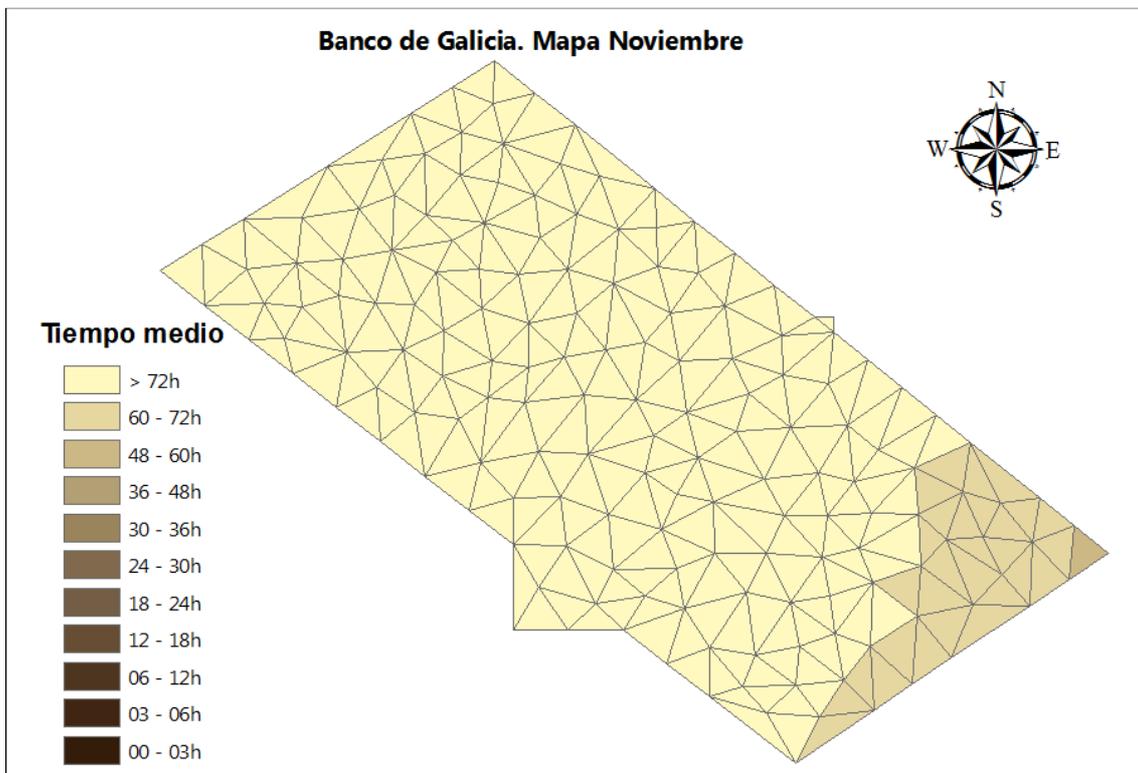
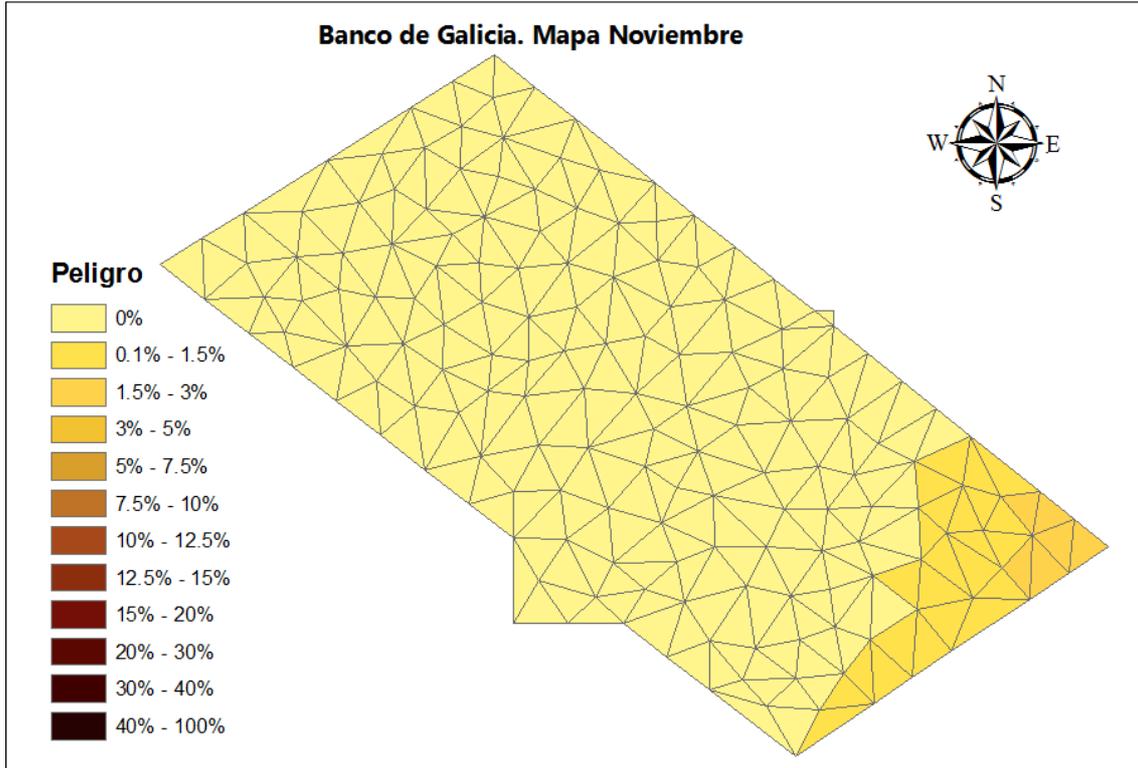


Fig A2.2.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

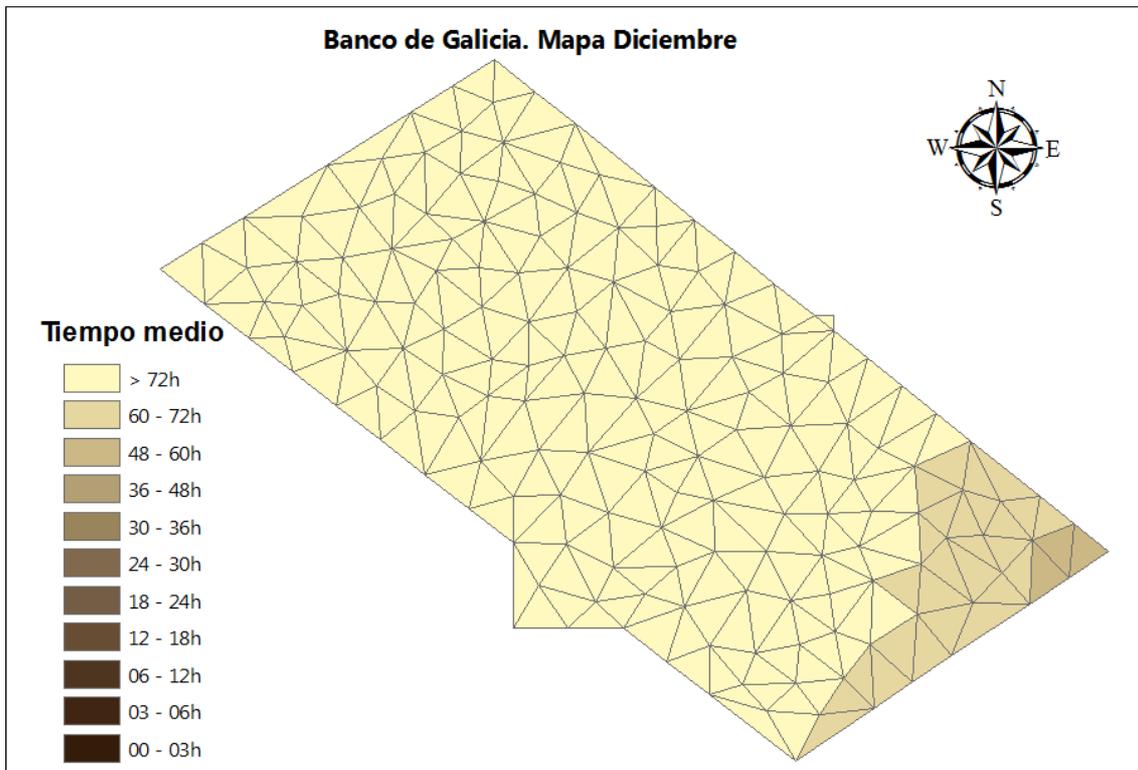
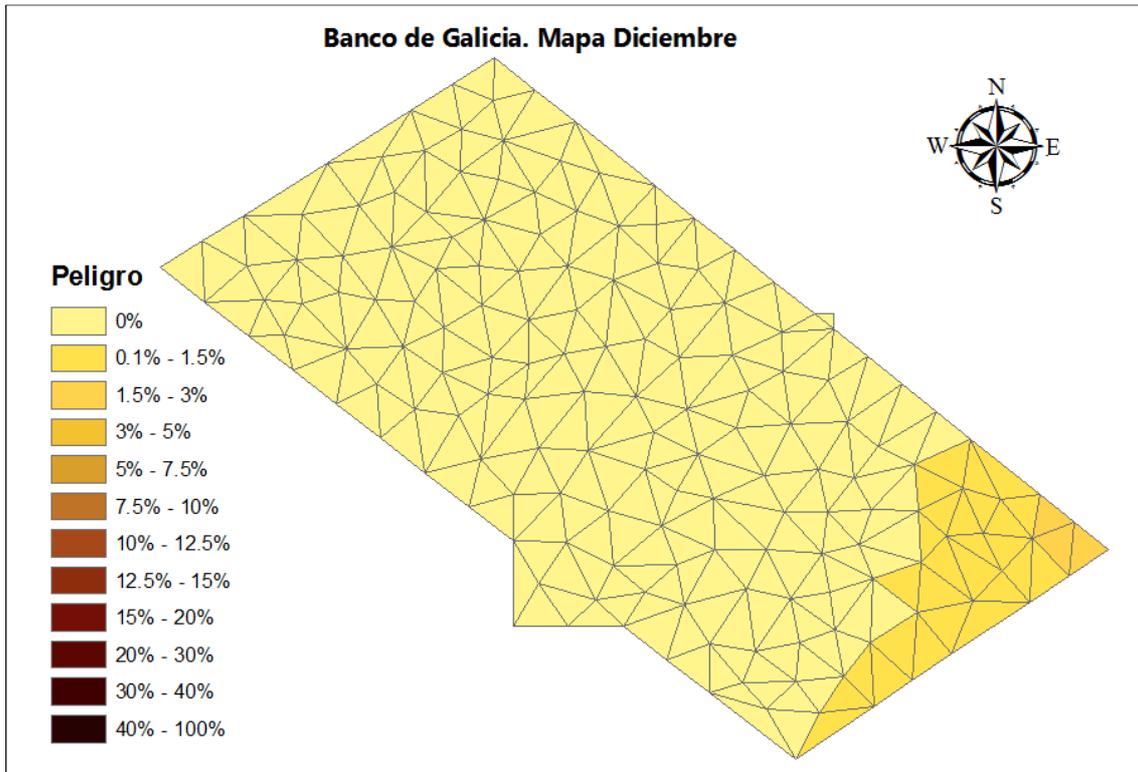


Fig A2.2.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

3.- Oeste y Sur de Lanzarote y Fuerteventura

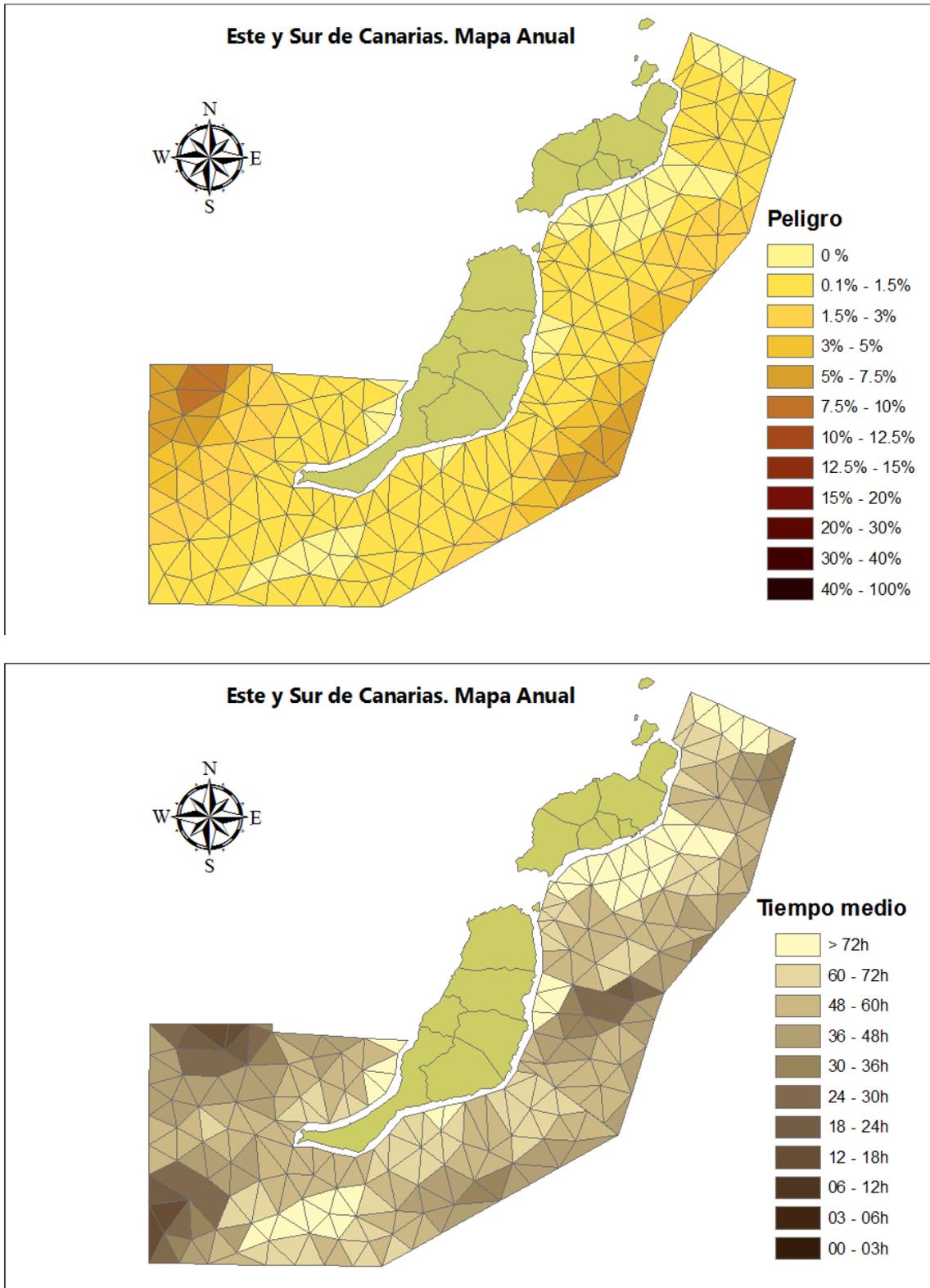
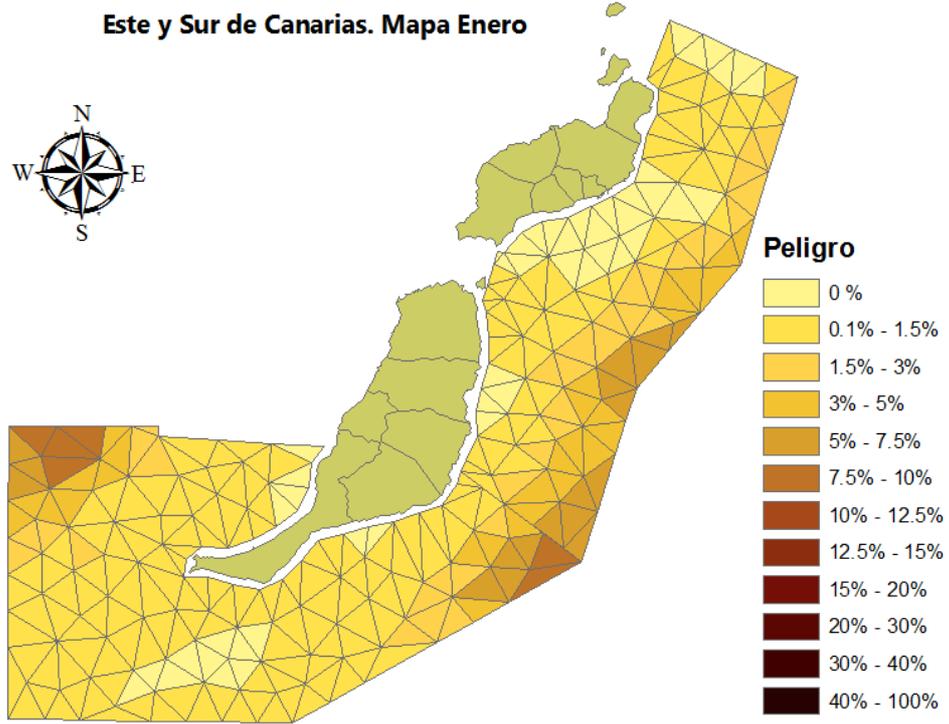
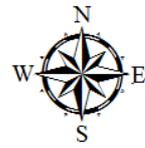


Fig A2.3.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

Este y Sur de Canarias. Mapa Enero



Este y Sur de Canarias. Mapa Enero

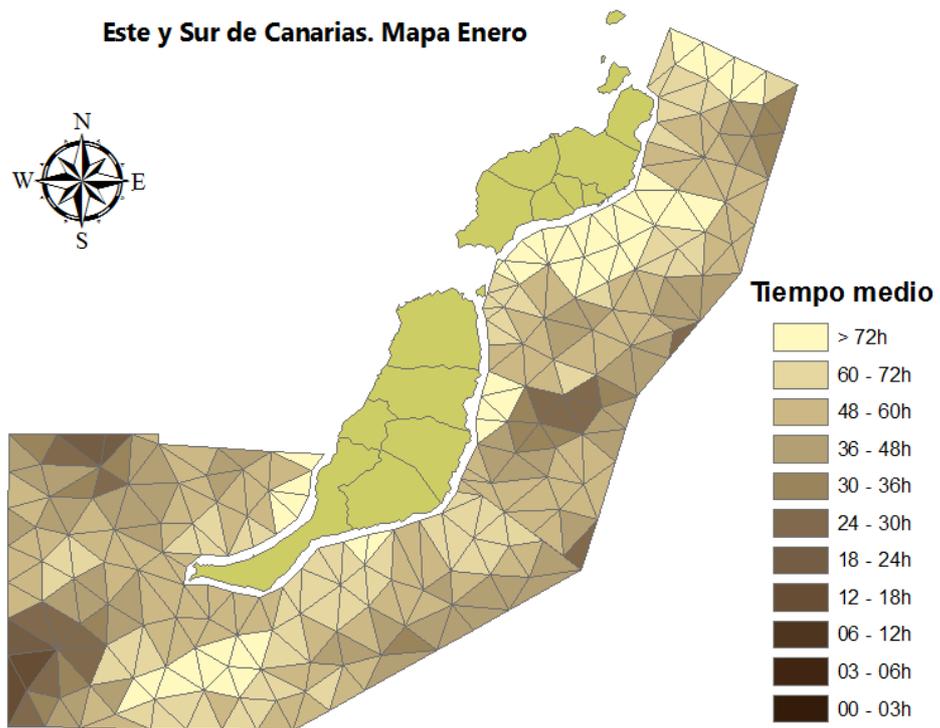
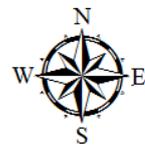


Fig A2.3.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

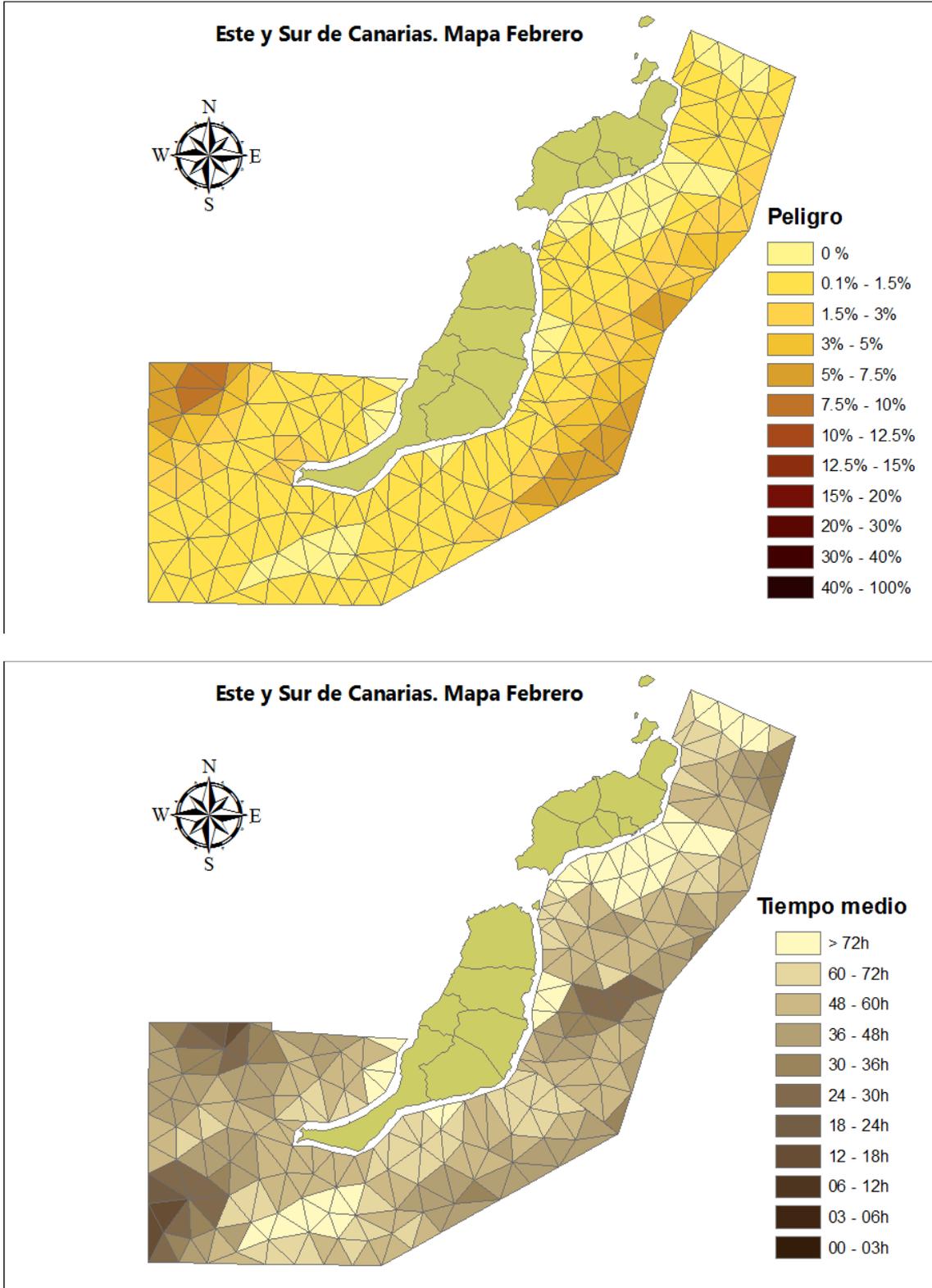


Fig A2.3.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

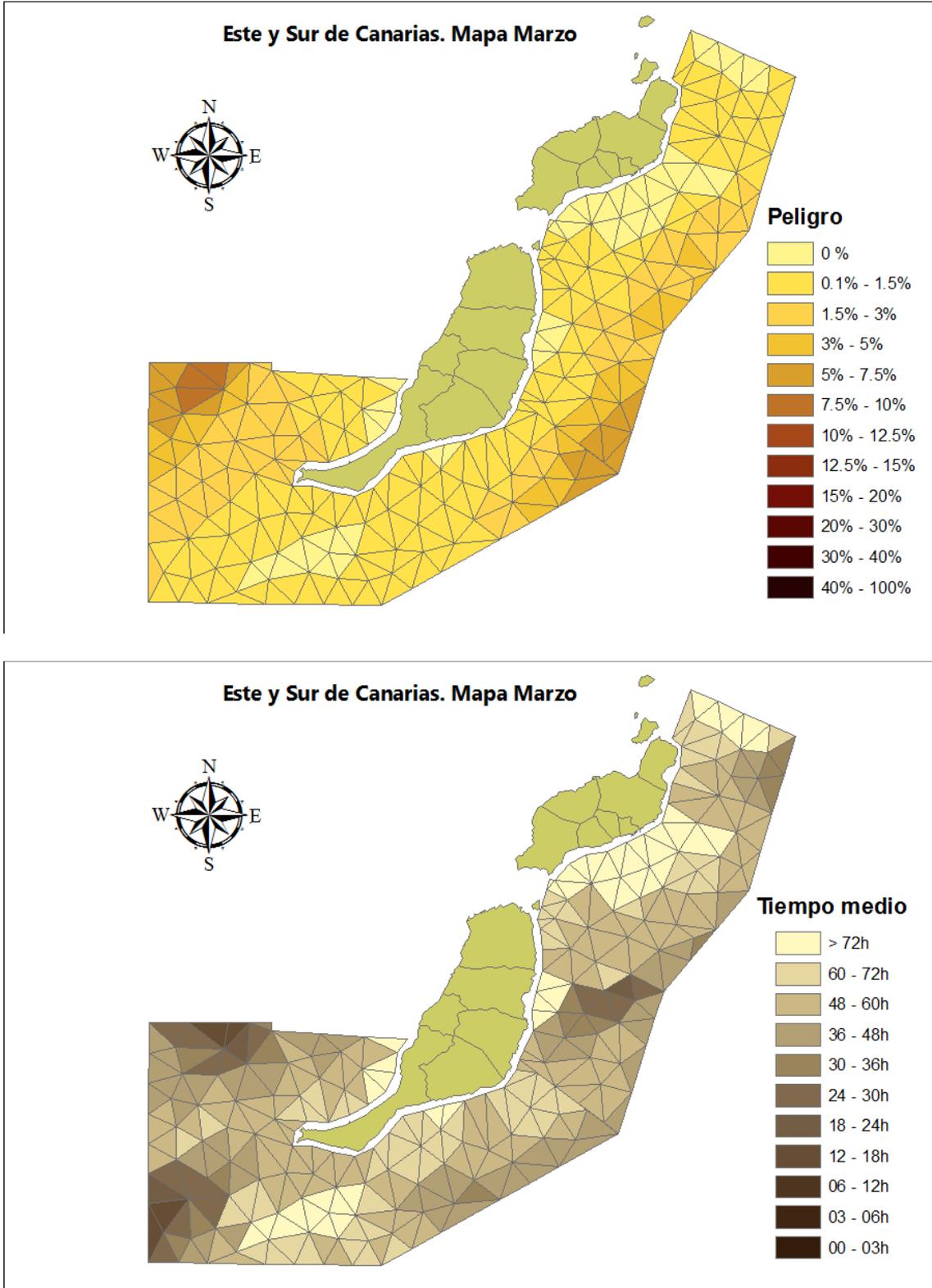


Fig A2.3.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

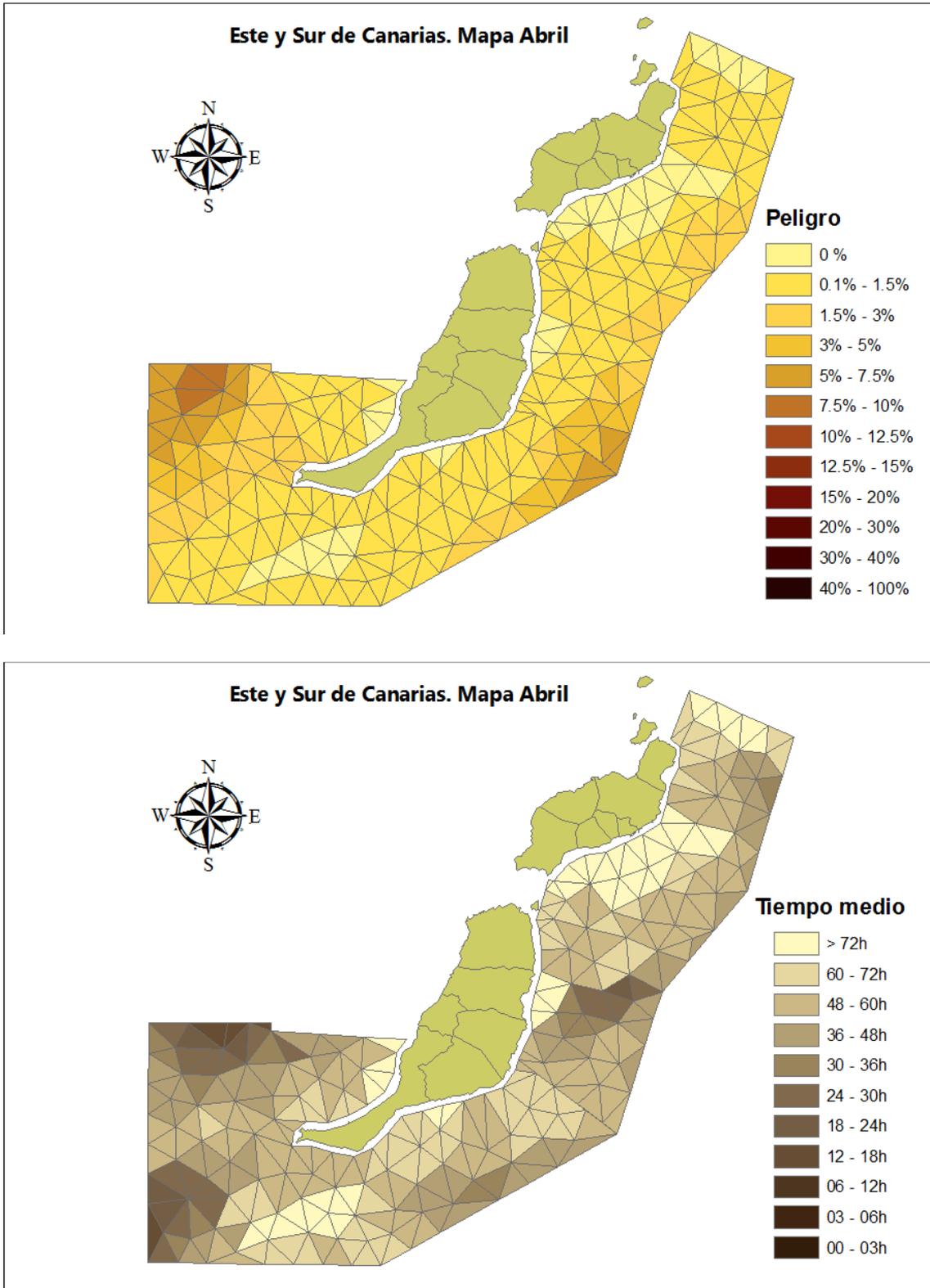


Fig A2.3.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

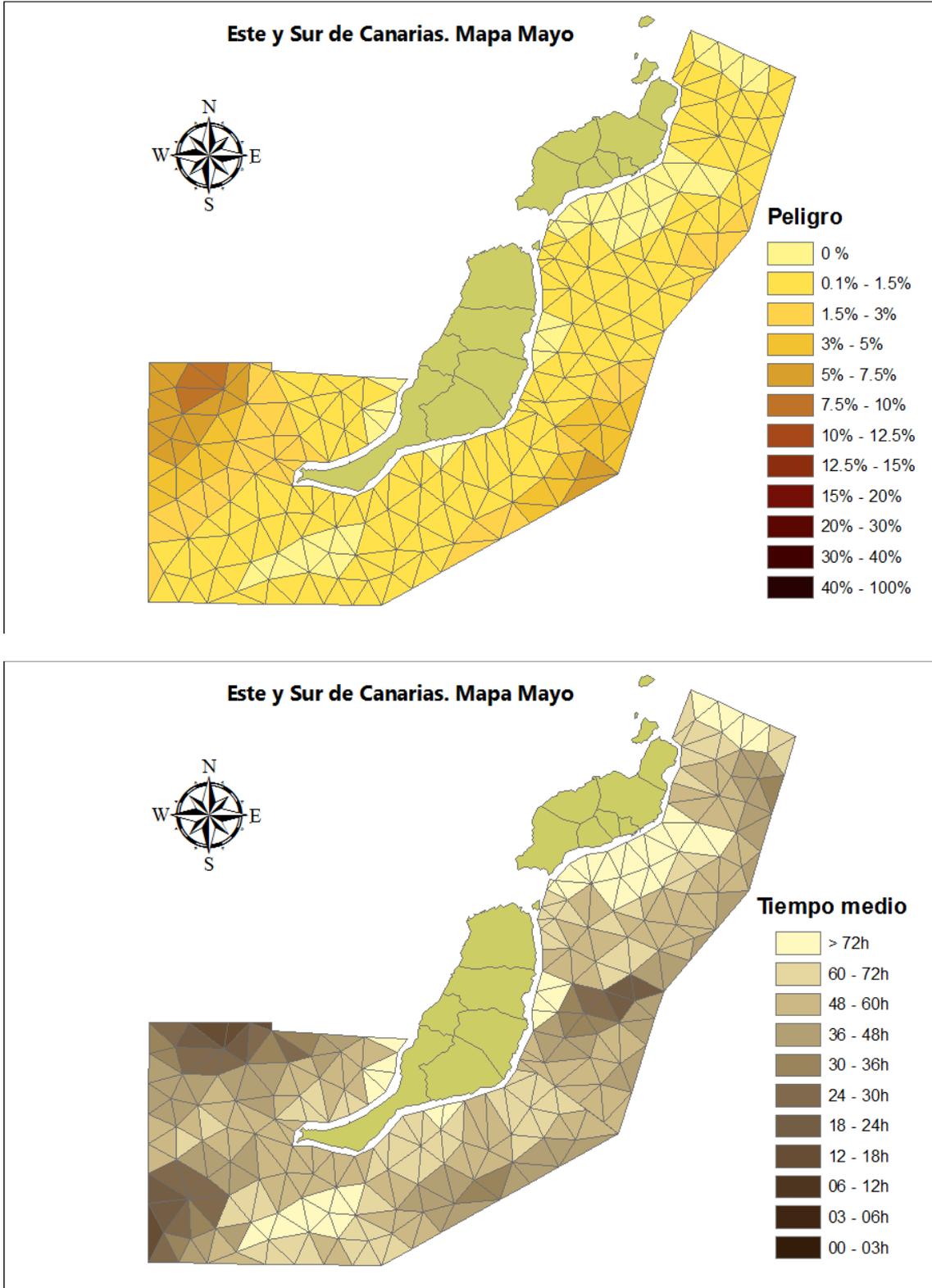


Fig A2.3.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

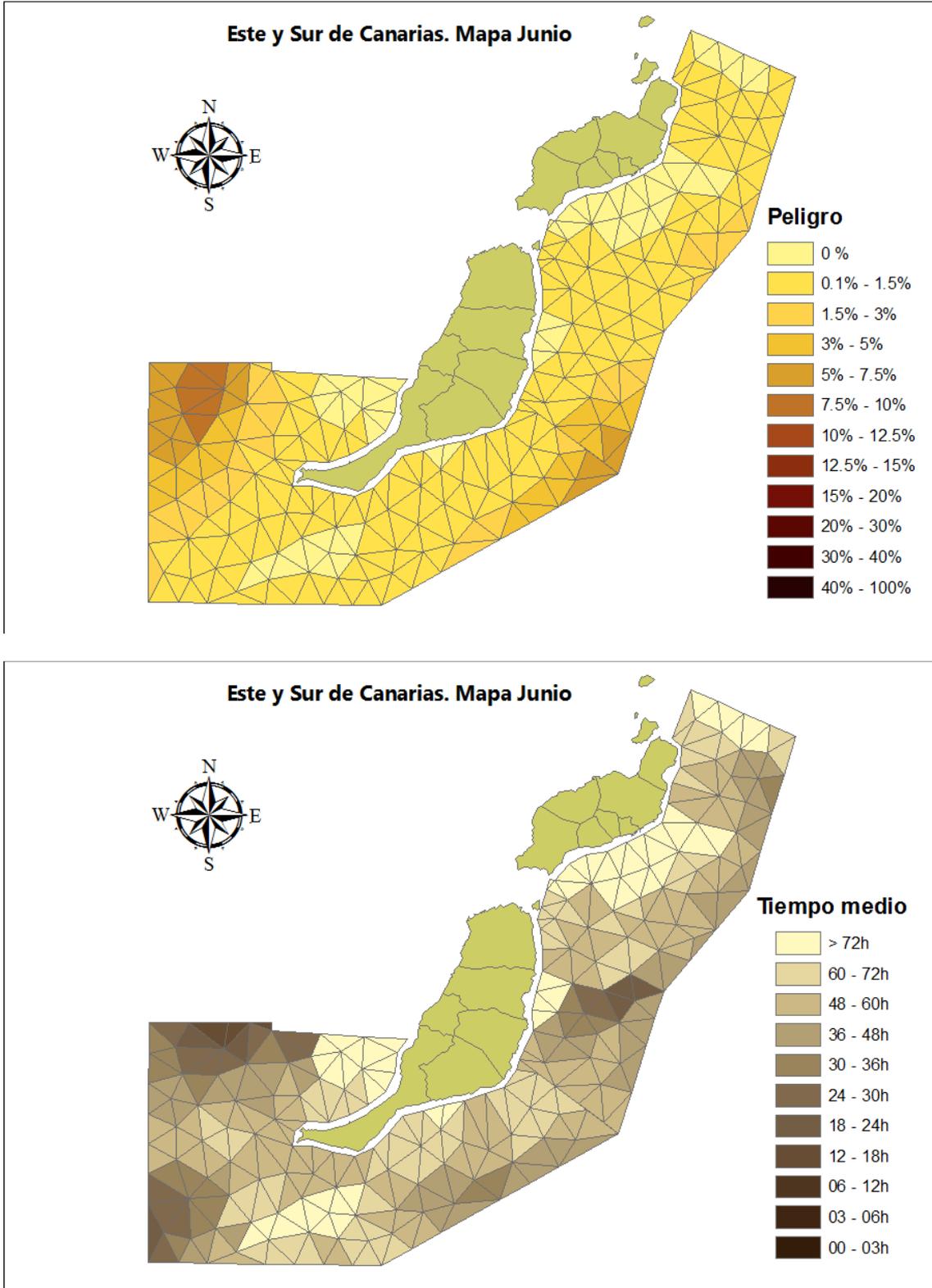


Fig A2.3.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

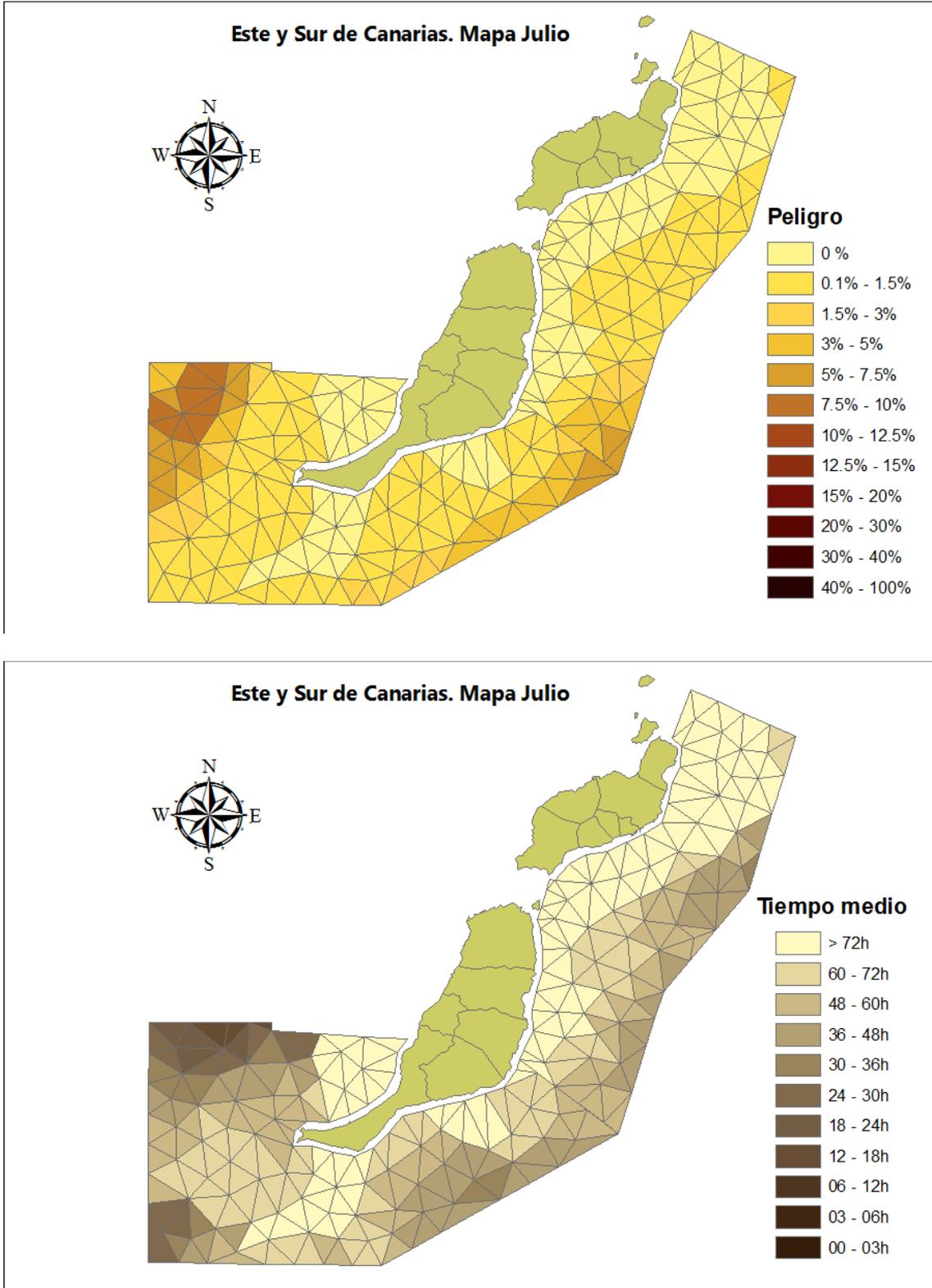


Fig A2.3.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

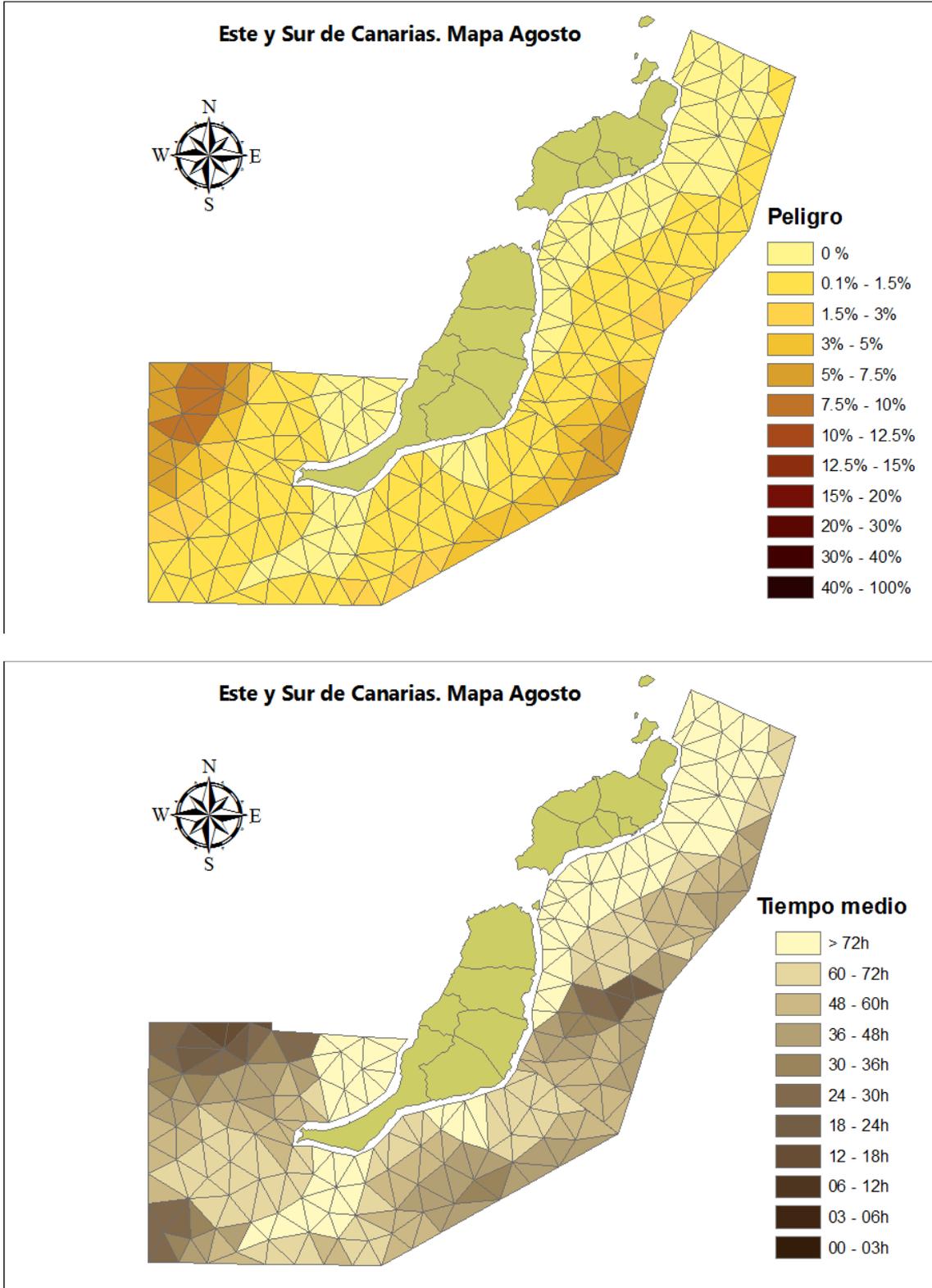


Fig A2.3.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

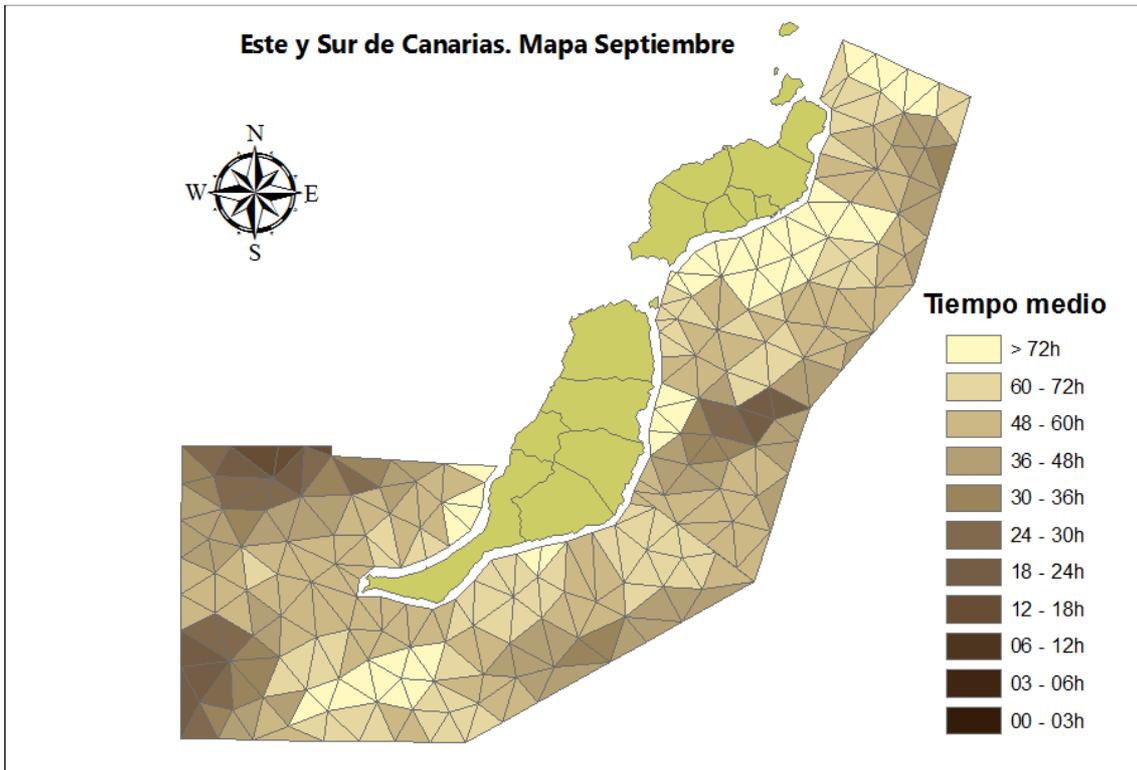
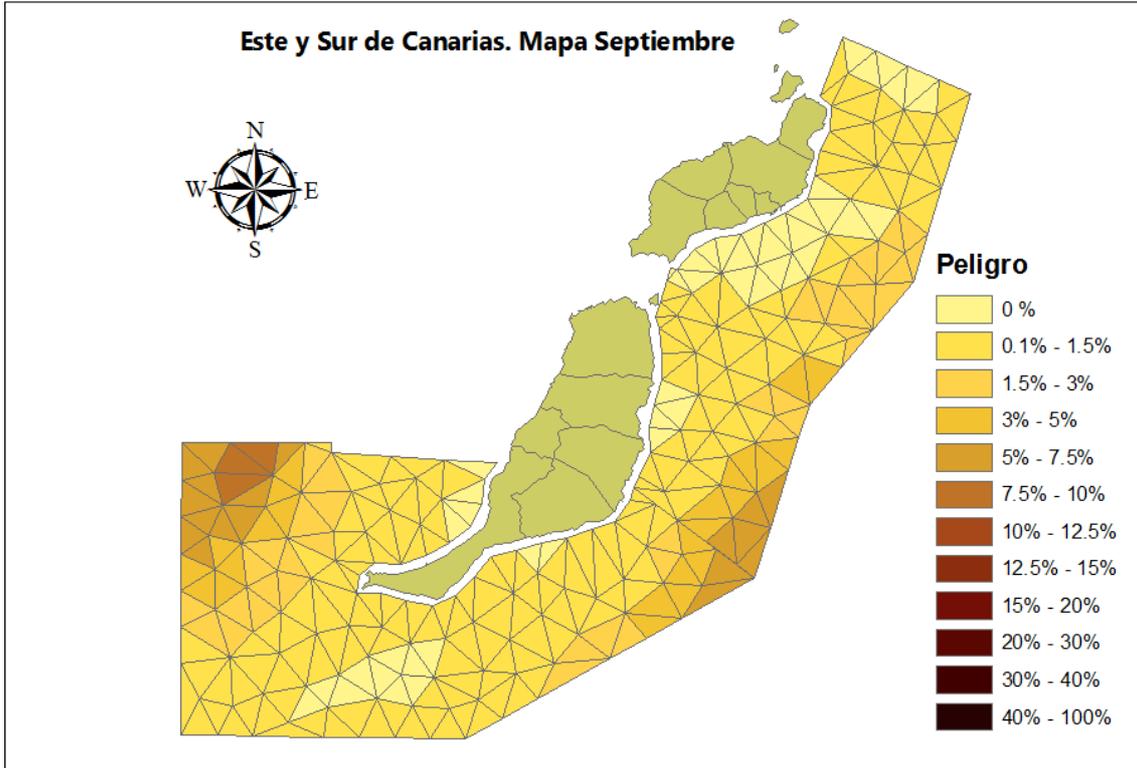


Fig A2.3.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

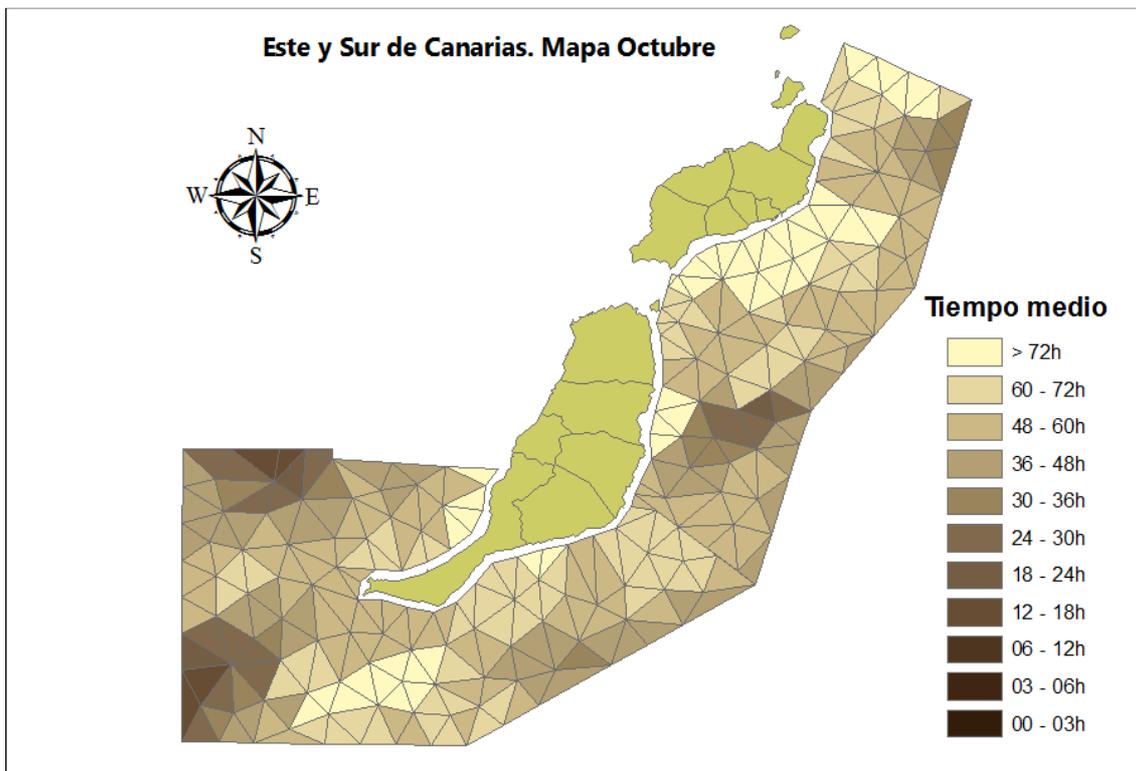
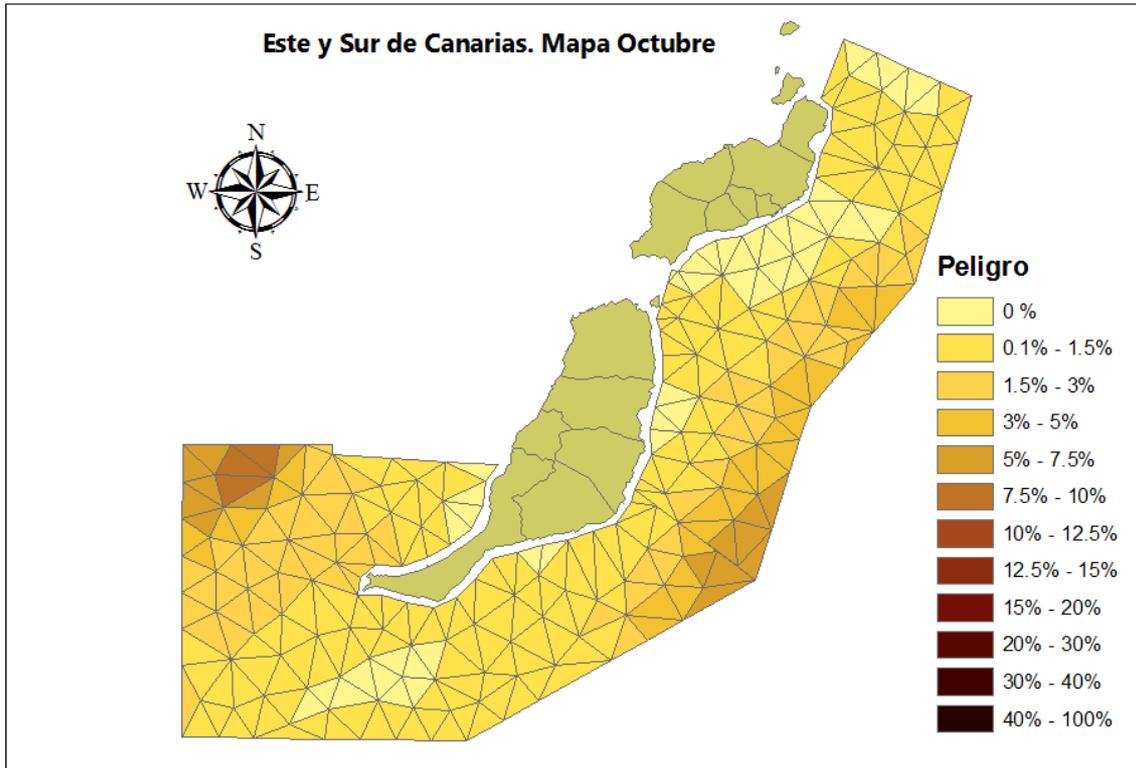


Fig A2.3.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

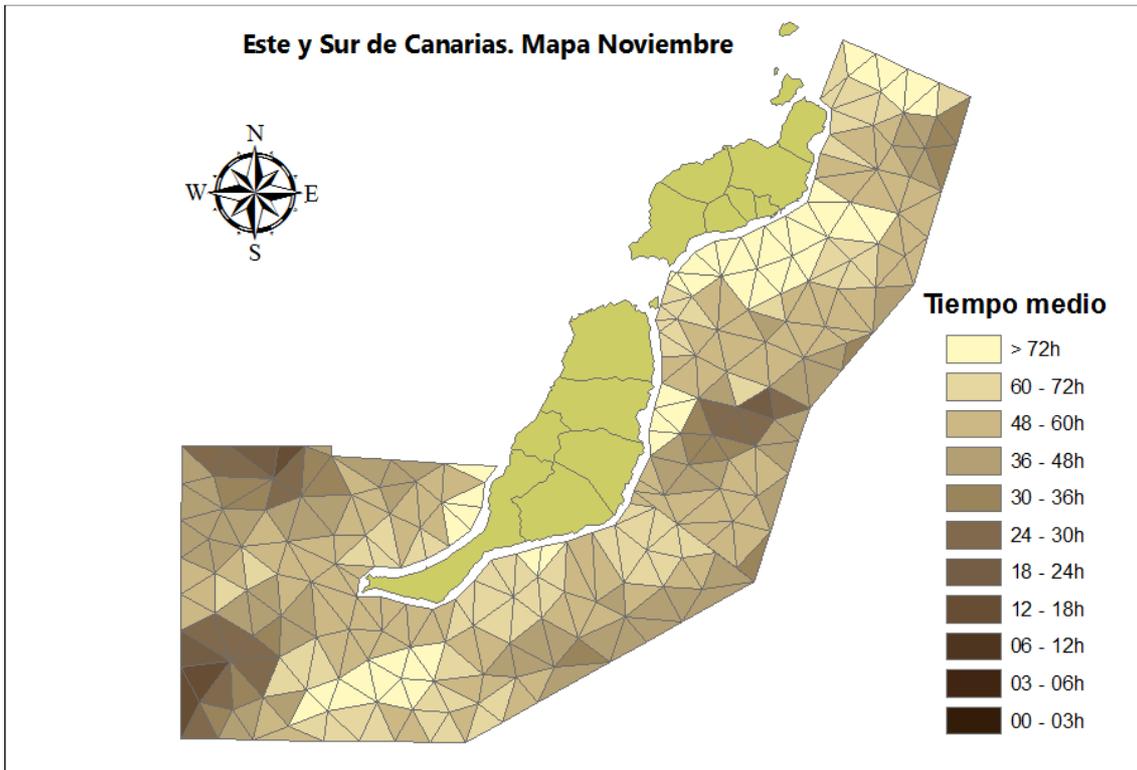
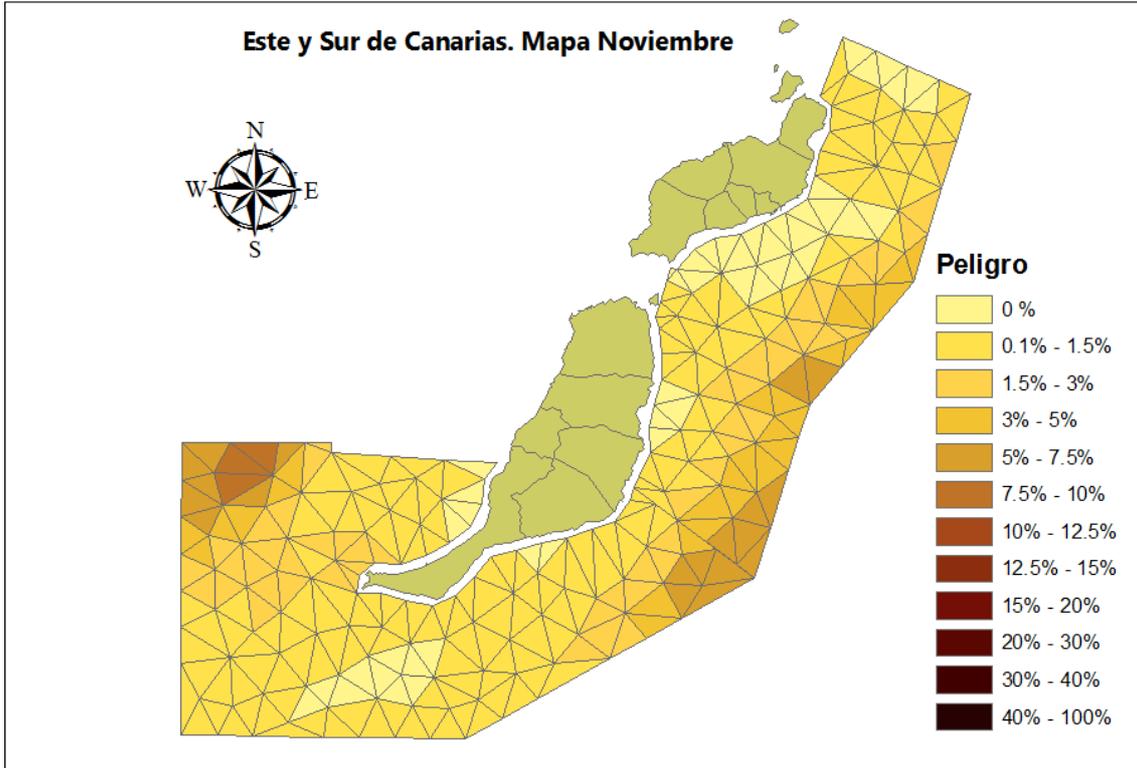


Fig A2.3.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

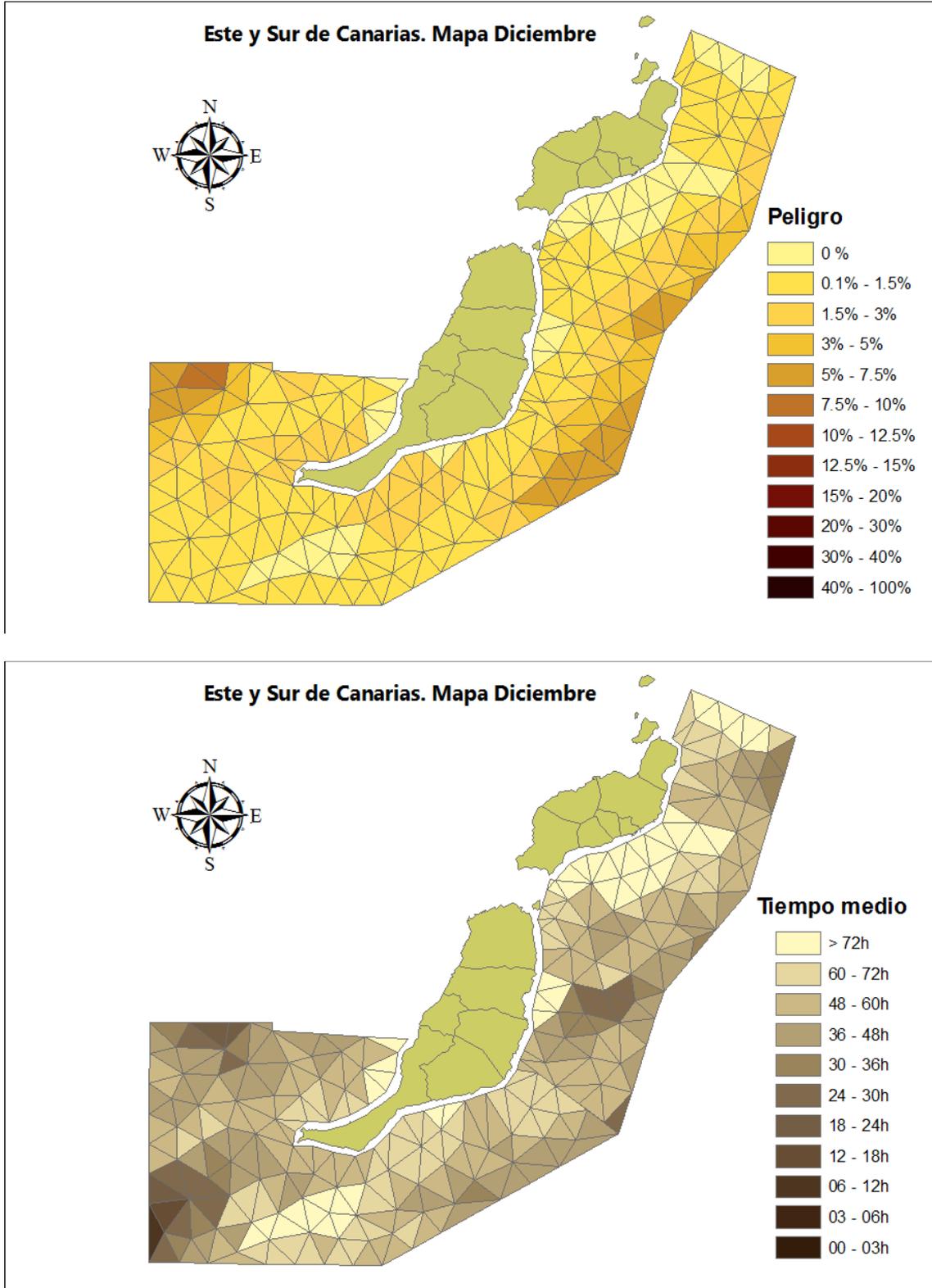


Fig A2.3.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

4.- Chimeneas Cádiz

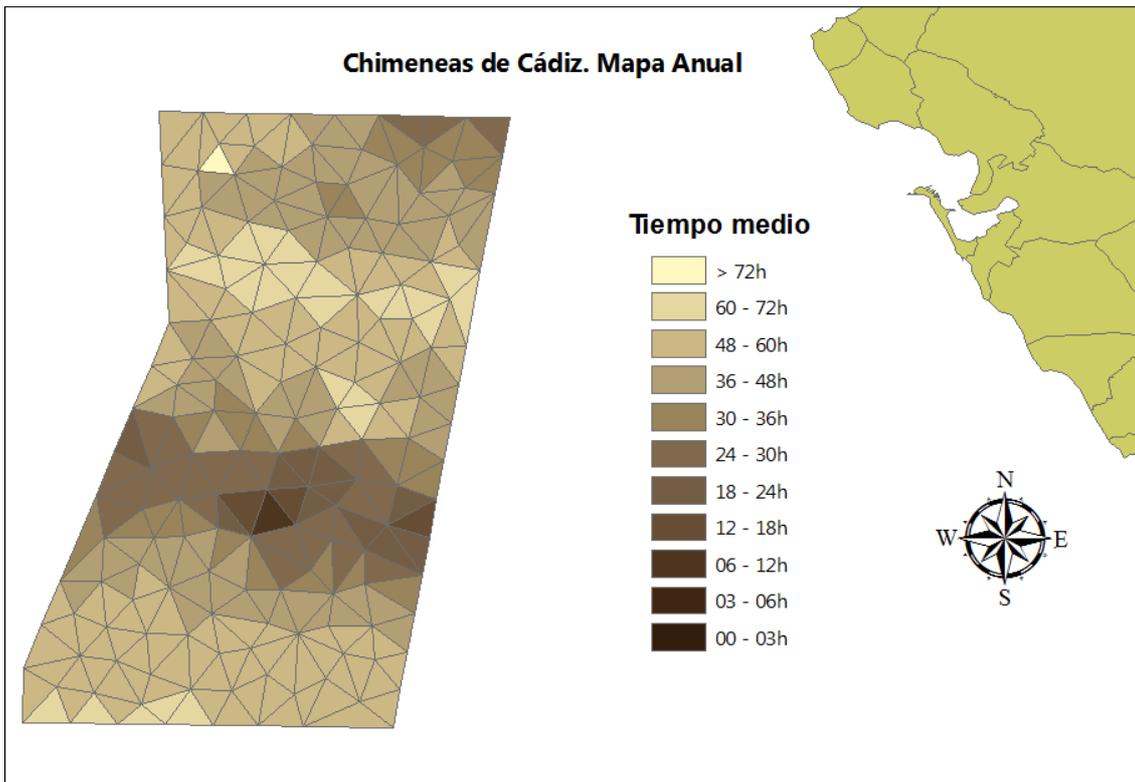
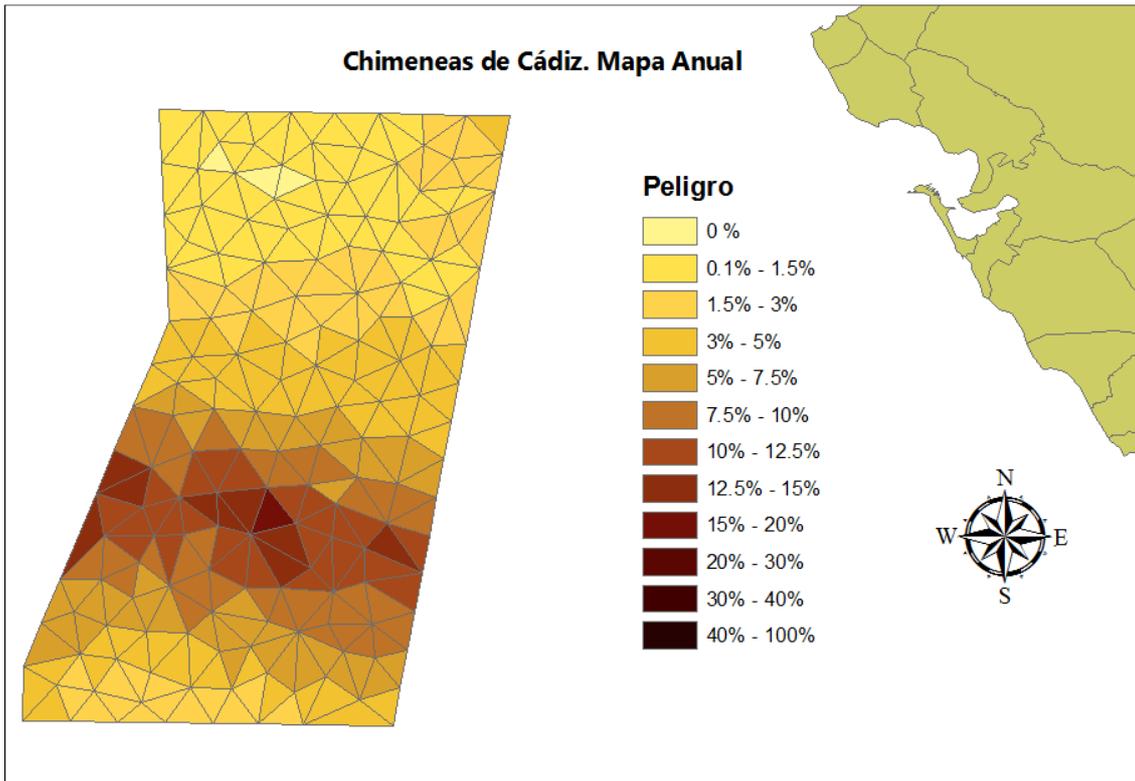


Fig A2.4.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

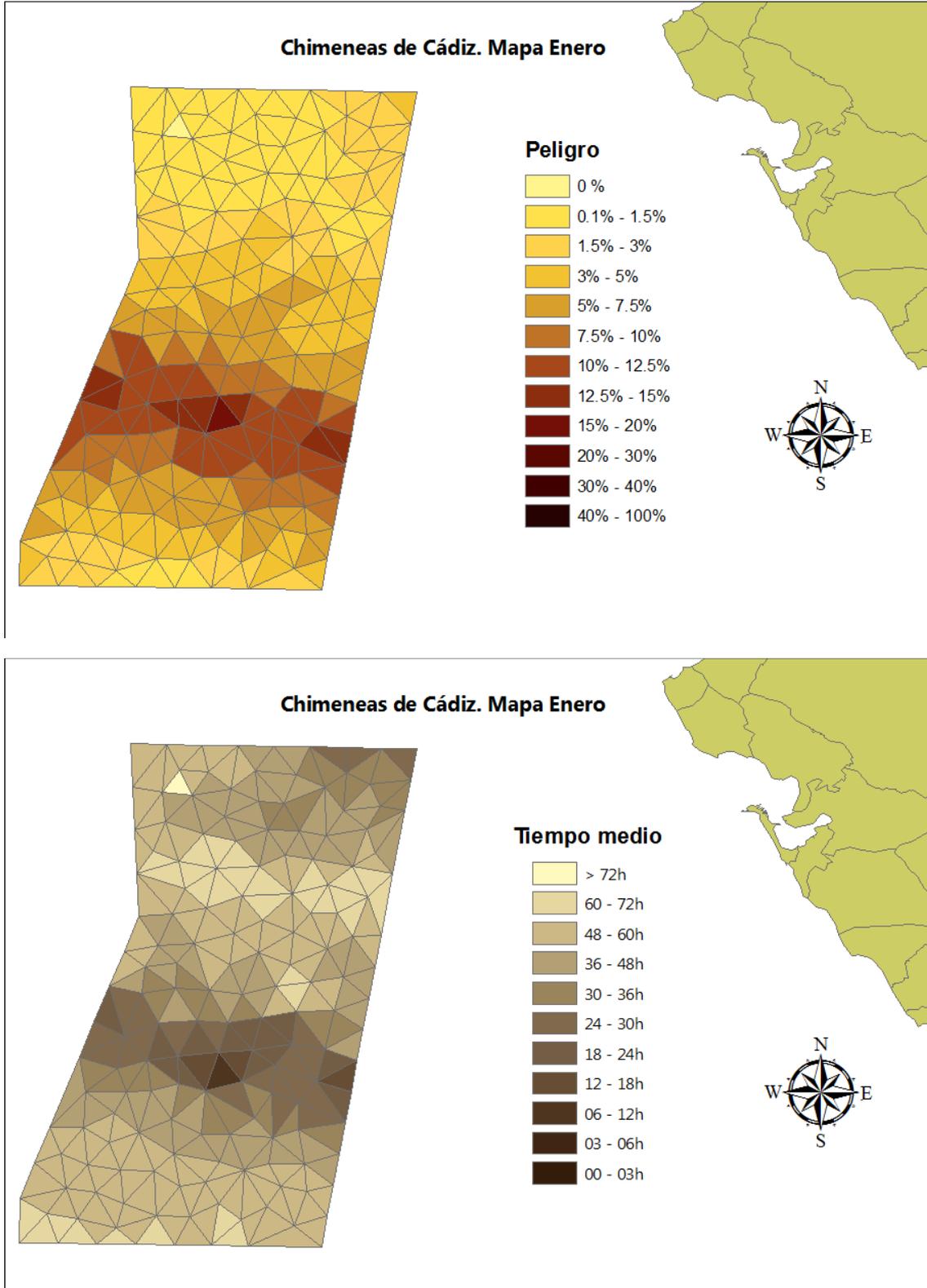


Fig A2.4.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

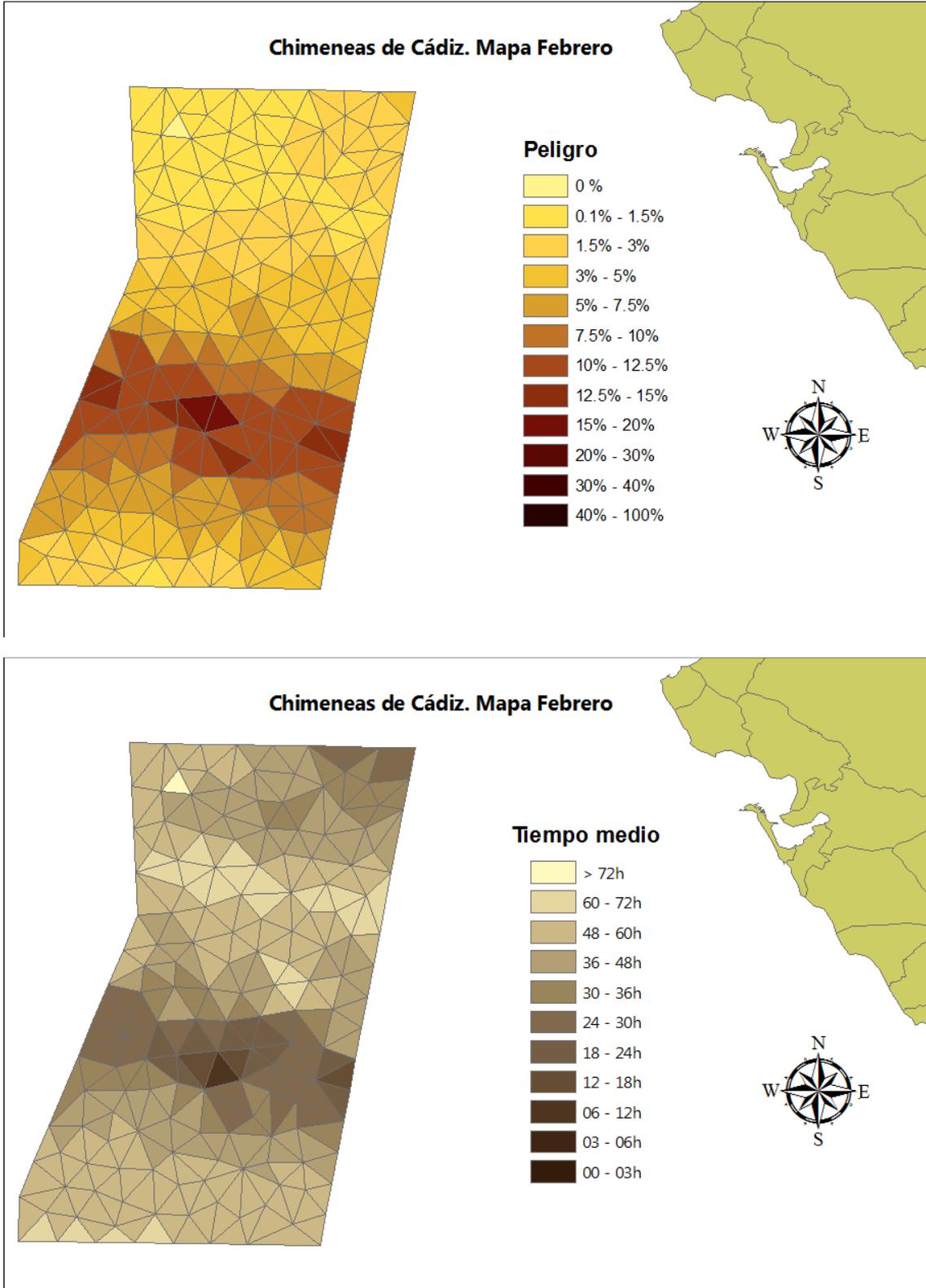


Fig A2.4.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

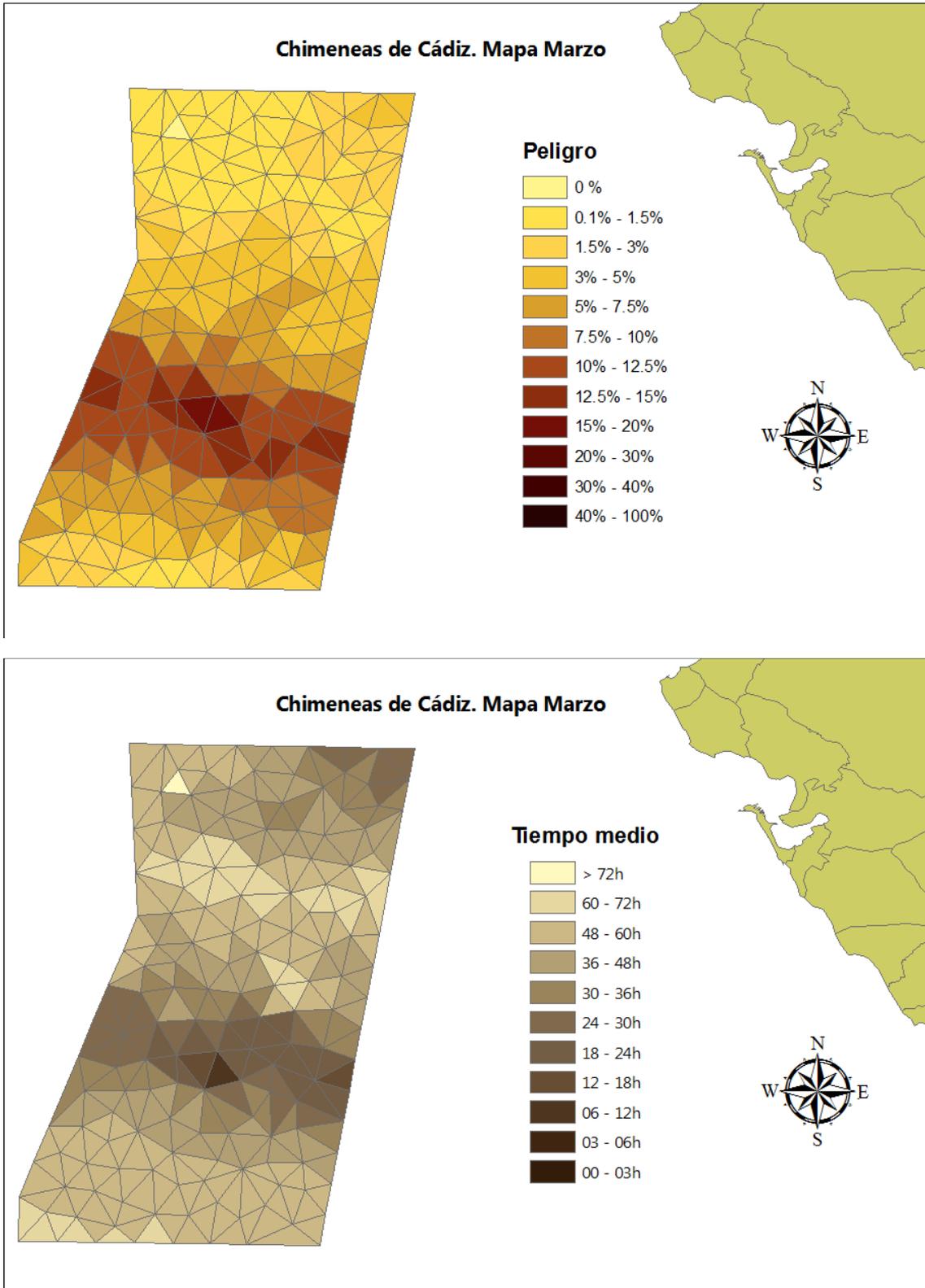


Fig A2.4.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

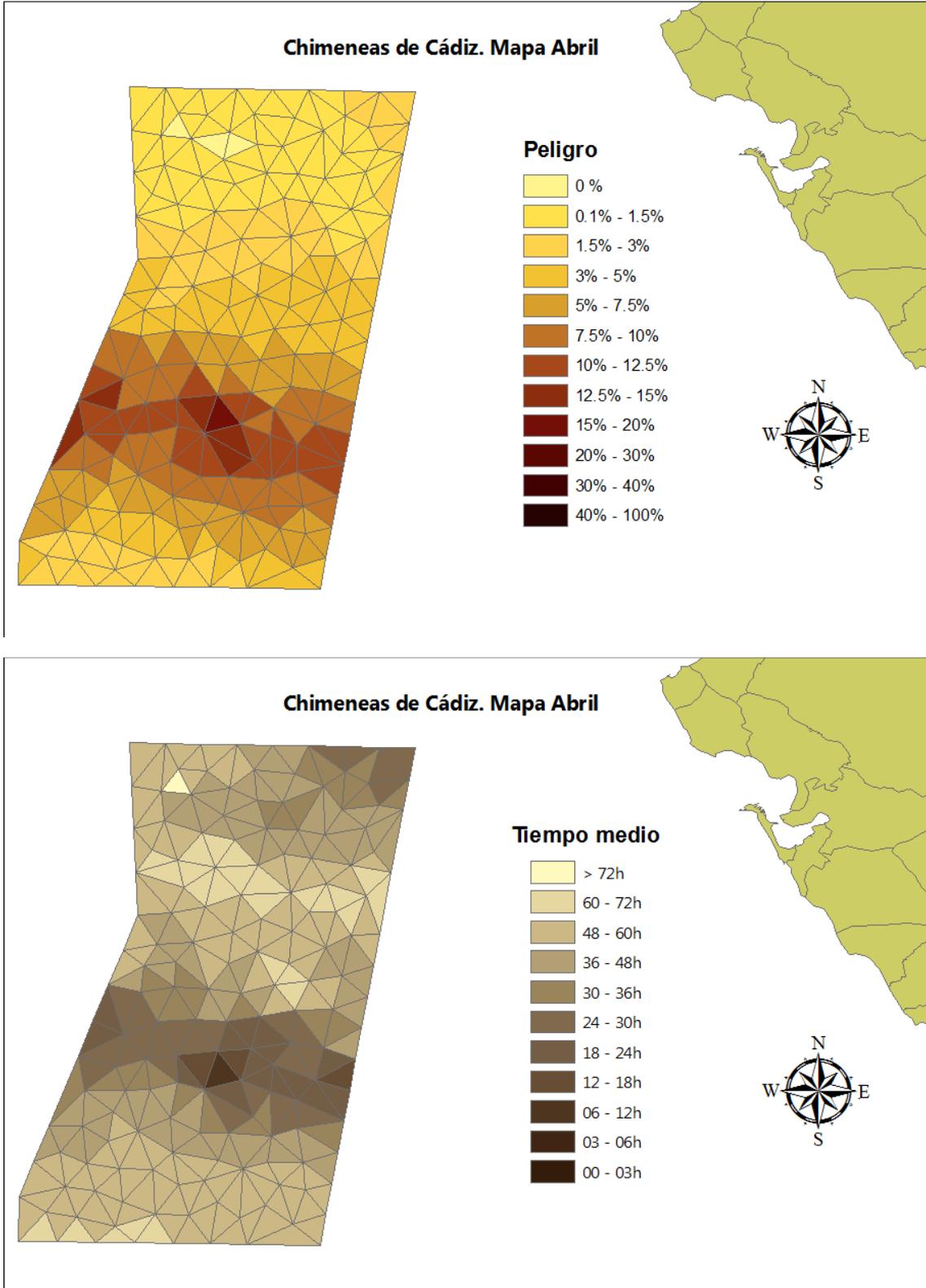


Fig A2.4.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

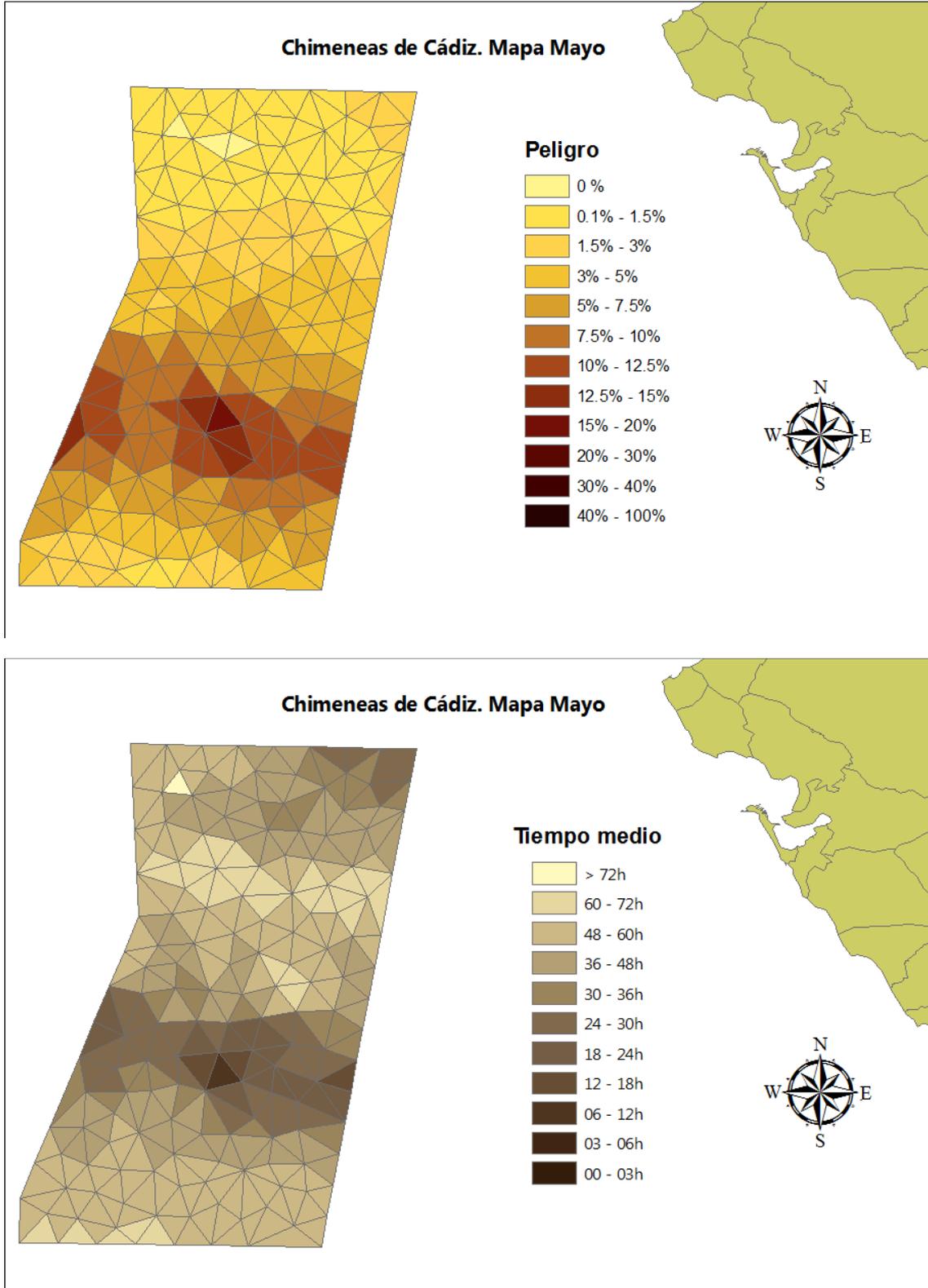


Fig A2.4.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

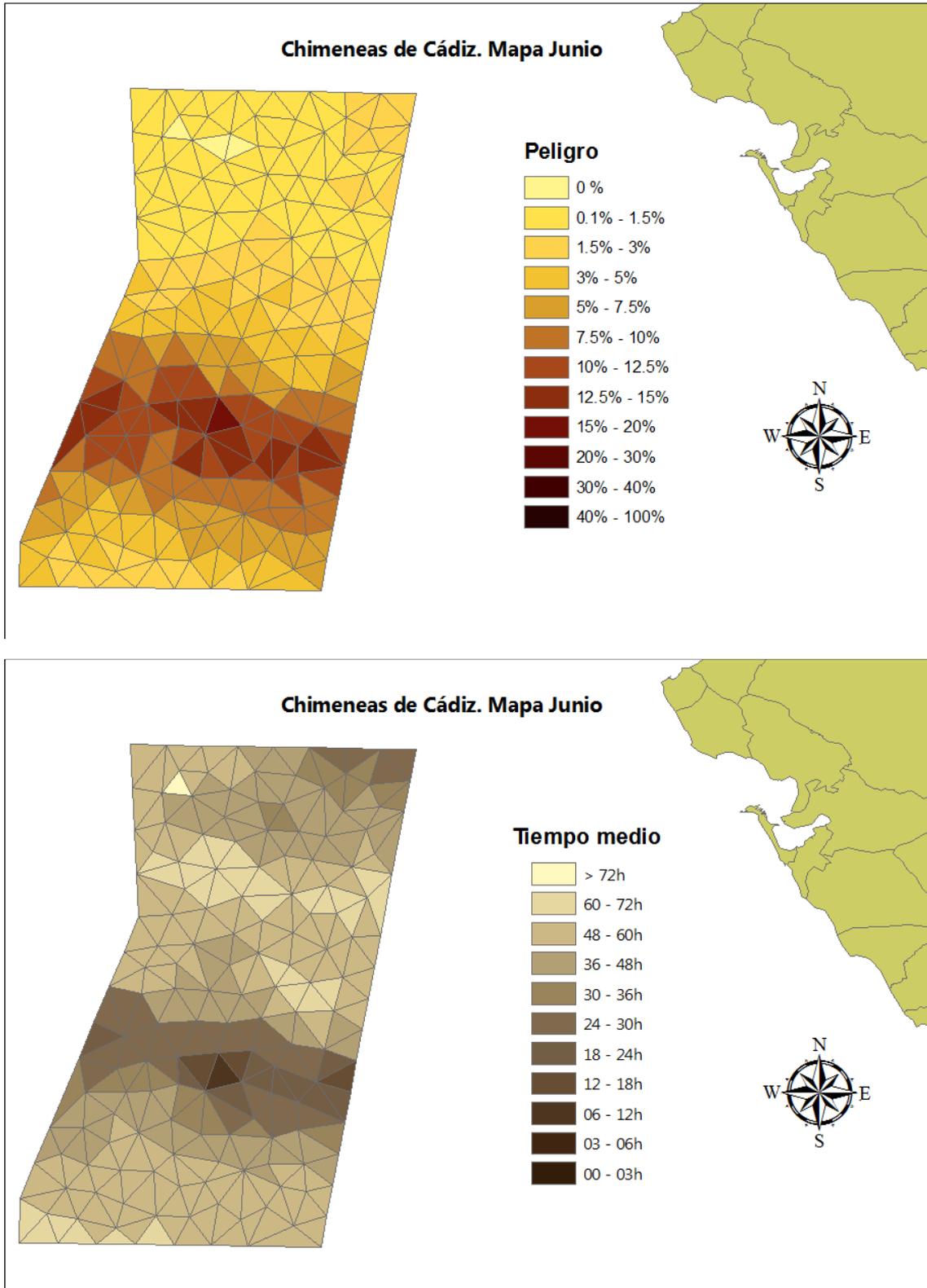


Fig A2.4.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

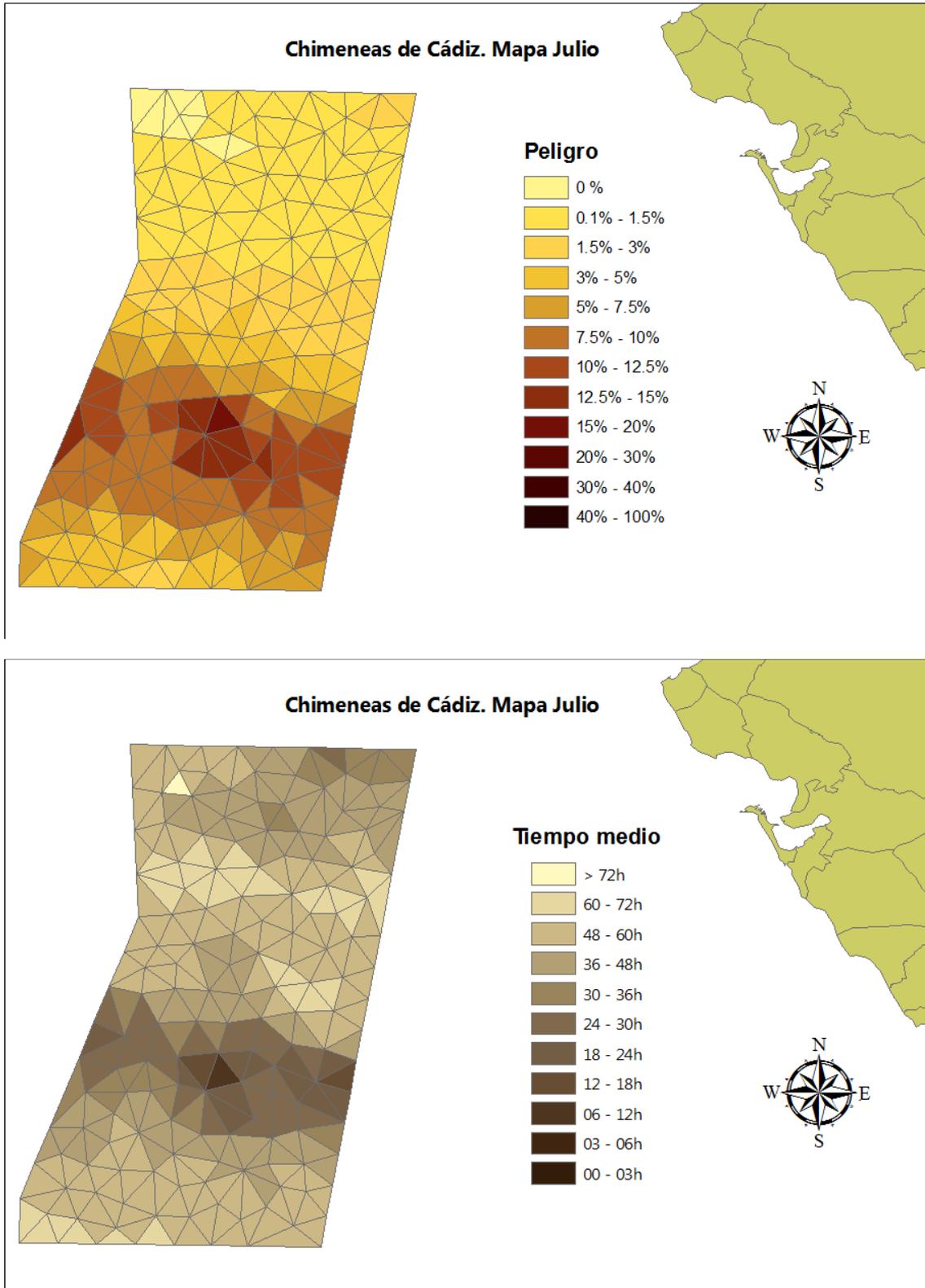


Fig A2.4.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

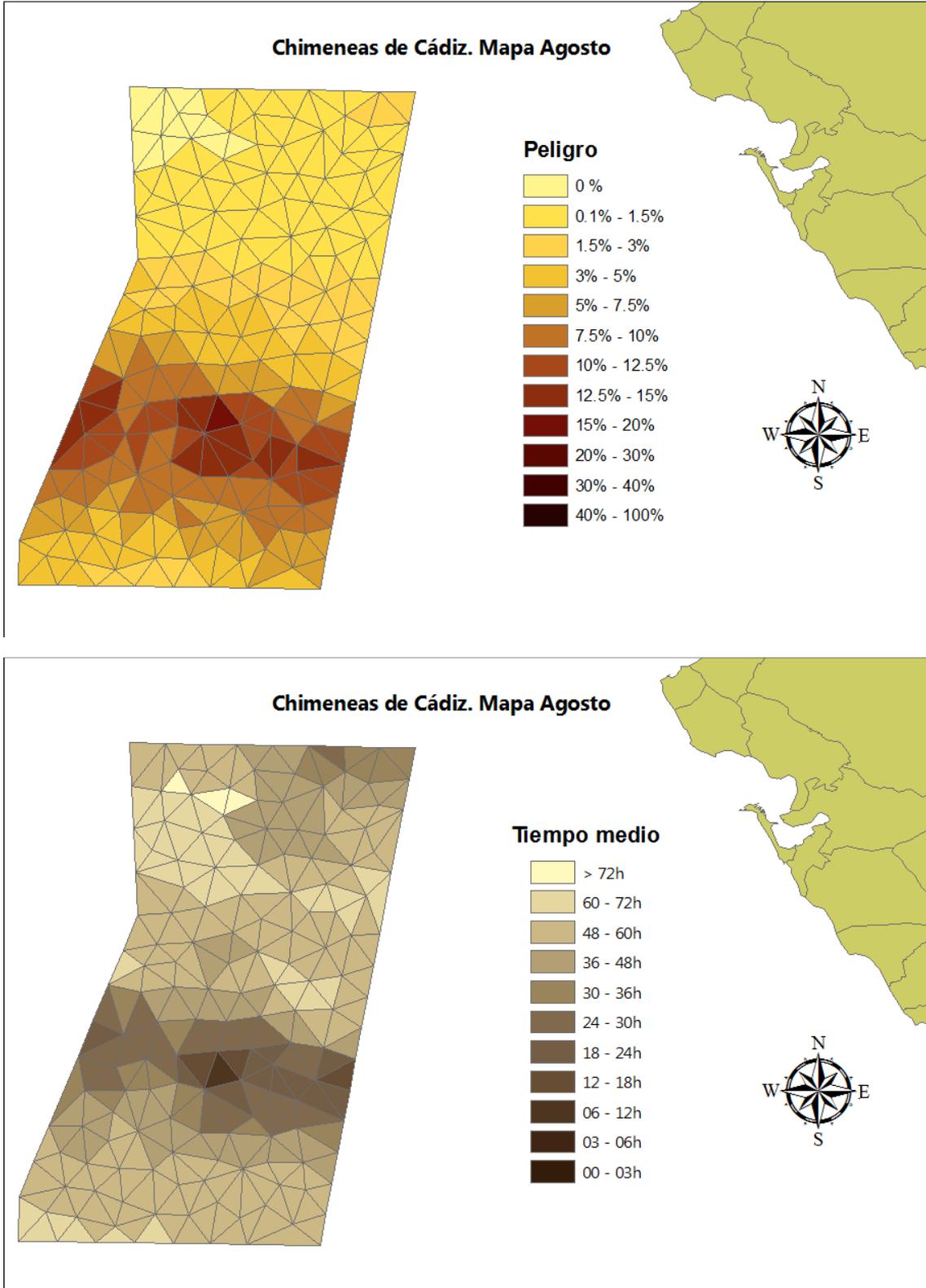


Fig A2.4.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

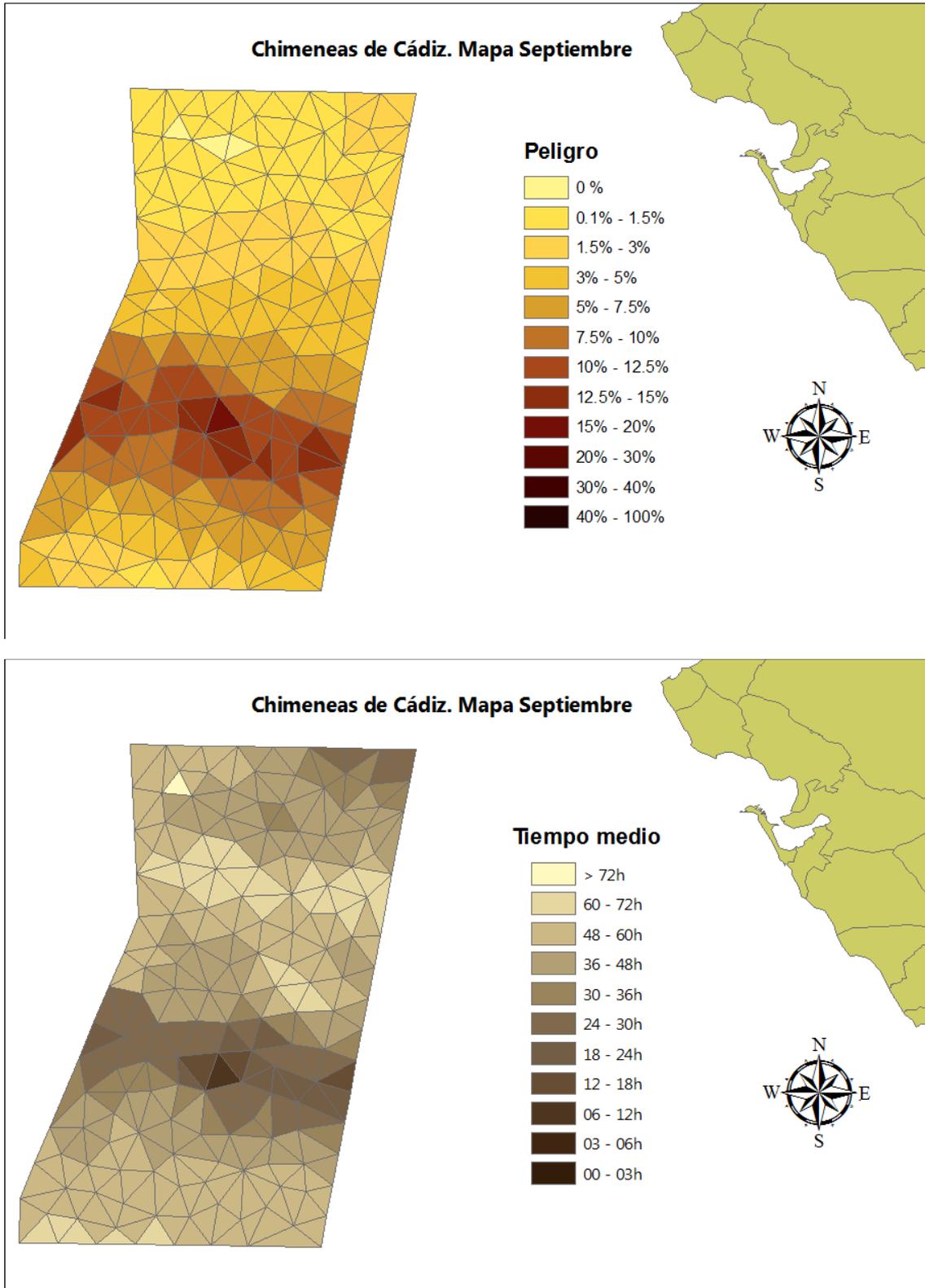


Fig A2.4.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

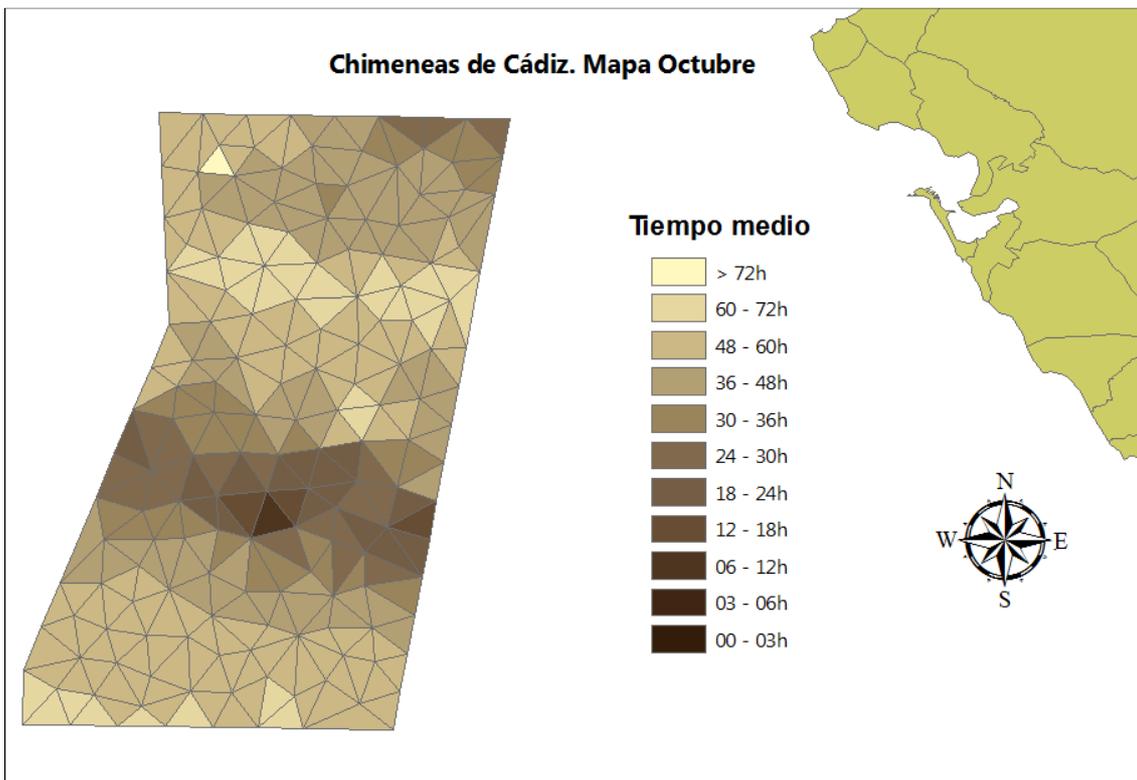
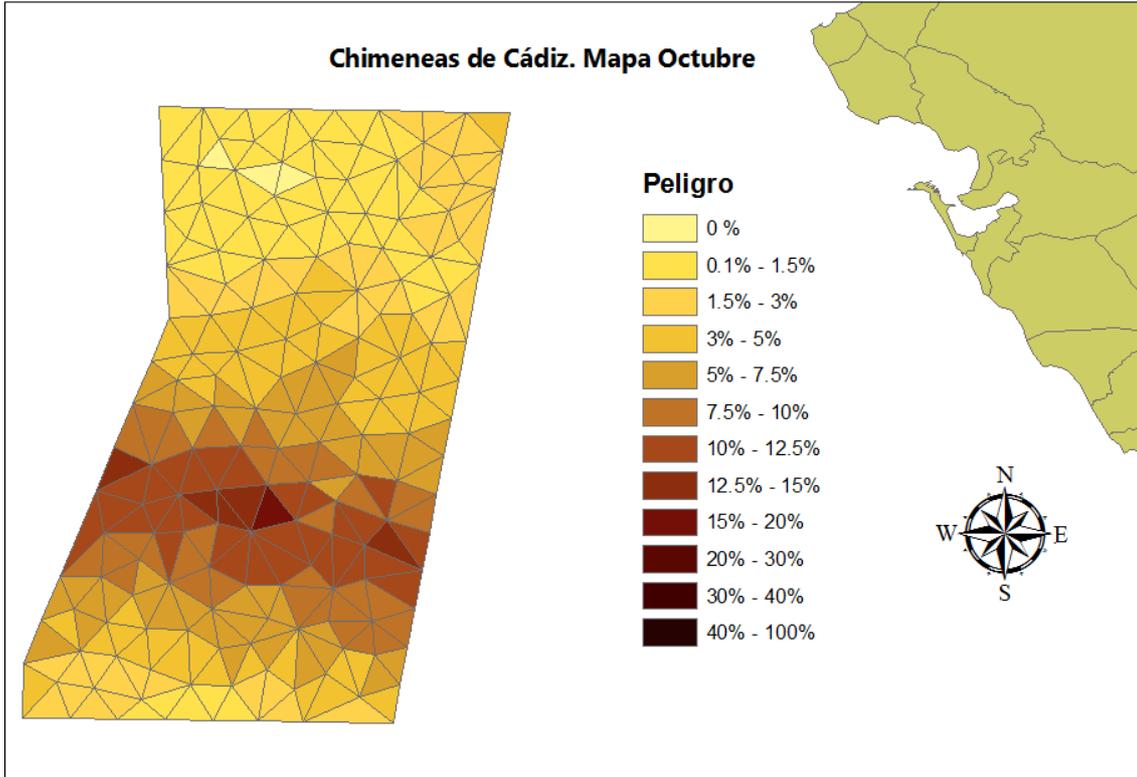


Fig A2.4.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

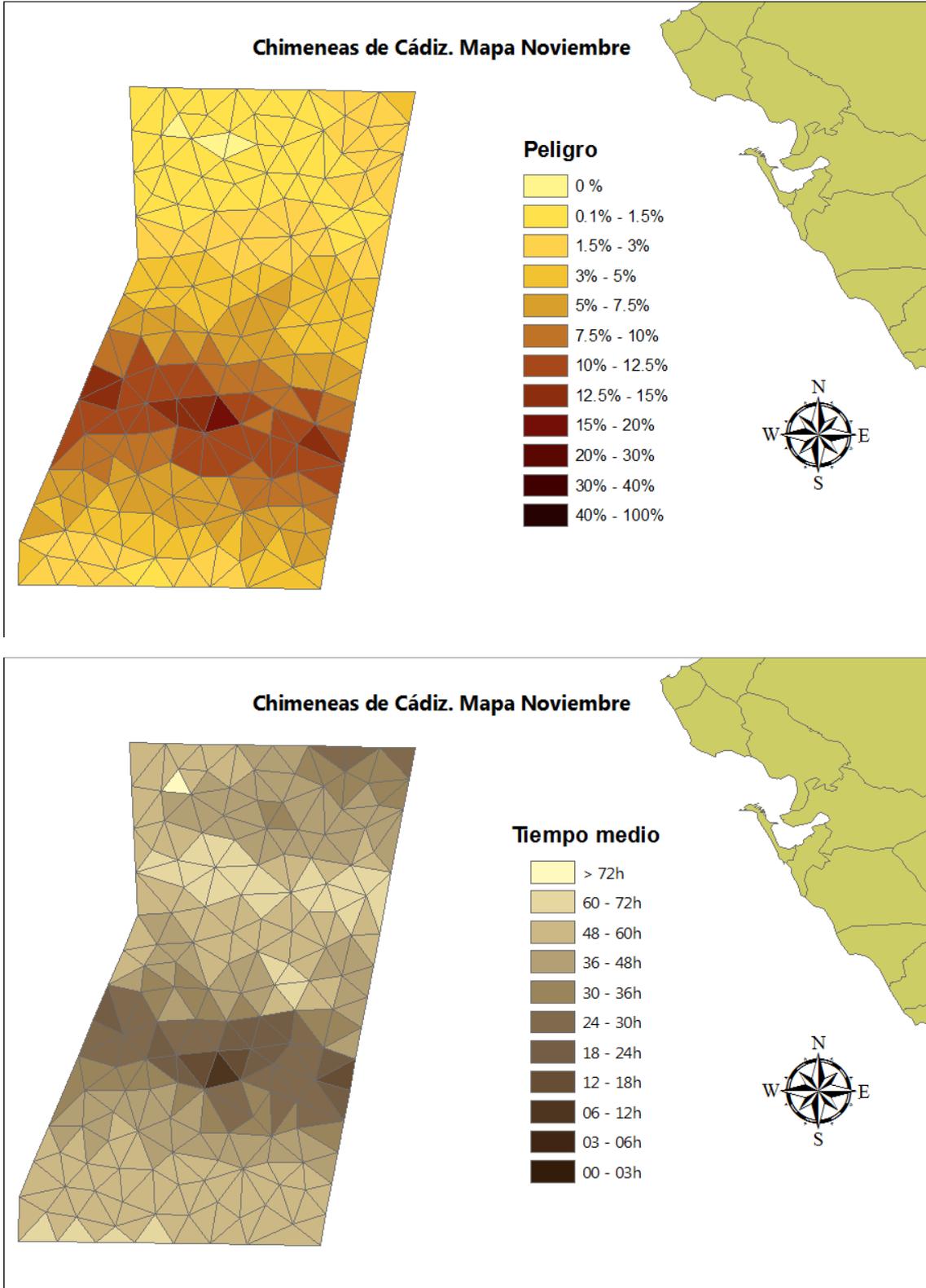


Fig A2.4.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

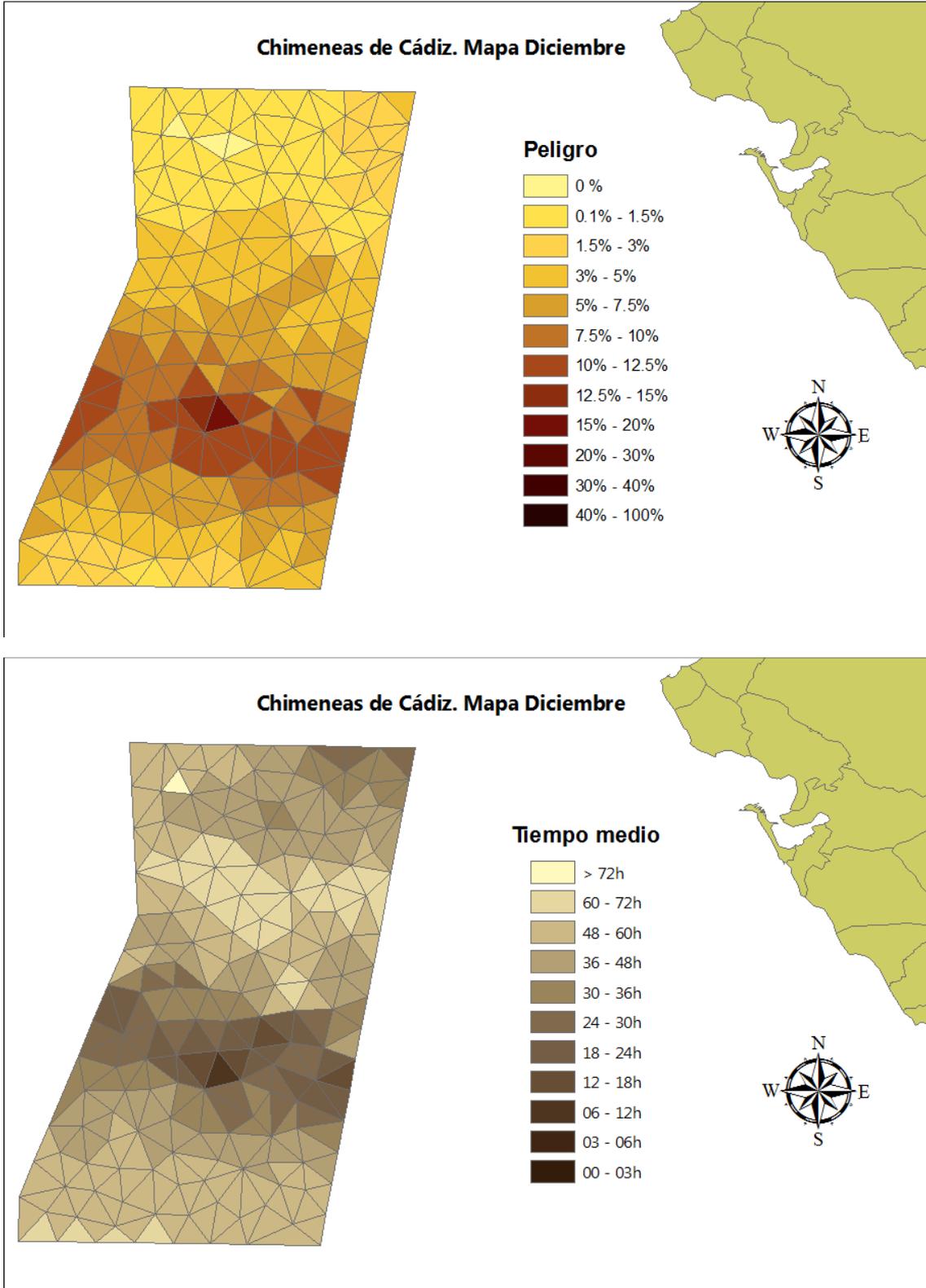


Fig A2.4.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

ANEXO 3.- PROSPECCIONES PETROLÍFERAS

A3.1.- METODOLOGÍA

Se han considerado los puntos denominados por REPSOL como Naranja, Plátano y Sandía como posibles localizaciones en las que se podría producir un vertido en profundidad, debido a la realización de prospecciones petrolíferas.

Vemos en la figura A3.1 la localización de esos puntos respecto a las islas más orientales del archipiélago canario y del parque Red Natura 2000 “Oriente de Lanzarote y Fuerteventura”.

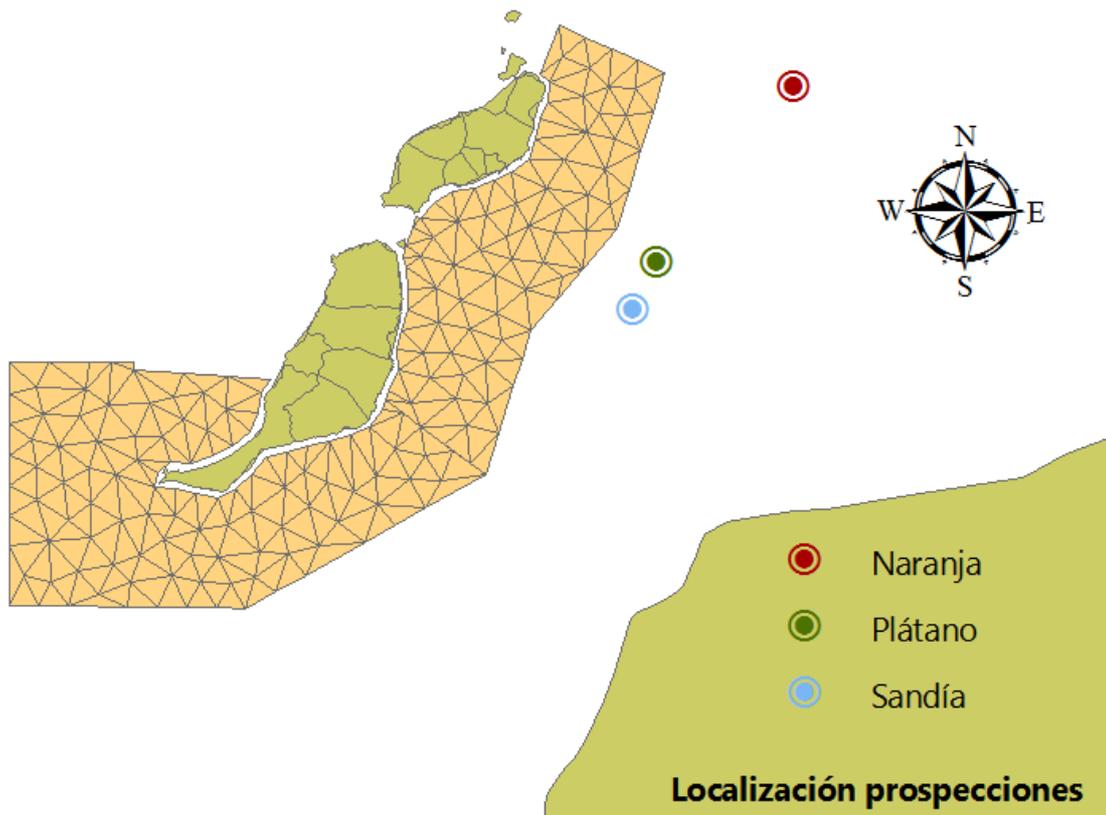


Fig A3.1.- Localización de las prospecciones petrolíferas

La posición exacta y la profundidad desde las que se realizaron las simulaciones de los vertidos aparecen reflejadas en la tabla A3.1

| Sondeo | Longitud | Latitud | Profundidad |
|---------|----------|---------|-------------|
| Naranja | -12.711 | 29.197 | 1420 m |
| Plátano | -13.101 | 28.696 | 852 m |
| Sandía | -13.169 | 28.559 | 870 m |

Tabla A3.1.- Localización y profundidad inicial del posible vertido

La metodología propuesta consta de dos etapas. Una primera en la que se modeliza el comportamiento del hidrocarburo desde la rotura de la bolsa de petróleo hasta su aparición en superficie y una segunda etapa que se modeliza siguiendo la misma técnica empleada para analizar el peligro al que están expuestos los parques Red Natura 2000 a un accidente marítimo en sus alrededores.

Para simular el vertido en profundidad se consideraron los perfiles climáticos de temperatura y salinidad, además de la temperatura tipo a la que saldría el petróleo en el fondo del mar. Los perfiles climáticos fueron obtenidos a partir de los resultados de Levitus que tienen una resolución horizontal de 1/4° distribuidos en 24 niveles en vertical.

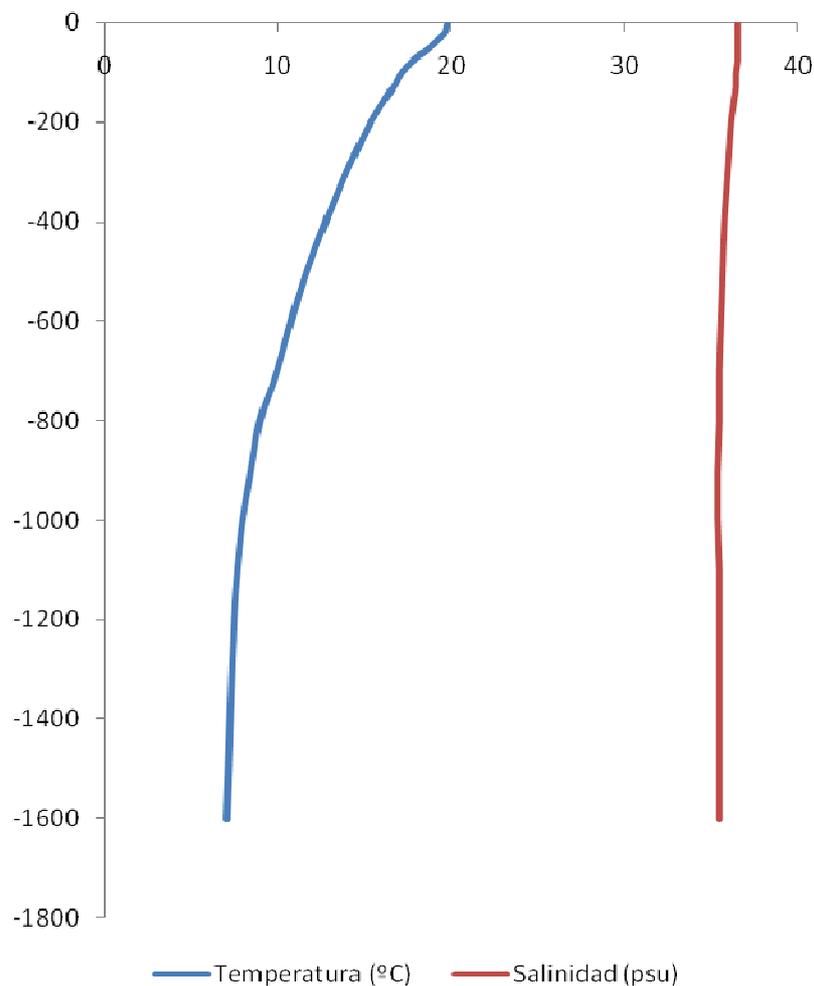


Fig A3.2.- Ejemplo de perfil climático de temperatura y salinidad

A partir de estos dos datos se obtendría densidad del mar y la del fuel, que determinarían la velocidad a la que ascendería este hacia la superficie. La velocidad de ascenso es mucho mayor en los primeros instantes, debido a la diferencia de presión y densidad entre ambos fluidos, mientras que a medida que asciende el crudo su velocidad se va reduciendo y se va dispersando más

Para calcular esta dispersión que sufriría el vertido al ir ascendiendo también se consideraron las corrientes horizontales en toda la columna de agua. Se consideraron dos situaciones tipo en cuanto a las corrientes, una de invierno y otra de verano a partir de los datos del modelo NEMO del proyecto MyOcean. Cabe destacar la poca intensidad de la corriente en profundidad con valores por debajo de los 5 cm/s

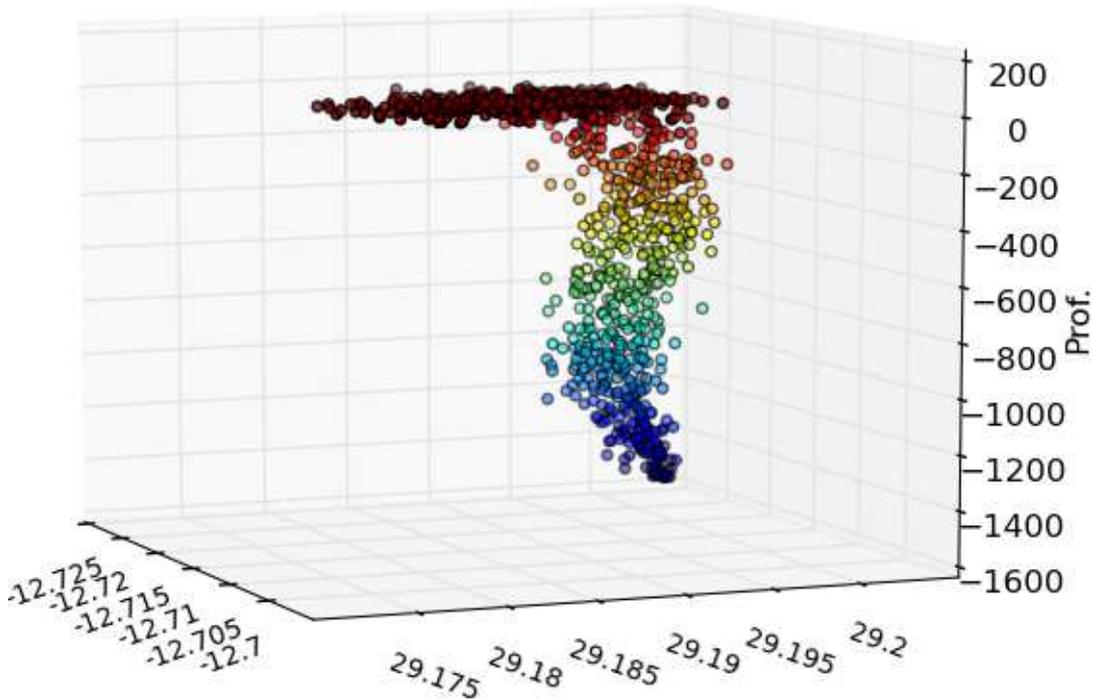


Fig A3.3.- Ejemplo del desplazamiento del vertido desde la prospección Naranja

En profundidad la corriente más común en la zona de las prospecciones es una corriente de Norte a Sur y que es conocida como “La Corriente de Canarias”, que no es más que una extensión de la “Corriente de Azores”, y que se ve favorecida por el upwelling que se produce habitualmente en la costa africana.

Los tiempos obtenidos en las distintas simulaciones van desde las 4 horas para las primeras partículas en las prospecciones de Sandía y Plátano, hasta las 6 horas en la prospección Naranja. Las partículas más grandes, más agrupadas, tardan algo más en subir y siguen apareciendo en superficie 12 horas de producirse el derrame.

A partir de las posiciones calculadas se determinó una zona en la que saldría a superficie el posible vertido. De esa zona se seleccionaron 10 puntos para tener en cuenta un vertido en cada uno de ellos y así tener una mancha de lagrangianos desde la que poder calcular el peligro al

que estarían sometidos tanto la costa canaria como el parque natural de Red Natura 2000.

La llegada a la superficie del vertido se realiza en distintos tiempos. Primero llegan las partículas de fuel más disgregadas y finalmente las más agregadas. Es por ello, que para realizar las simulaciones en superficie, se tuvieron en cuenta los distintos tiempos de llegada a superficie. Para ello se seleccionó un distinto instante temporal en cada uno de esos 10 “vertidos superficiales”.

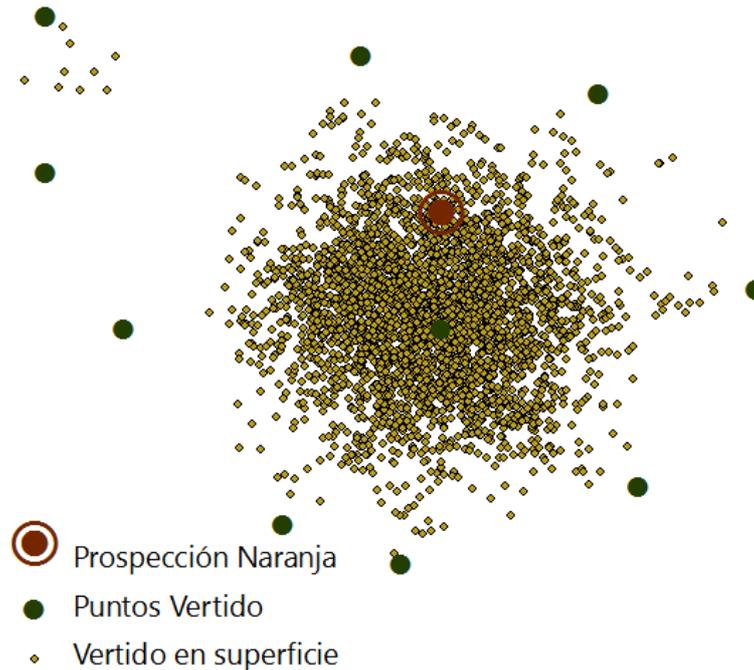


Fig A3.4.- Localización de los vertidos una vez alcanzada la superficie (puntos en marrón claro) frente a la posición del vertido inicial (punto rojo) y la posición desde donde se simuló el posterior comportamiento del vertido en superficie (puntos verdes)

Los vertidos salen en un radio de 1km alrededor del punto de vertido a excepción del caso del sondeo de Naranja en donde el derrame superficial ocupa unos 2km de radio. En todos los casos aparecen ligeramente desplazados hacia el sur.

A3.2.- RESULTADOS

A partir de los puntos de vertido seleccionados tras el análisis del vertido en profundidad se procedió a realizar la misma metodología que en el primer análisis.

Se consideraron los 5 clústers distintos que aparecen en Canarias tras la clasificación sinóptica. Se seleccionaron varios días de cada una de las situaciones tipo y en este caso se ejecutaron los modelos lagrangianos de simulación de la deriva de contaminantes con un horizonte temporal de 120h (5 días).

Se decidió ejecutar 120 horas porque tras el análisis de 72 horas apenas habría afectación en la costa canaria, sin embargo tras 120 h sí que la costa de las islas se veía afectada.

Además de calcular las probabilidades y tiempos medios y mínimos de llegada del vertido en el parque de Red Natura 2000, se calcularon para las islas de Lanzarote y Fuerteventura. En las siguientes tablas se muestran estos resultados.

Lo más destacado de estos resultados es comprobar que la isla de Lanzarote no se vería afectada por un vertido en el caso de que este se produzca en la Prospección Sandía lo mismo que si este se produjese en las otras dos localizaciones entre los meses de Marzo y Octubre. Los tiempos mínimos asociados a esta llegada de contaminantes en cualquiera de los casos supera las 72 horas y siempre con un % muy bajo.

En el caso de isla de Fuerteventura, debido a la mayor presencia de vientos de componente norte, la probabilidad de llegada del vertido es superior, llegando a superar el 15% en los meses de invierno en caso de un accidente en la Prospección Plátano con un tiempo medio de llegada entre los 3 y 4 días, aunque con un tiempo mínimo que podría llegar hasta las 48 horas, pero eso sí asociado a una probabilidad muy baja

| Lanzarote | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 2 | 72-96h | 72-96h | 2 |
| Enero | 7 | 72-96h | 72-96h | 7 |
| Febrero | 5 | 72-96h | 72-96h | 5 |
| Marzo | 3 | 72-96h | 72-96h | 3 |
| Abril | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Mayo | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Junio | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Julio | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Agosto | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Septiembre | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Octubre | 2 | 72-96h | 72-96h | 2 |
| Noviembre | 4 | 72-96h | 72-96h | 4 |
| Diciembre | 6 | 72-96h | 72-96h | 6 |

**Tabla A3.2a.- Probabilidades en cada mes en la isla de Lanzarote.
Prospección Naranja**

| Fuerteventura | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|---------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 9 | 96-120h | 96-120h | 9 |
| Enero | 11 | 96-120h | 96-120h | 11 |
| Febrero | 9 | 96-120h | 96-120h | 9 |
| Marzo | 9 | 96-120h | 96-120h | 9 |
| Abril | 7 | 96-120h | 96-120h | 7 |
| Mayo | 5 | 96-120h | 96-120h | 5 |
| Junio | 6 | 96-120h | 96-120h | 6 |
| Julio | 6 | 96-120h | 96-120h | 6 |
| Agosto | 8 | 96-120h | 96-120h | 8 |
| Septiembre | 9 | 96-120h | 96-120h | 9 |
| Octubre | 11 | 96-120h | 96-120h | 11 |
| Noviembre | 11 | 96-120h | 96-120h | 11 |
| Diciembre | 11 | 96-120h | 96-120h | 11 |

**Tabla A3.2b.- Probabilidades en cada mes en la isla de Fuerteventura.
Prospección Naranja**

| Lanzarote | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 2 | 72-96h | 72-96h | 2 |
| Enero | 7 | 72-96h | 72-96h | 7 |
| Febrero | 5 | 72-96h | 72-96h | 5 |
| Marzo | 3 | 72-96h | 72-96h | 3 |
| Abril | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Mayo | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Junio | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Julio | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Agosto | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Septiembre | 1 | 72-96h | 72-96h | 1 |
| Octubre | 2 | 72-96h | 72-96h | 2 |
| Noviembre | 4 | 72-96h | 72-96h | 4 |
| Diciembre | 6 | 72-96h | 72-96h | 6 |

**Tabla A3.3a.- Probabilidades en cada mes en la isla de Lanzarote.
Prospección Plátano**

| Fuerteventura | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|---------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 10 | 72-96h | 48-60h | 0.3 |
| Enero | 16 | 72-96h | 48-60h | 0.4 |
| Febrero | 14 | 72-96h | 48-60h | 0.4 |
| Marzo | 11 | 72-96h | 48-60h | 0.3 |
| Abril | 7 | 72-96h | 48-60h | 0.2 |
| Mayo | 6 | 72-96h | 48-60h | 0.1 |
| Junio | 6 | 72-96h | 48-60h | 0.1 |
| Julio | 1 | 96-120h | 72-96h | 0.7 |
| Agosto | 3 | 96-120h | 48-60h | 0.1 |
| Septiembre | 9 | 72-96h | 48-60h | 0.3 |
| Octubre | 12 | 72-96h | 48-60h | 0.4 |
| Noviembre | 16 | 72-96h | 48-60h | 0.5 |
| Diciembre | 15 | 72-96h | 48-60h | 0.4 |

**Tabla A3.3b.- Probabilidades en cada mes en la isla de Fuerteventura.
Prospección Plátano**

| Lanzarote | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Enero | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Febrero | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Marzo | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Abril | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Mayo | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Junio | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Julio | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Agosto | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Septiembre | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Octubre | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Noviembre | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Diciembre | 0 | > 120h | > 120h | 100 |

**Tabla A3.4a.- Probabilidades en cada mes en la isla de Lanzarote.
Prospección Sandía**

| Fuerteventura | % de llegada | T. Medio | T. Mínimo | % T. Mínimo |
|---------------|--------------|----------|-----------|-------------|
| Anual | 5 | 60-72h | 48-60h | 2 |
| Enero | 11 | 60-72h | 48-60h | 7 |
| Febrero | 9 | 60-72h | 48-60h | 5 |
| Marzo | 6 | 60-72h | 48-60h | 3 |
| Abril | 3 | 60-72h | 48-60h | 1 |
| Mayo | 2 | 60-72h | 48-60h | 1 |
| Junio | 2 | 60-72h | 48-60h | 1 |
| Julio | 0 | > 120h | > 120h | 100 |
| Agosto | 1 | 96-120h | 96-120h | 1 |
| Septiembre | 4 | 60-72h | 48-60h | 1 |
| Octubre | 6 | 60-72h | 48-60h | 2 |
| Noviembre | 9 | 60-72h | 48-60h | 4 |
| Diciembre | 10 | 60-72h | 48-60h | 6 |

**Tabla A3.4b.- Probabilidades en cada mes en la isla de Fuerteventura.
Prospección Sandía**

Todos los resultados en el parque de Red Natura 2000 se muestran en el apartado 3 de este anexo separados por meses. A continuación se mostrarán los resultados para el promedio anual de las 4 variables en caso de accidente en cada una de las prospecciones.

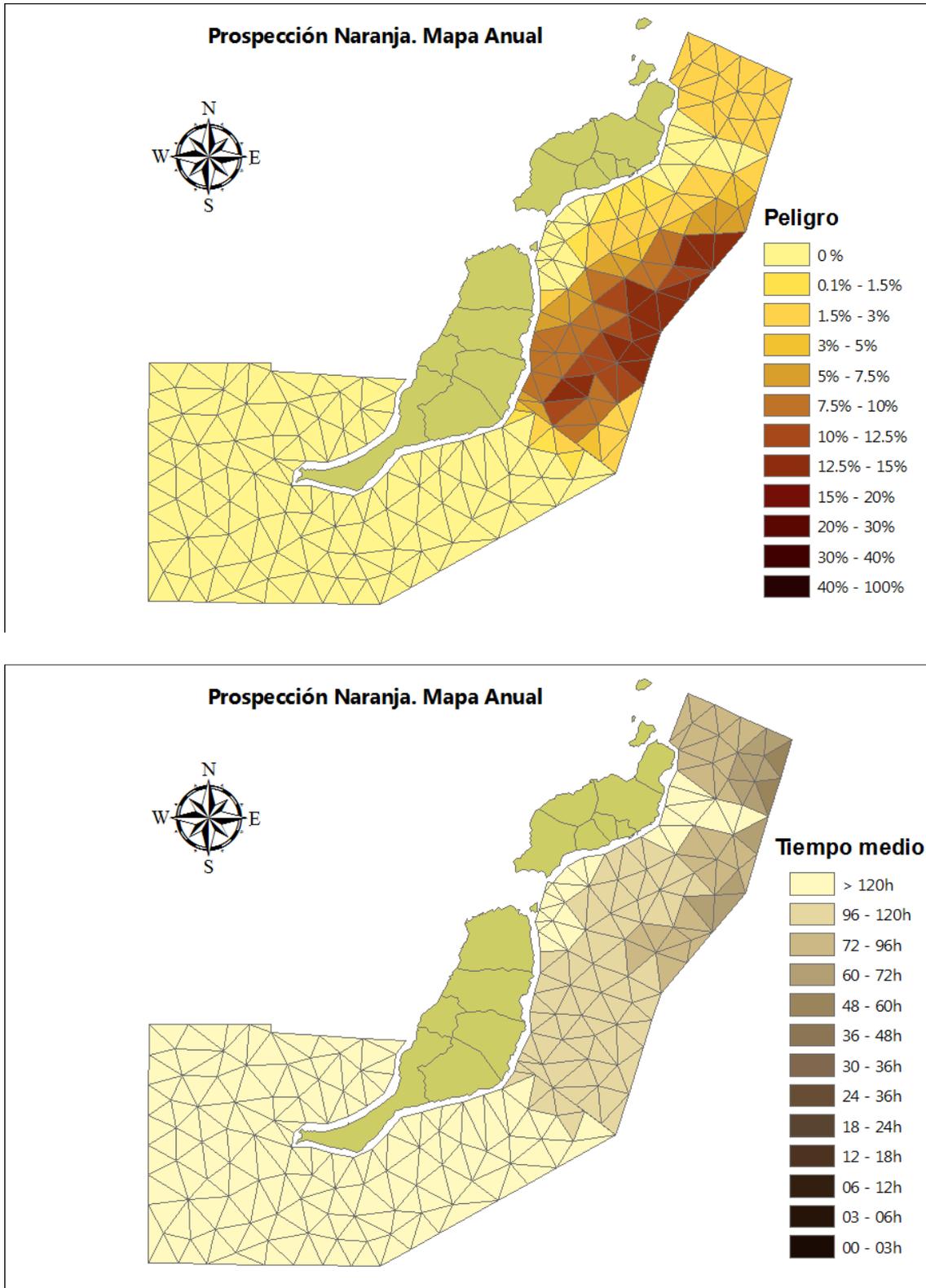


Fig. A3.5a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo

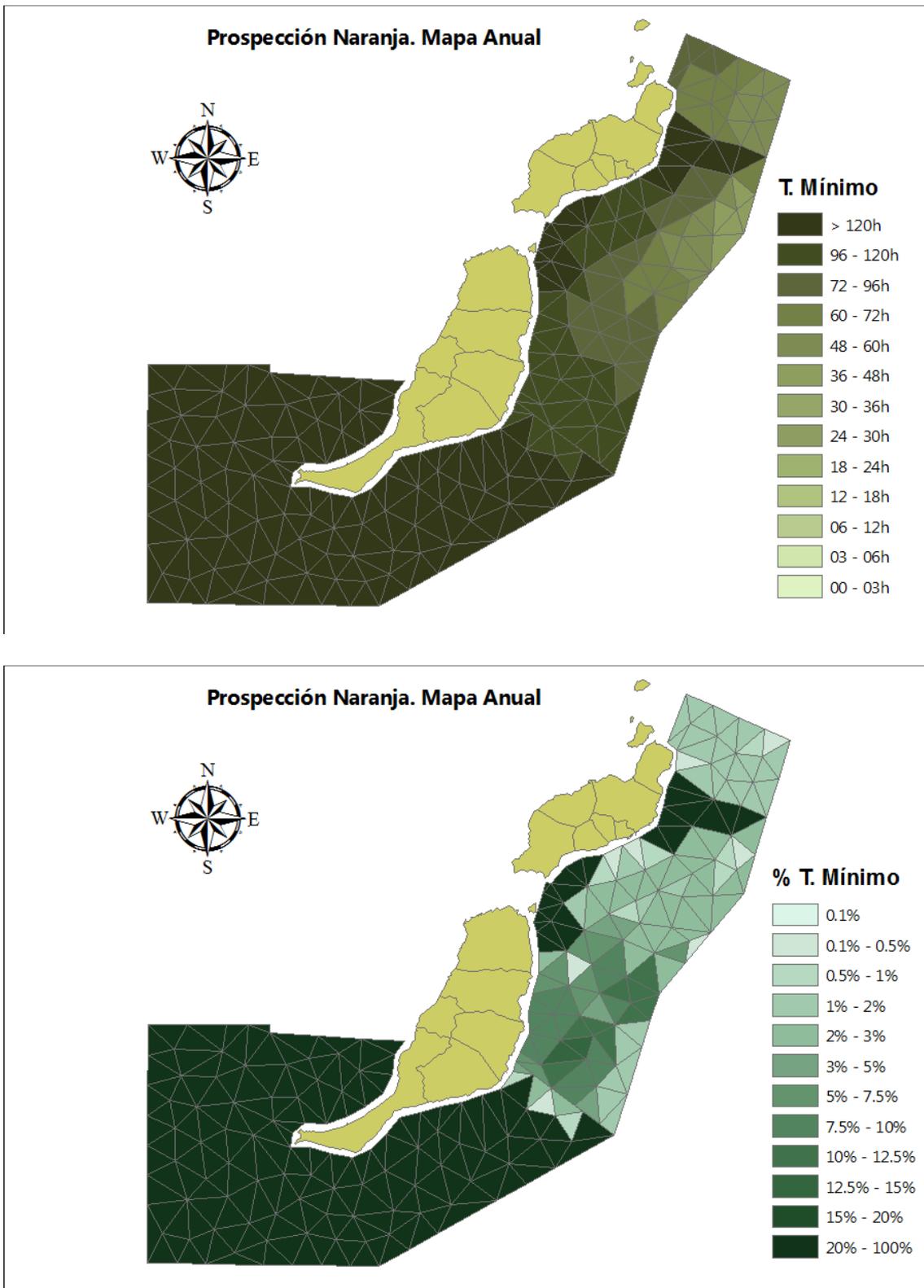


Fig. A3.5b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de

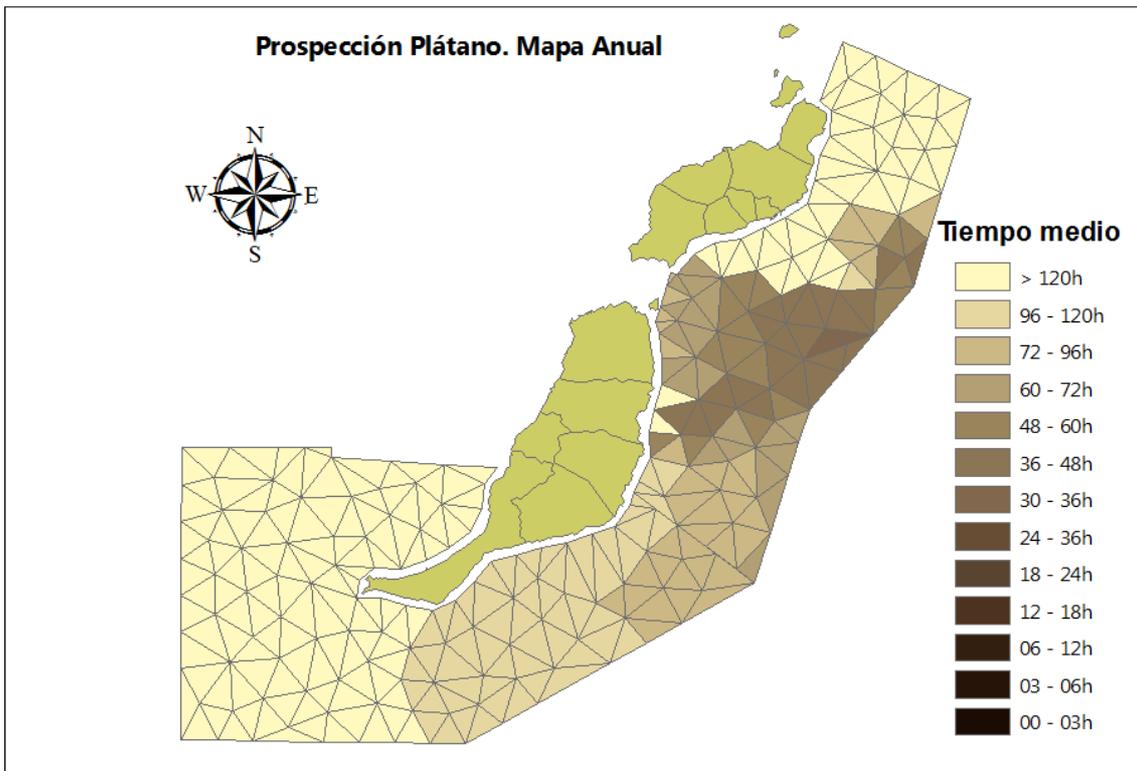
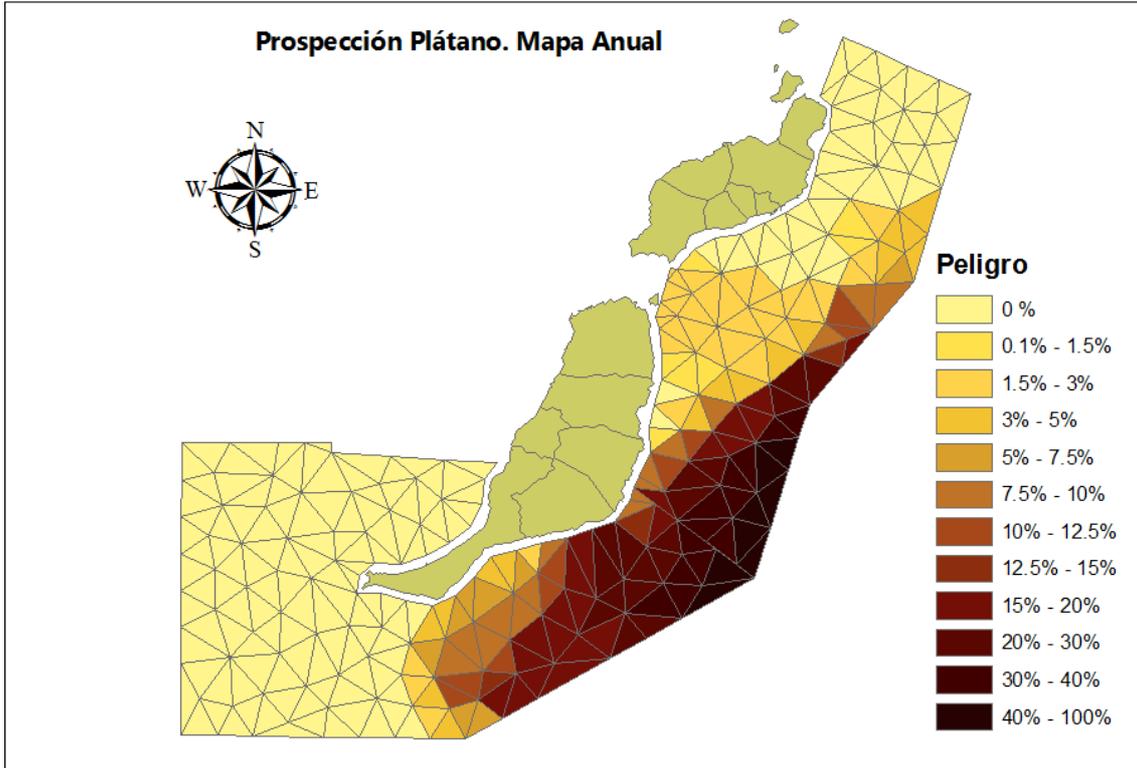


Fig. A3.6a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

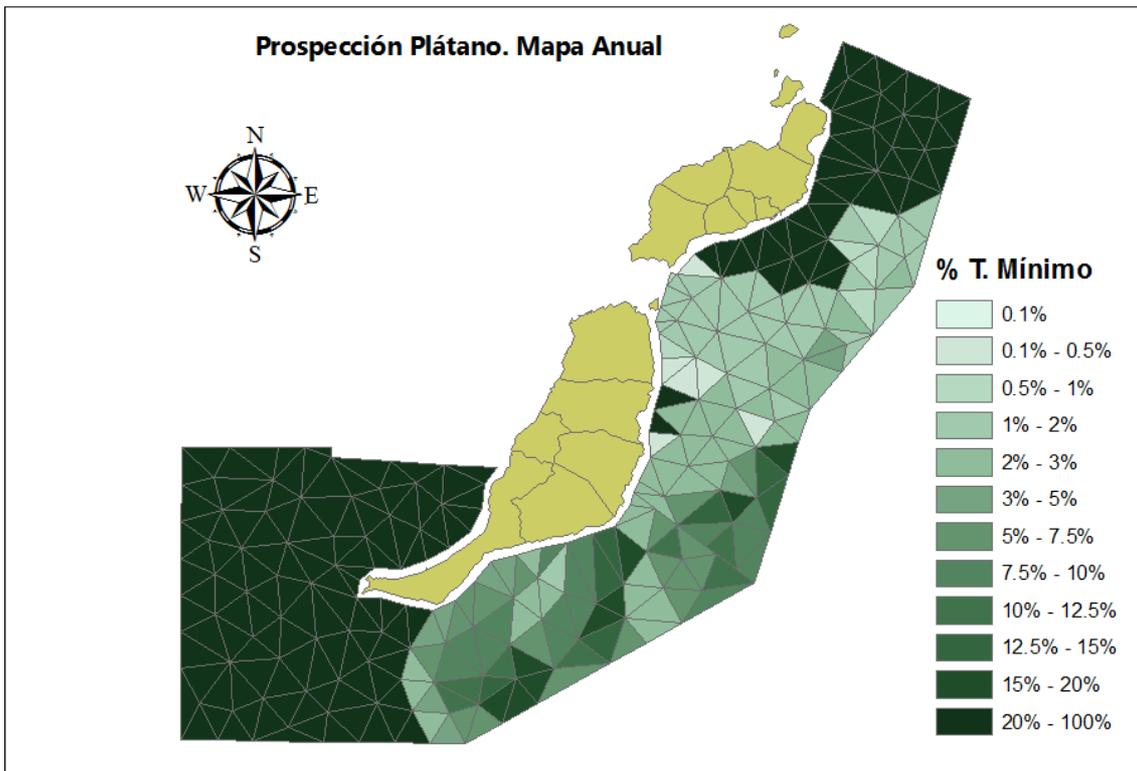
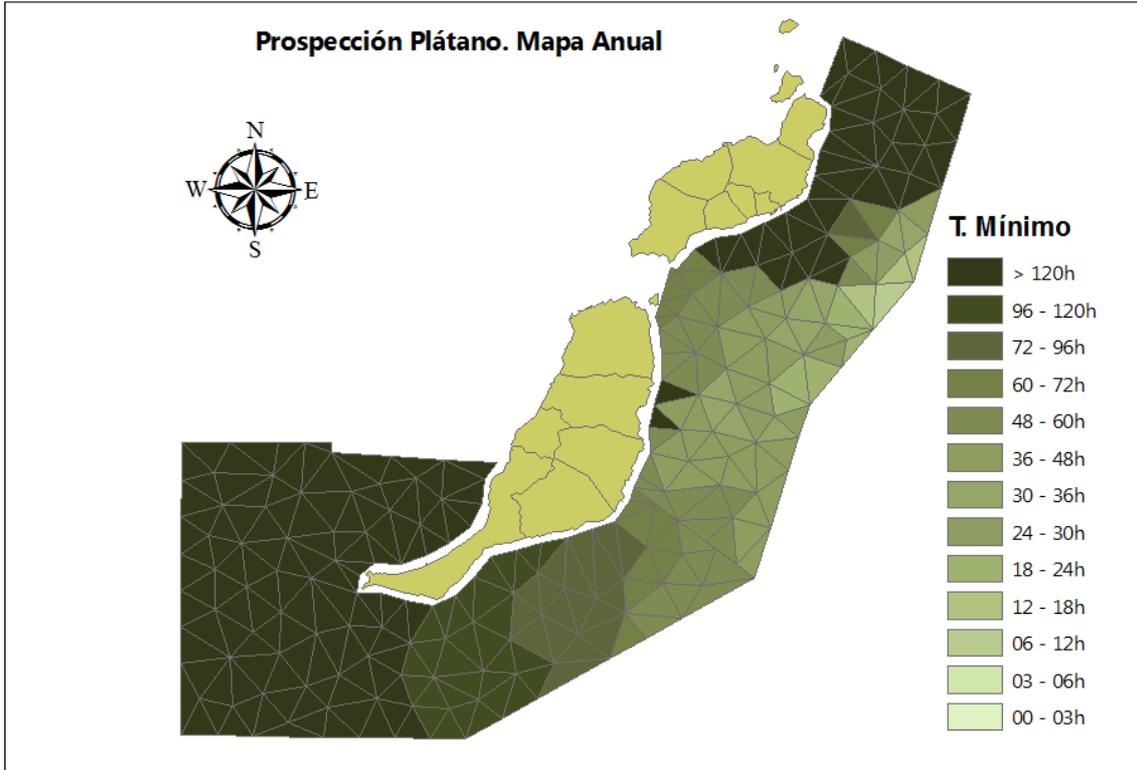


Fig. A3.6b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

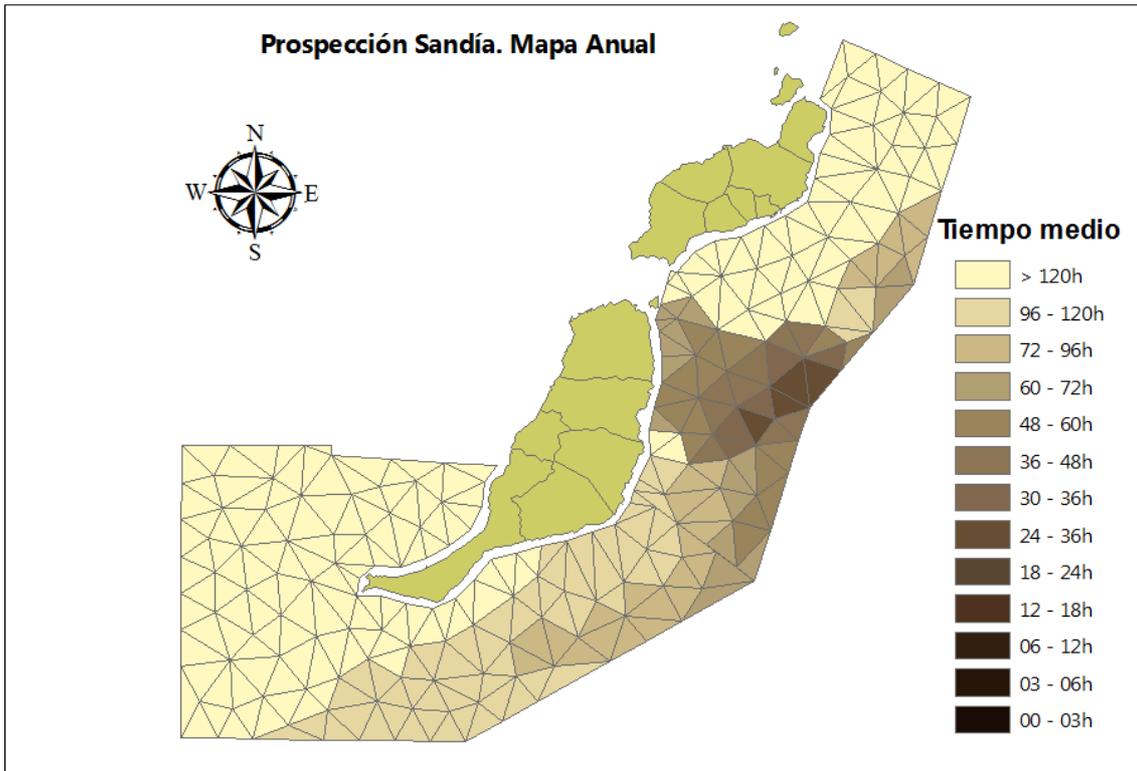
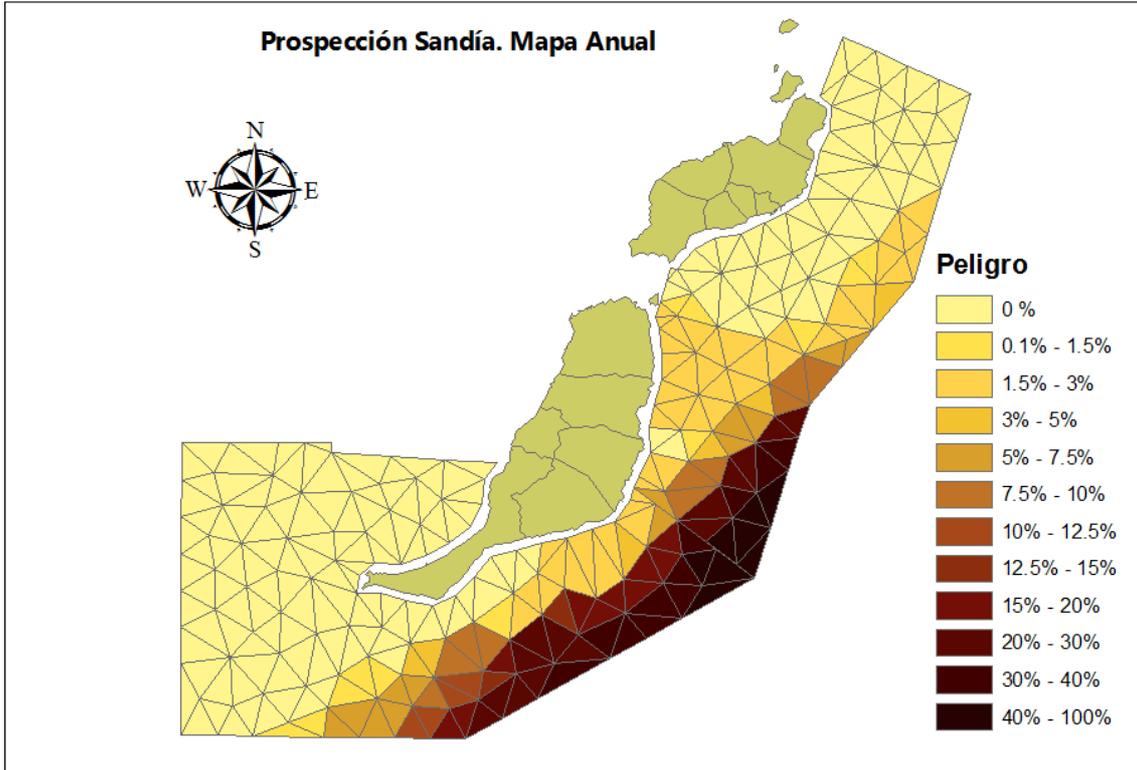


Fig. A3.7a.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada de un vertido y del tiempo medio en el que llegaría.

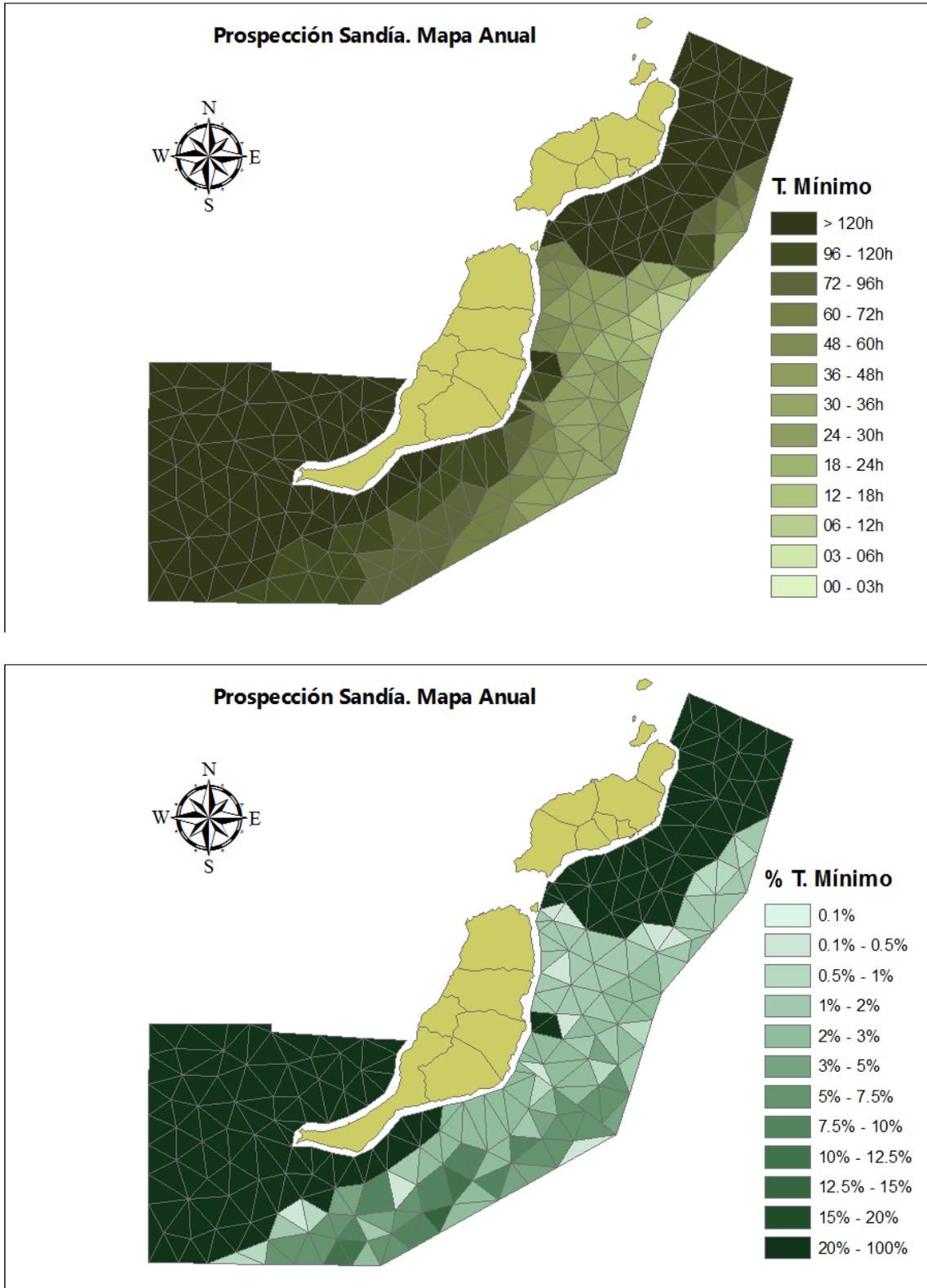


Fig. A3.7b.- Mapas anuales de la probabilidad de llegada en un tiempo mínimo y de ese tiempo mínimo

De estos resultados se puede concluir que el Sur de Lanzarote estaría libre de la llegada de un vertido en los primeros 5 días tras el accidente en cualquiera de las prospecciones seleccionadas. El

norte de Lanzarote solo se vería afectado en caso de que el vertido se produjese en la Prospección Naranja.

En todos los casos la costa este de los ayuntamientos de La Oliva, Puerto del Rosario, Antigua y Tuineje serían la que más probabilidades tendría de recibir un posible vertido en cualquiera de las prospecciones,

En el caso de un accidente en las Prospecciones Sandía o Plátano, el parque de Red Natura 2000 tendría, en promedio anual, hasta un 50% de probabilidades de que llegase a sus aguas uno de estos vertidos, quedándose este peligro en un 15% en el caso de ocurrir el accidente en la Prospección Plátano.

En el análisis de probabilidades pormenorizado por meses, que se muestra en el siguiente apartado, se observa claramente la diferencia entre un accidente en verano o en invierno en cuanto a la afectación en las proximidades de la costa, mientras que en el extremo este del parque el peligro es similar en cualquier mes del año. Esto es debido a la presencia más constante a lo largo del año de los vientos del Norte – Nordeste y a la gran diferencia entre el invierno y el verano en cuanto a los vientos del Este – Sudeste.

A3.3.- ANÁLISIS DE LAS PROBABILIDADES

1.- Prospección Naranja

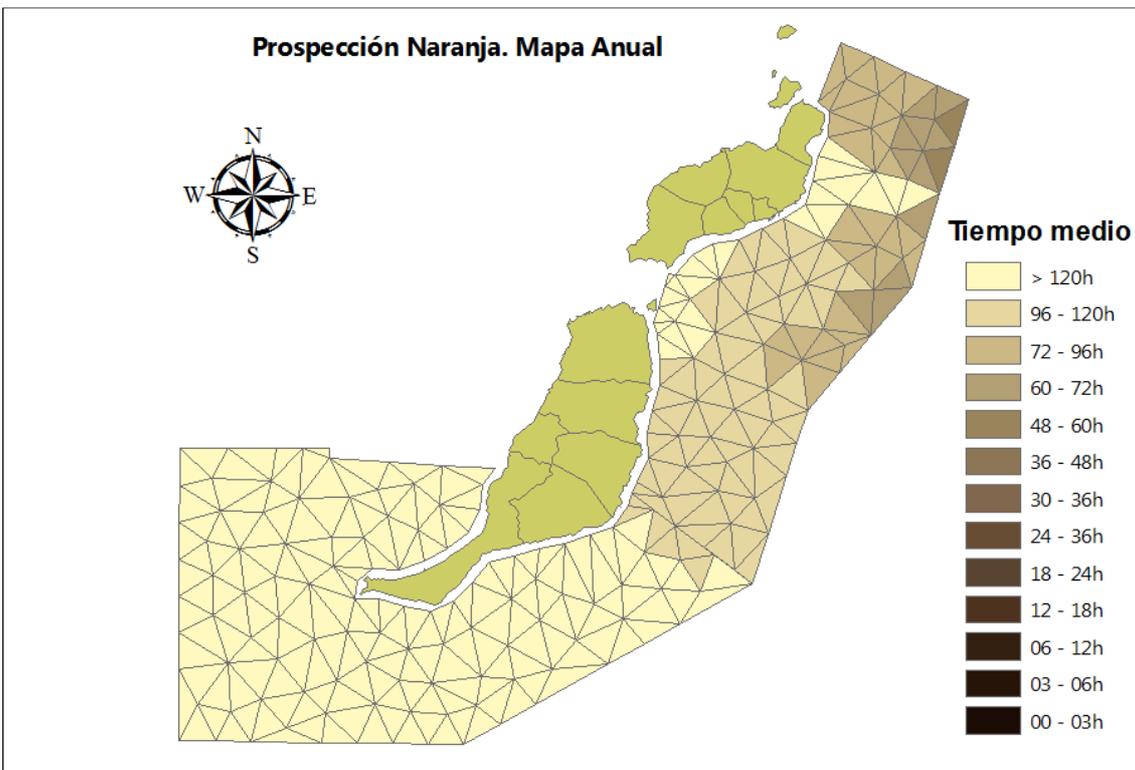
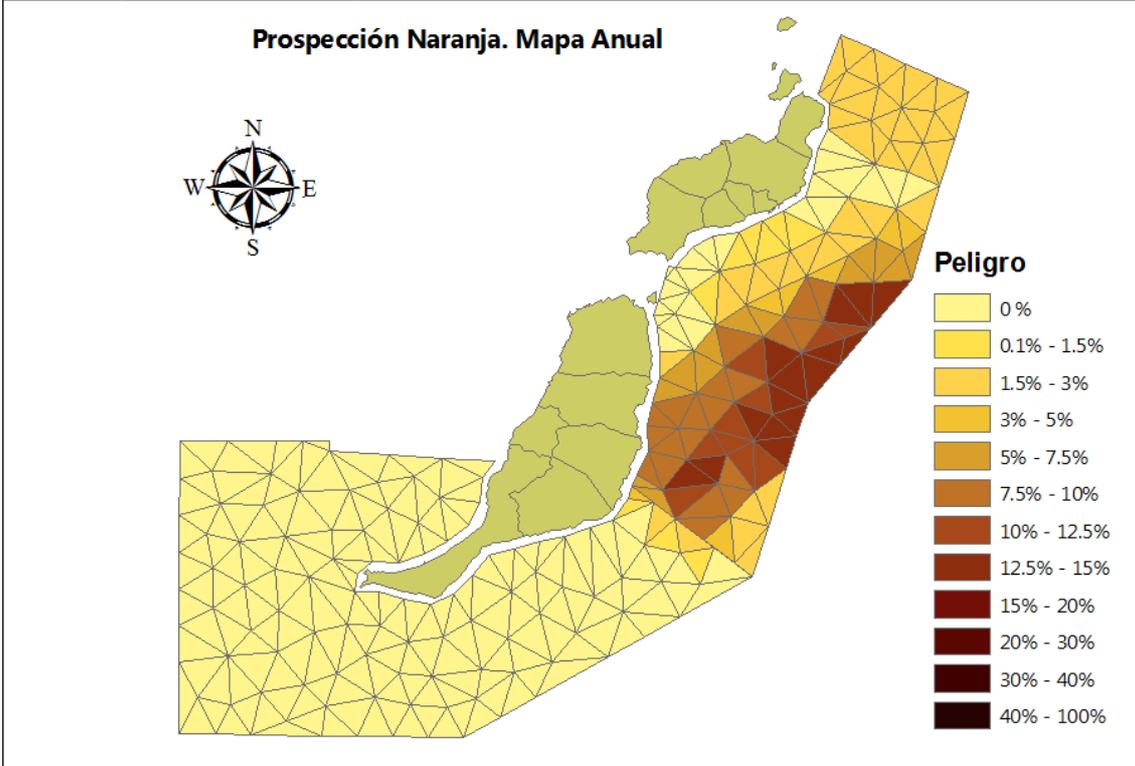


Fig A3.1.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

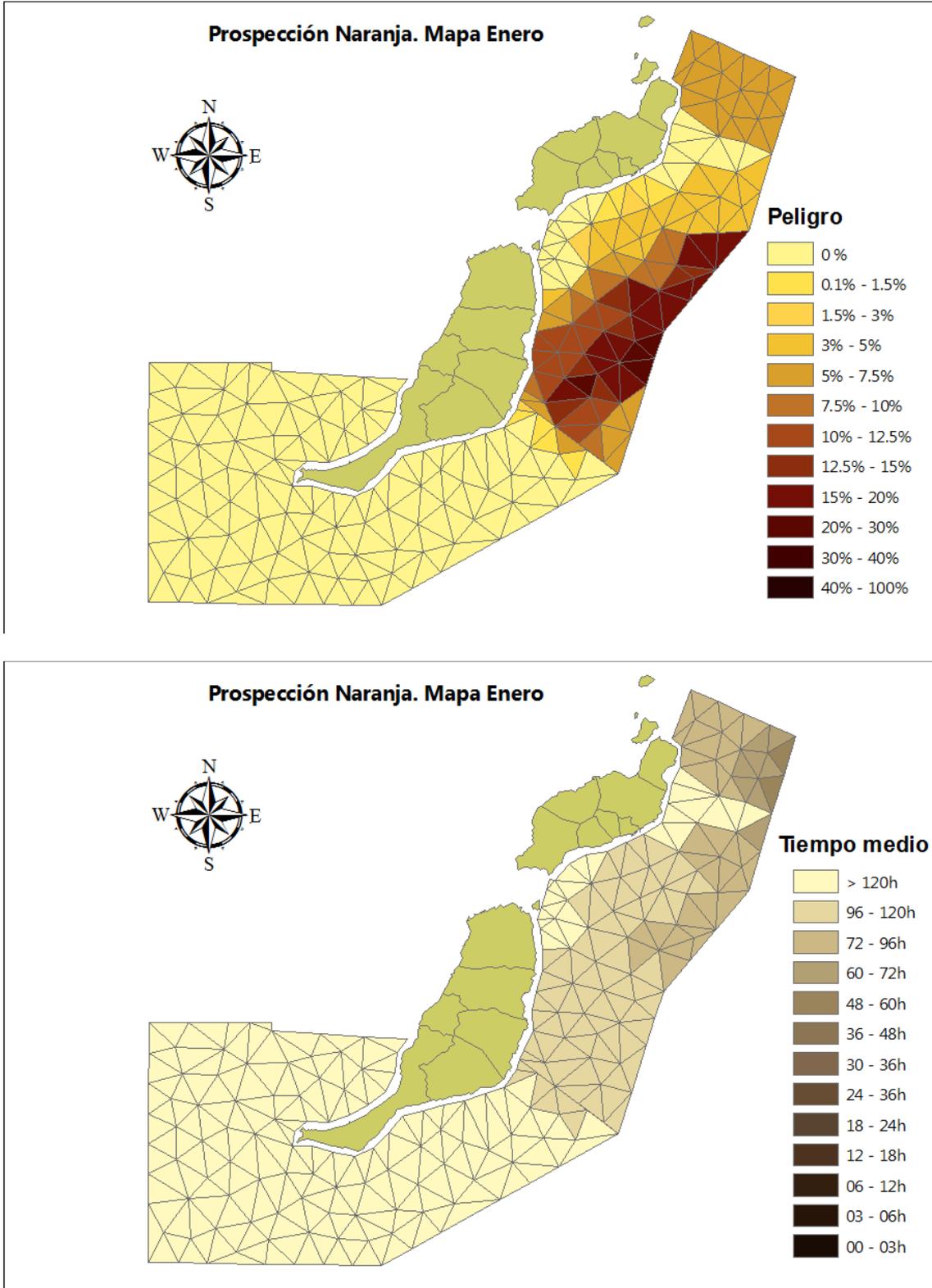
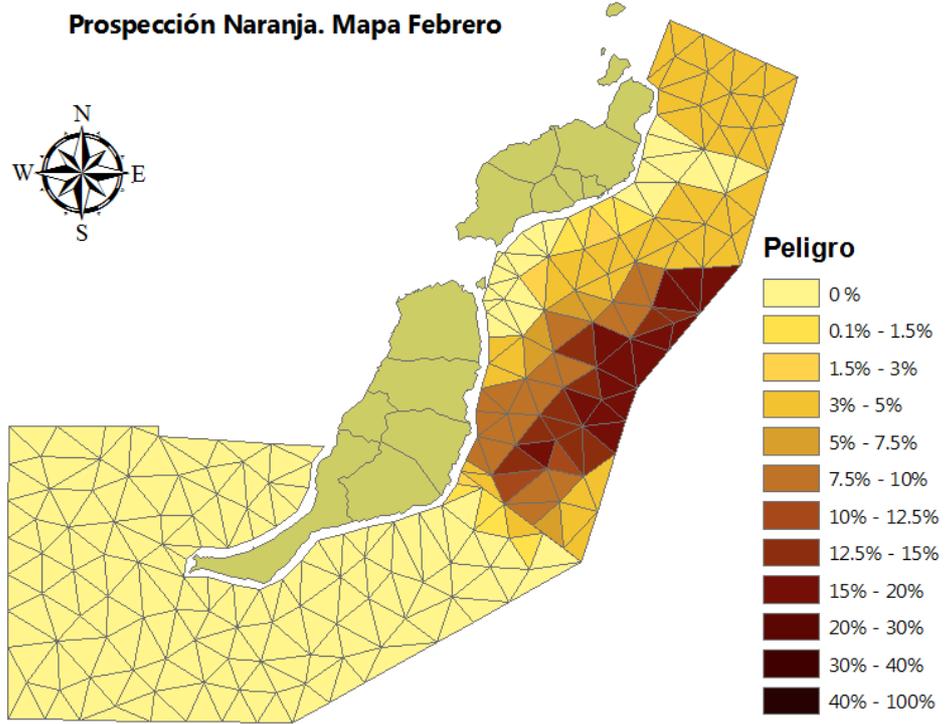
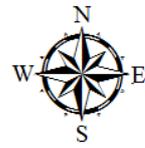


Fig A3.1.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

Prospección Naranja. Mapa Febrero



Prospección Naranja. Mapa Febrero

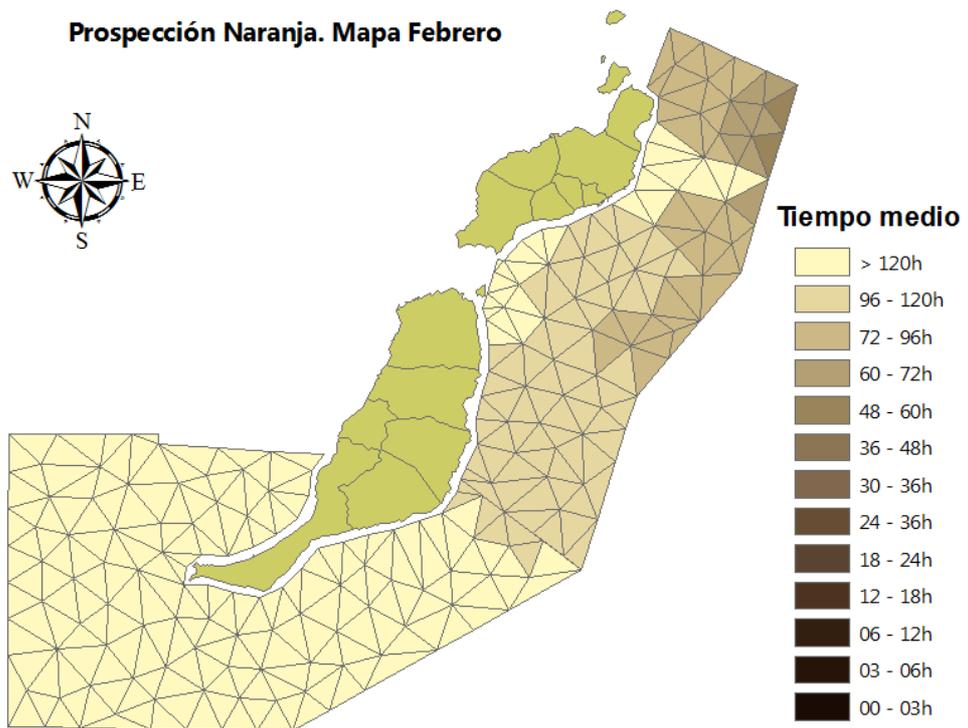
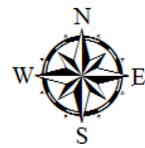


Fig A3.1.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

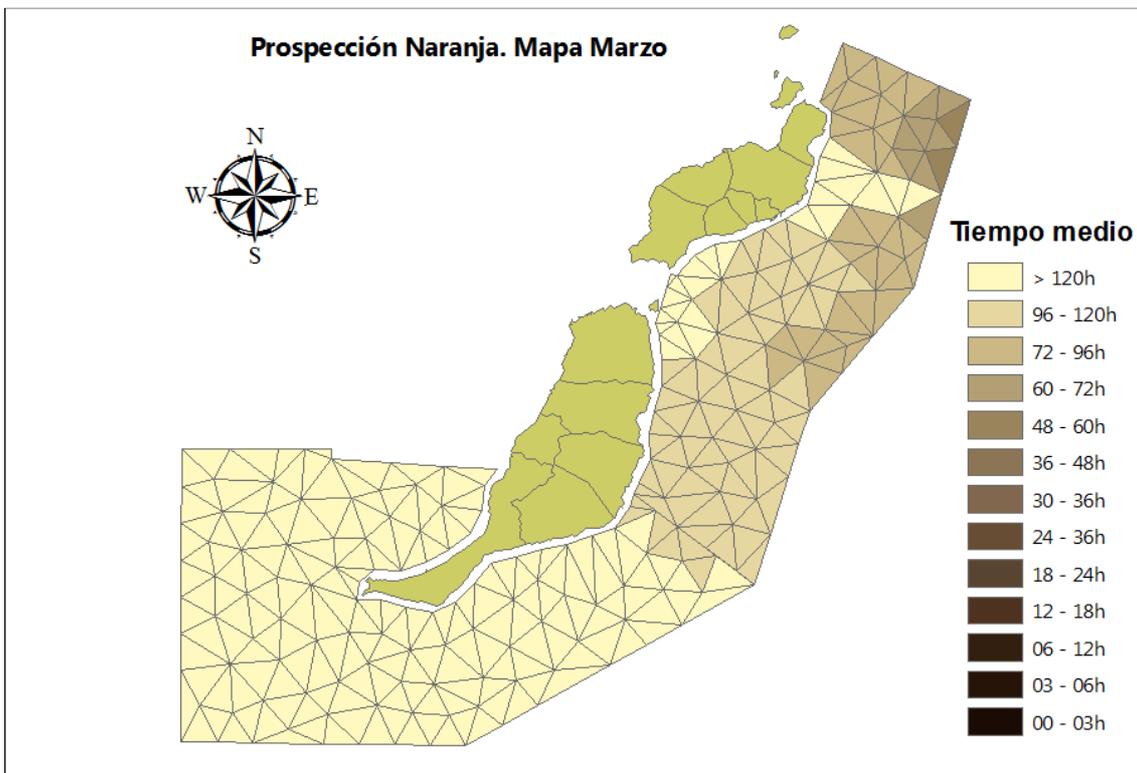
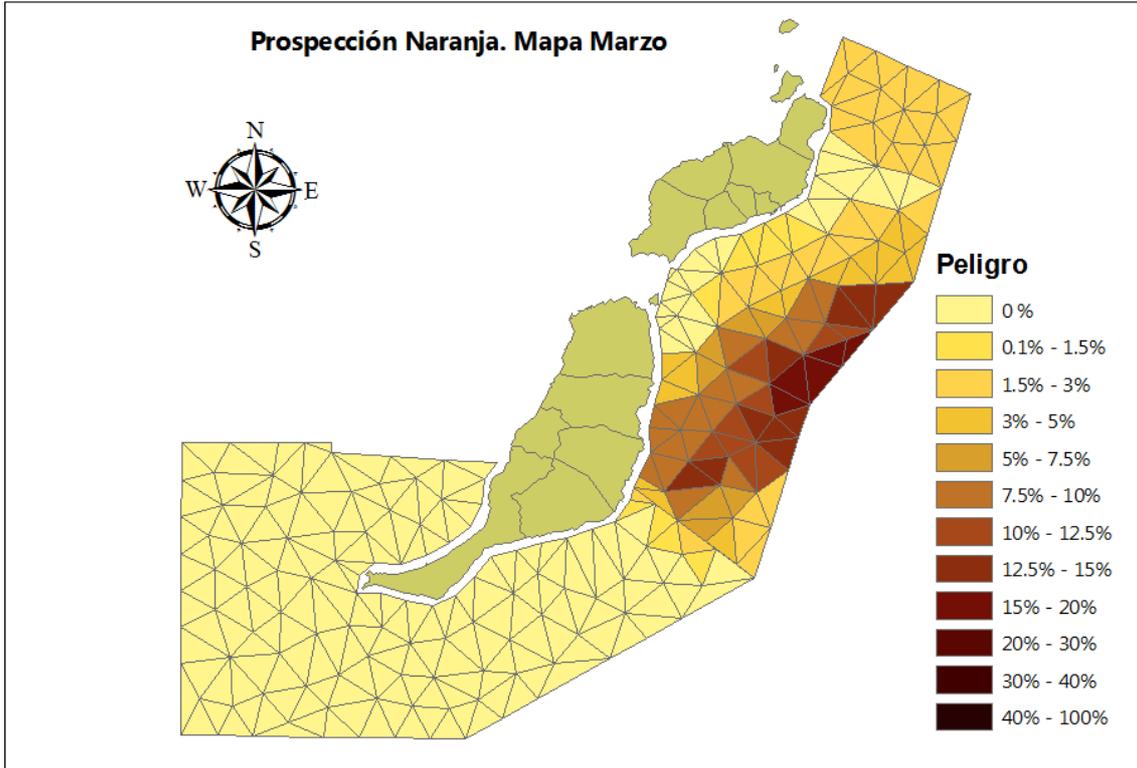


Fig A3.1.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

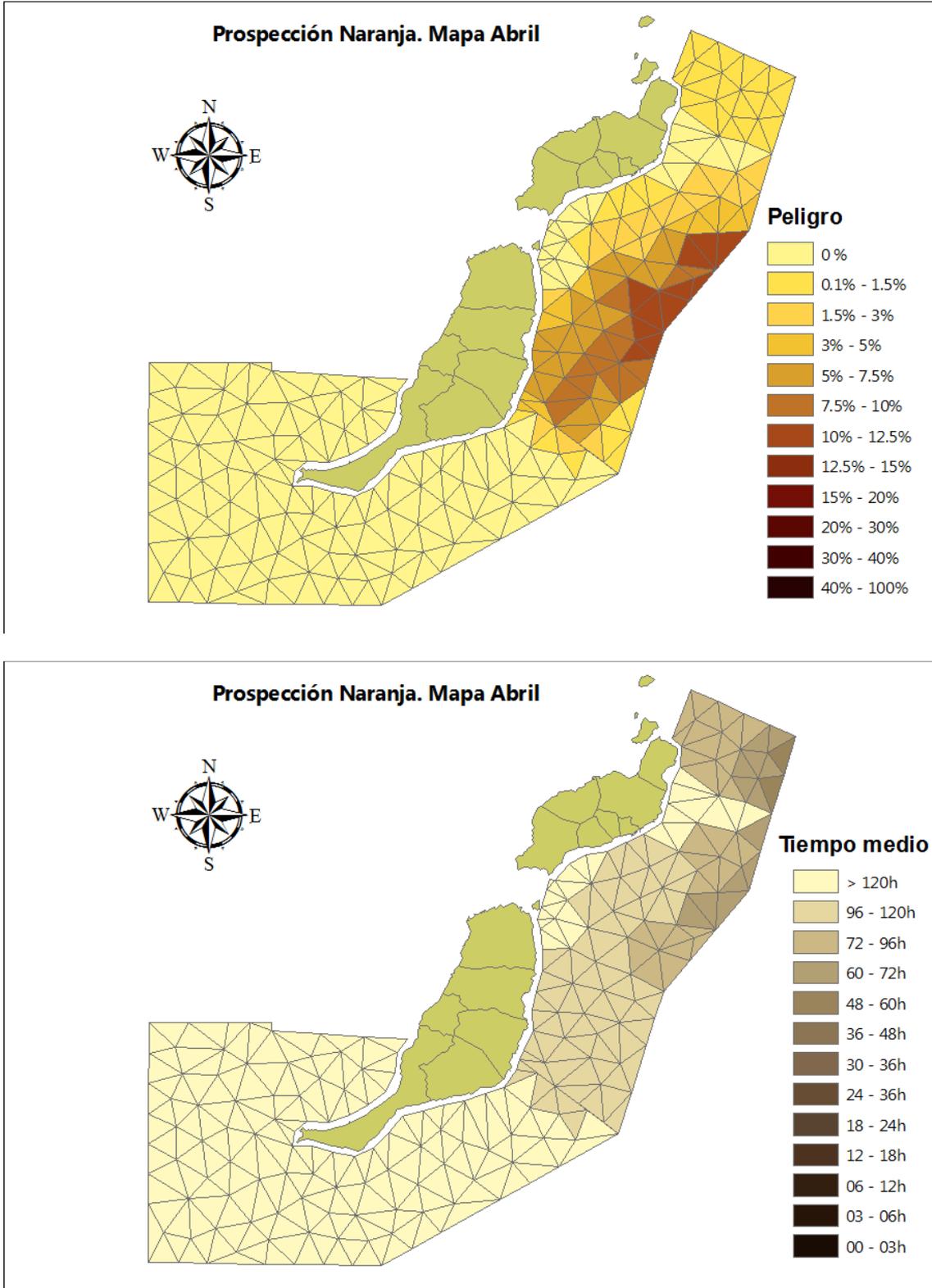


Fig A3.1.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

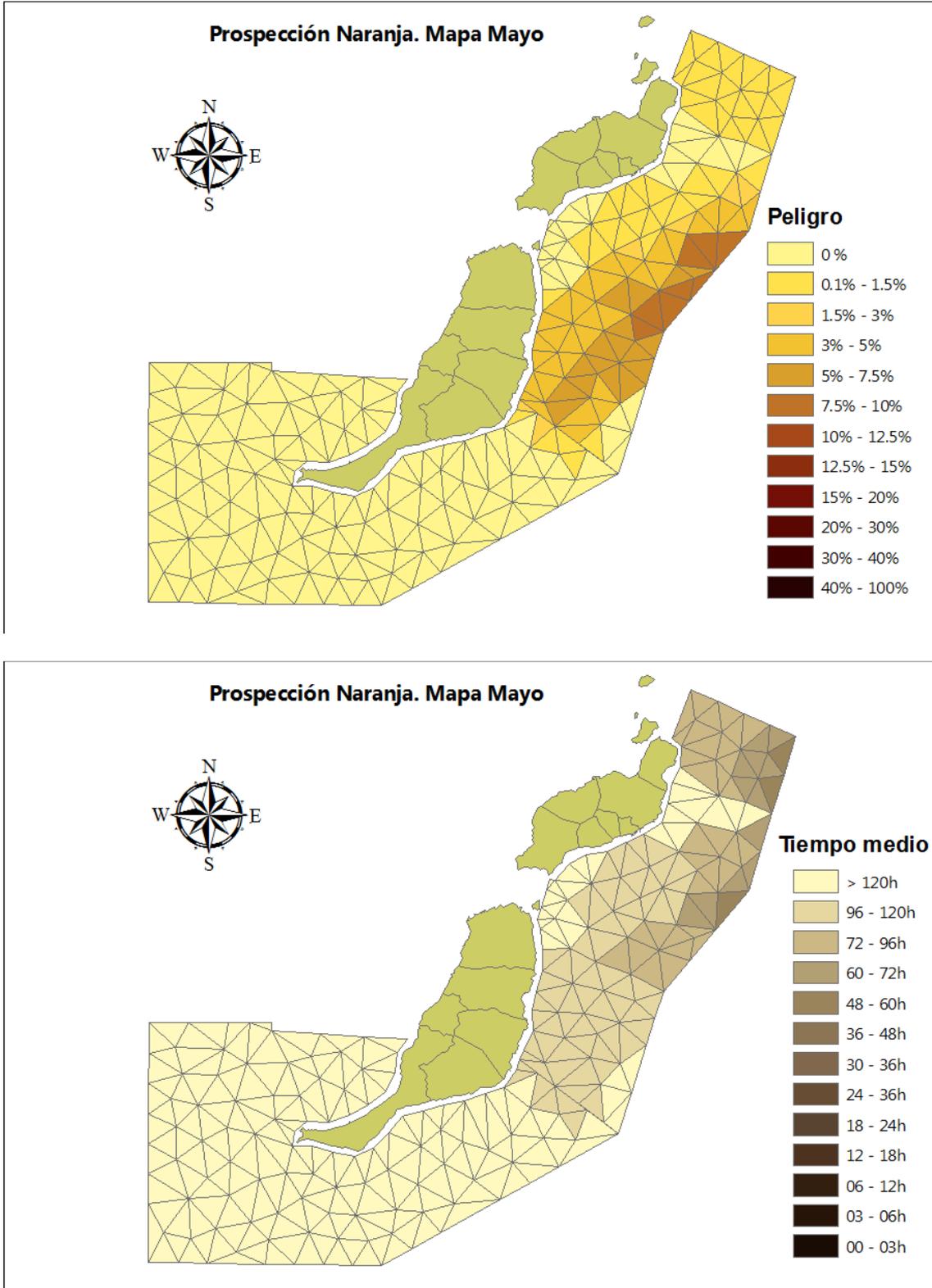


Fig A3.1.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

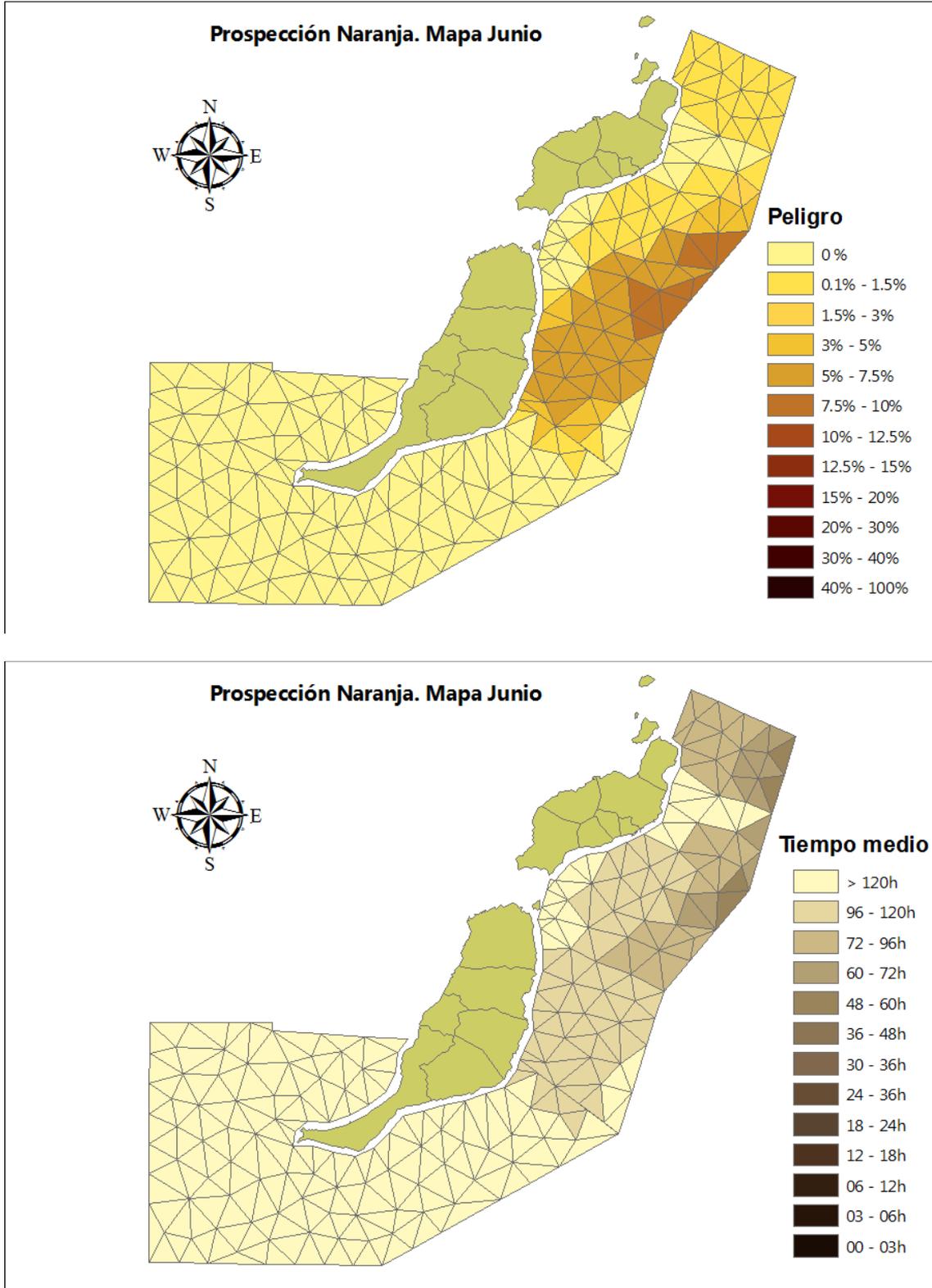


Fig A3.1.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

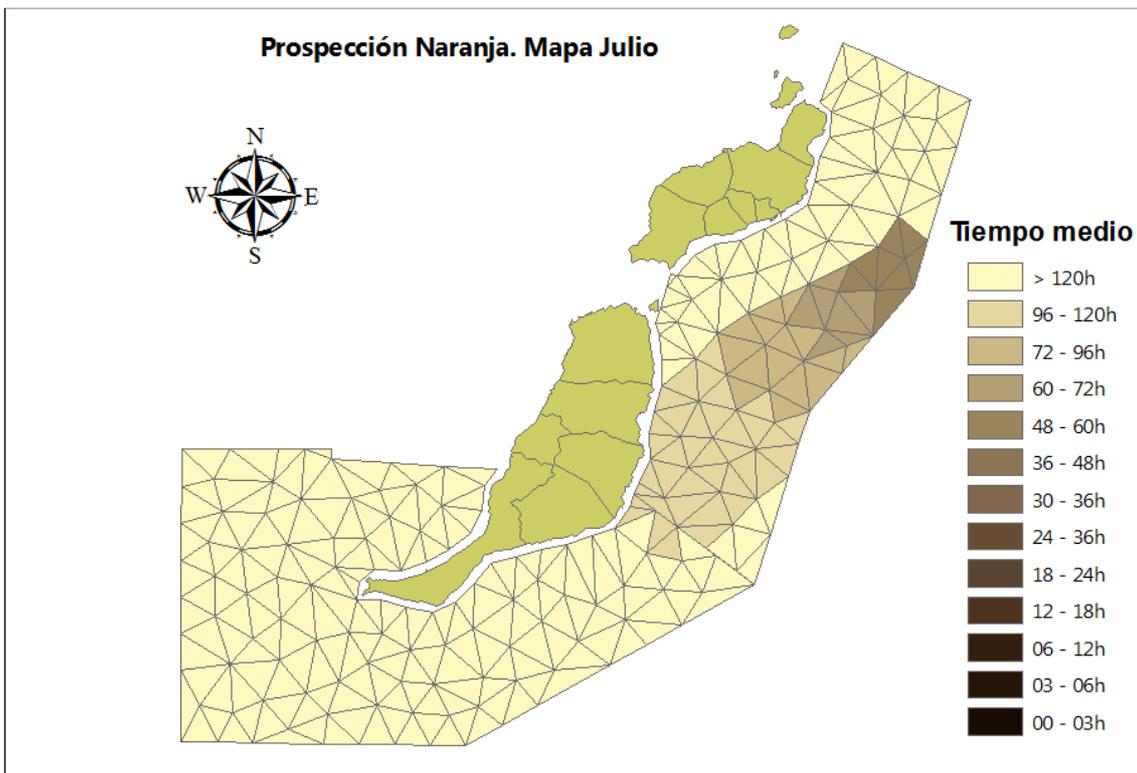
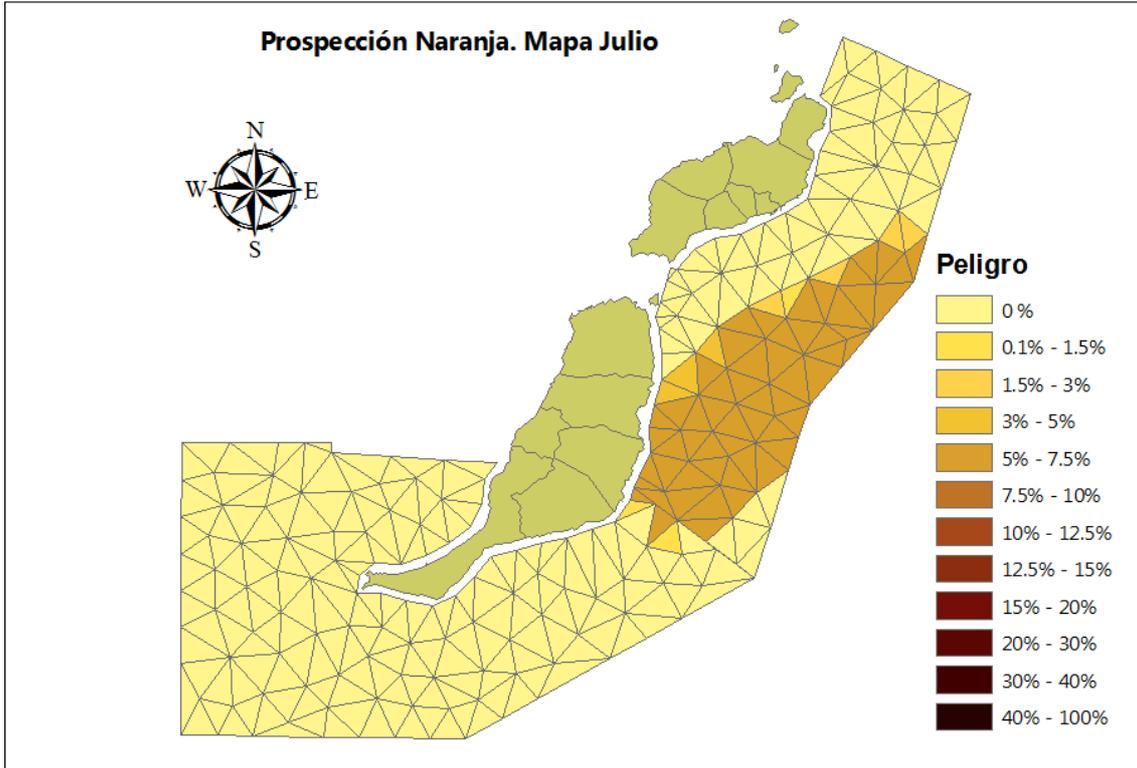


Fig A3.1.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

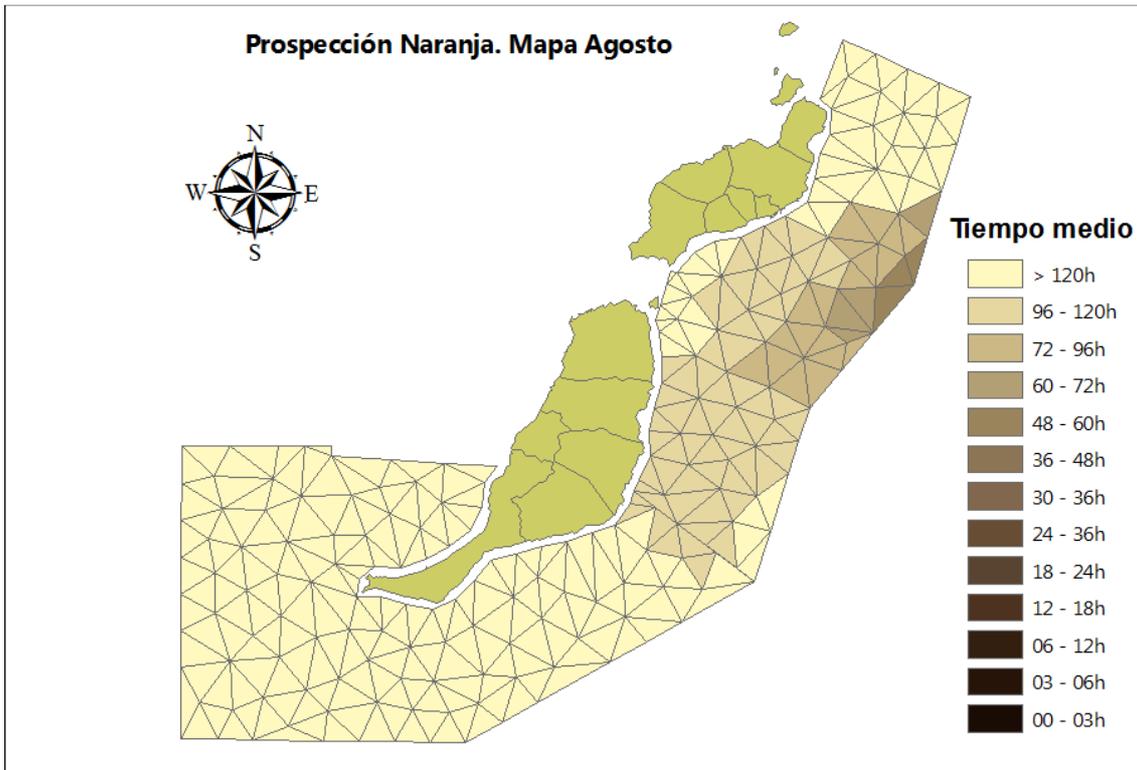
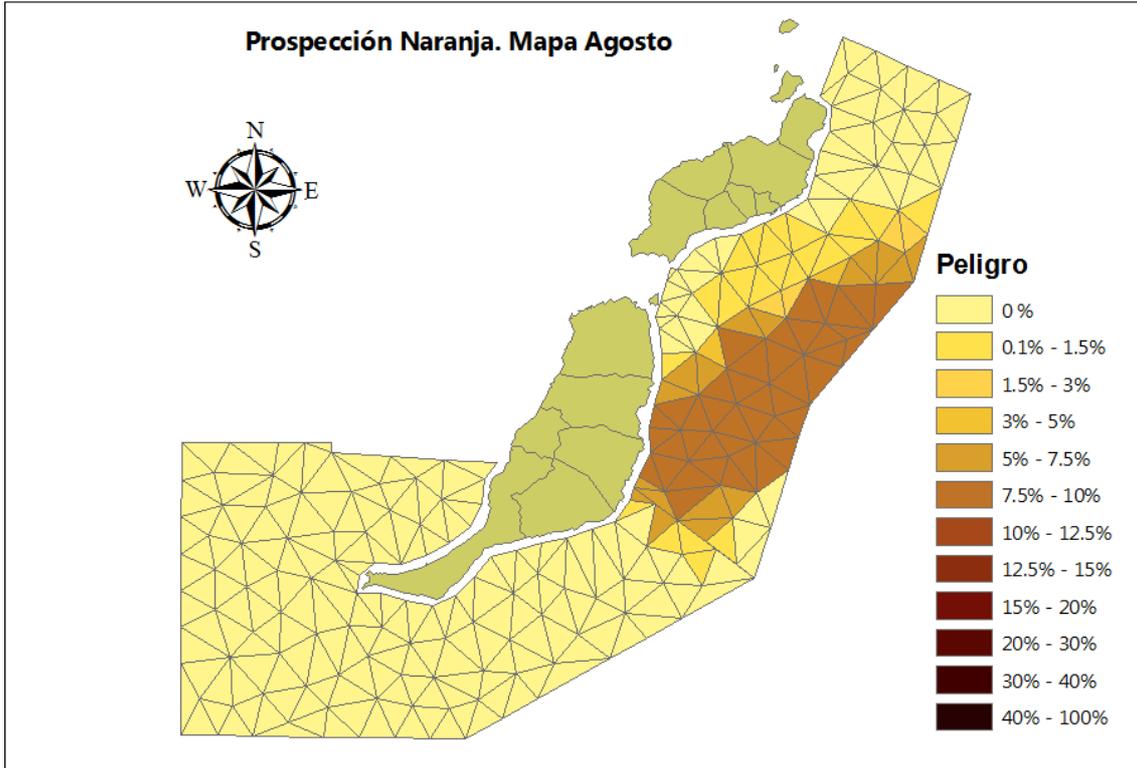


Fig A3.1.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

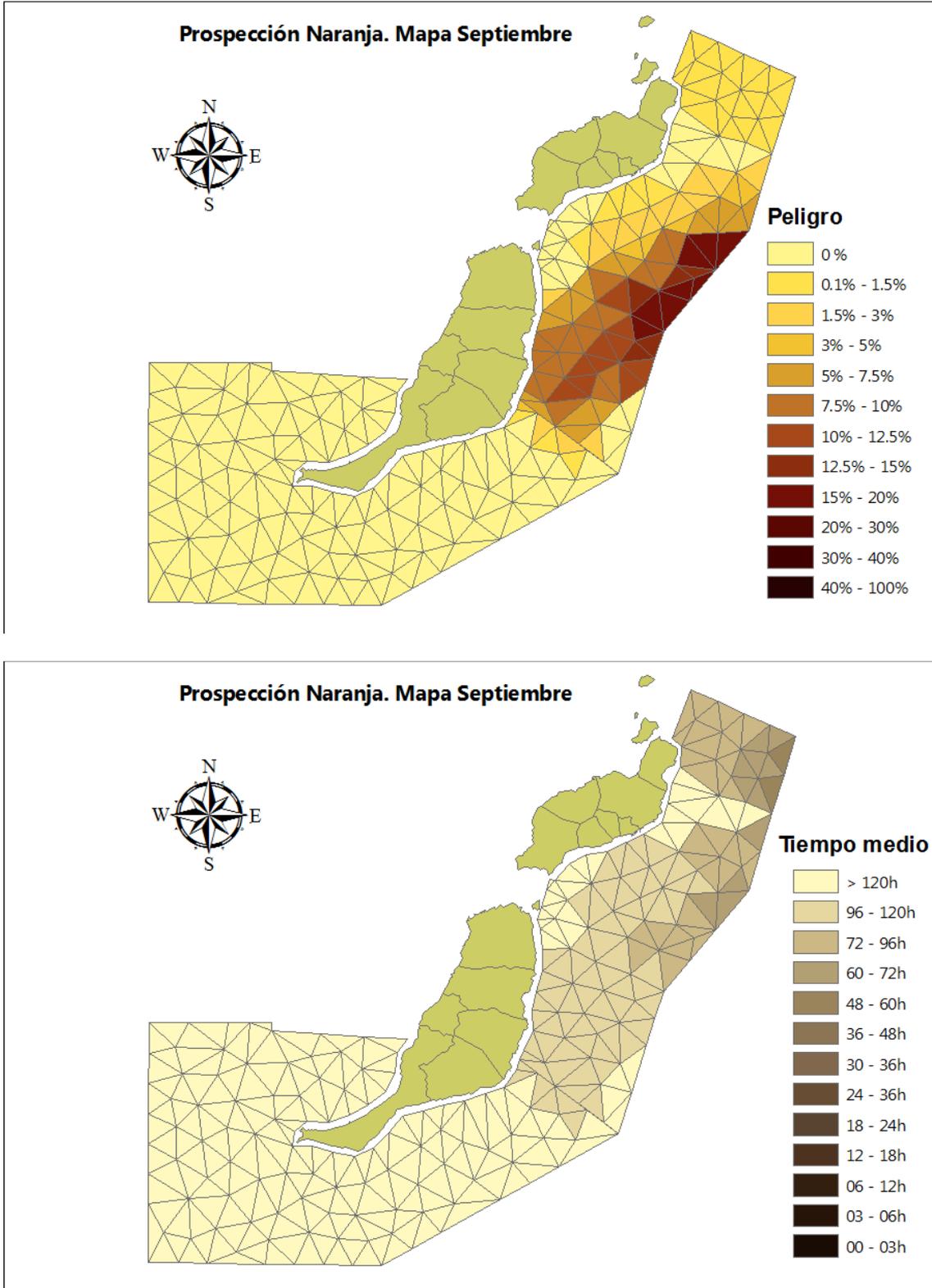


Fig A3.1.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

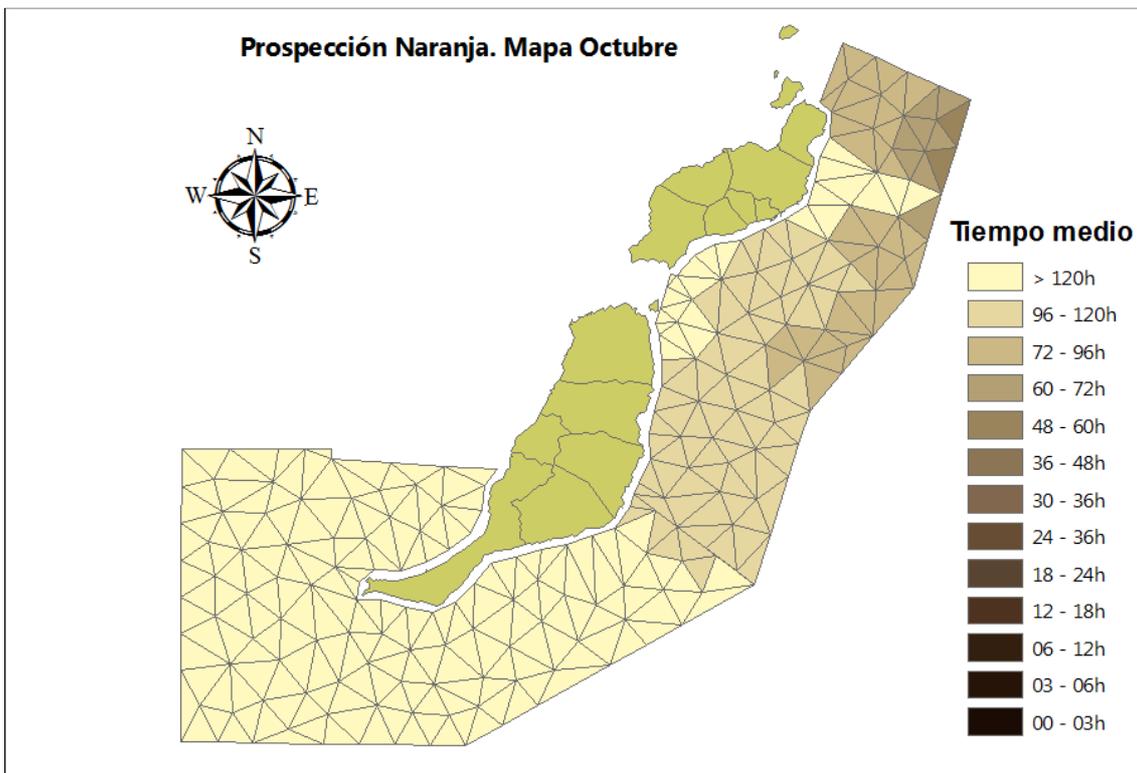
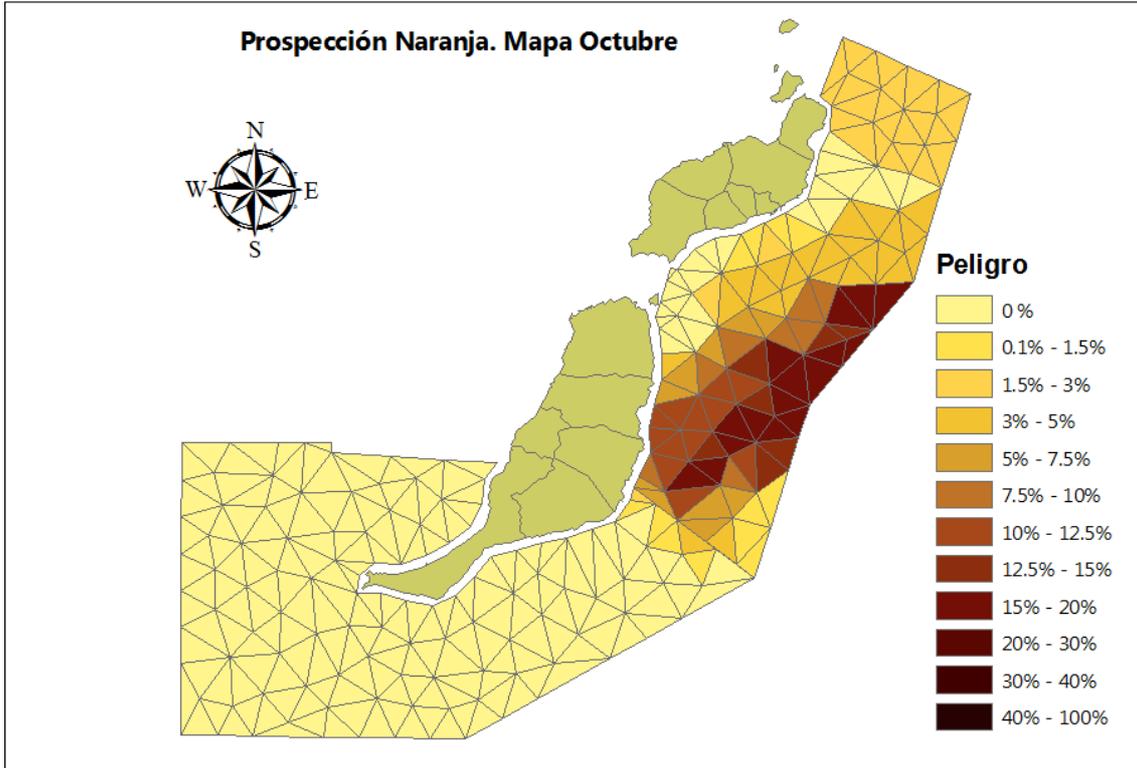


Fig A3.1.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

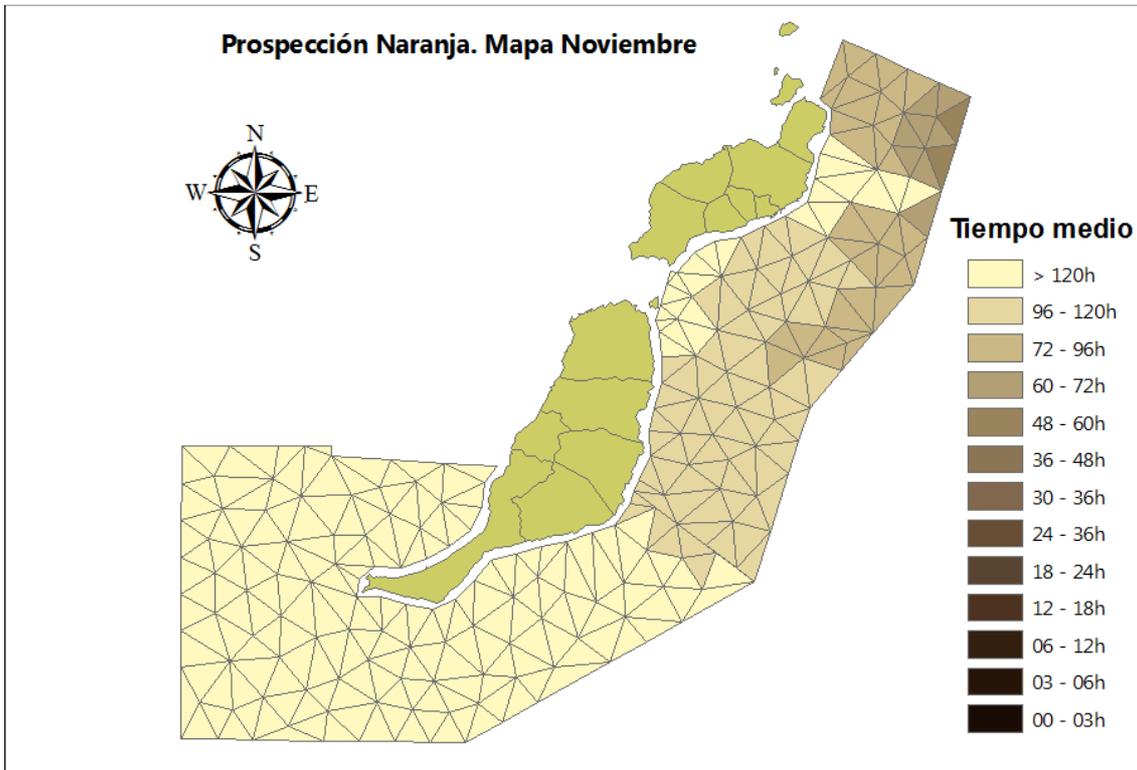
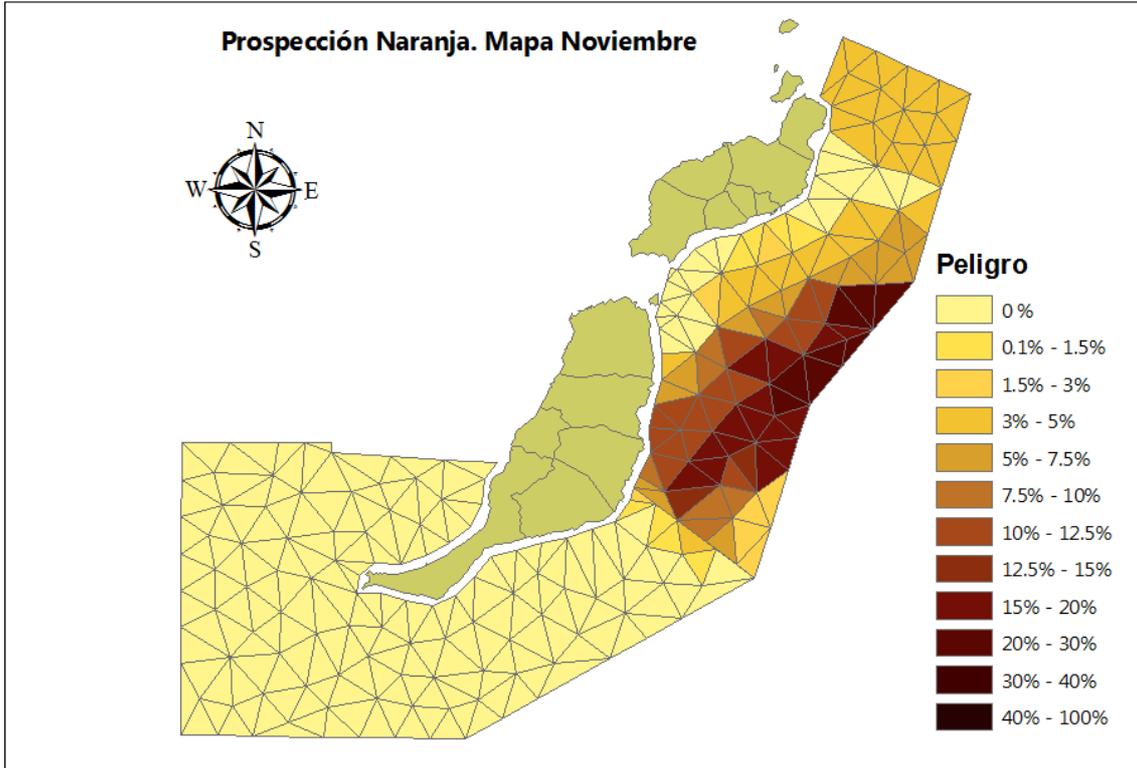
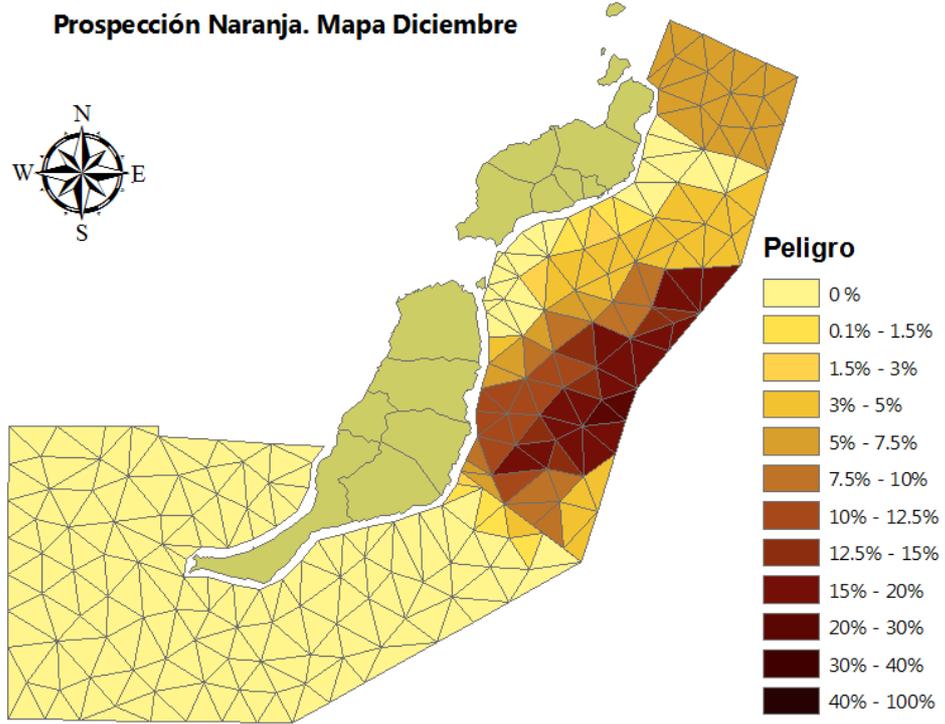
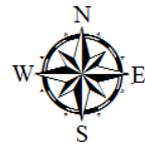


Fig A3.1.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

Prospección Naranja. Mapa Diciembre



Prospección Naranja. Mapa Diciembre

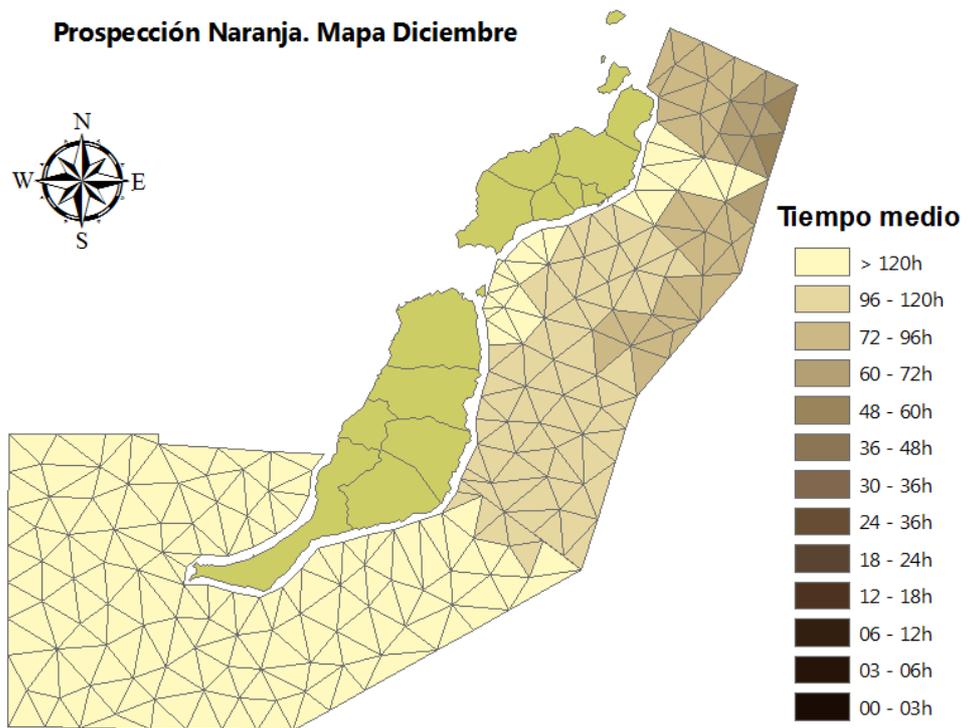
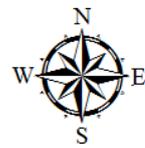


Fig A3.1.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

2.- Prospección Plátano

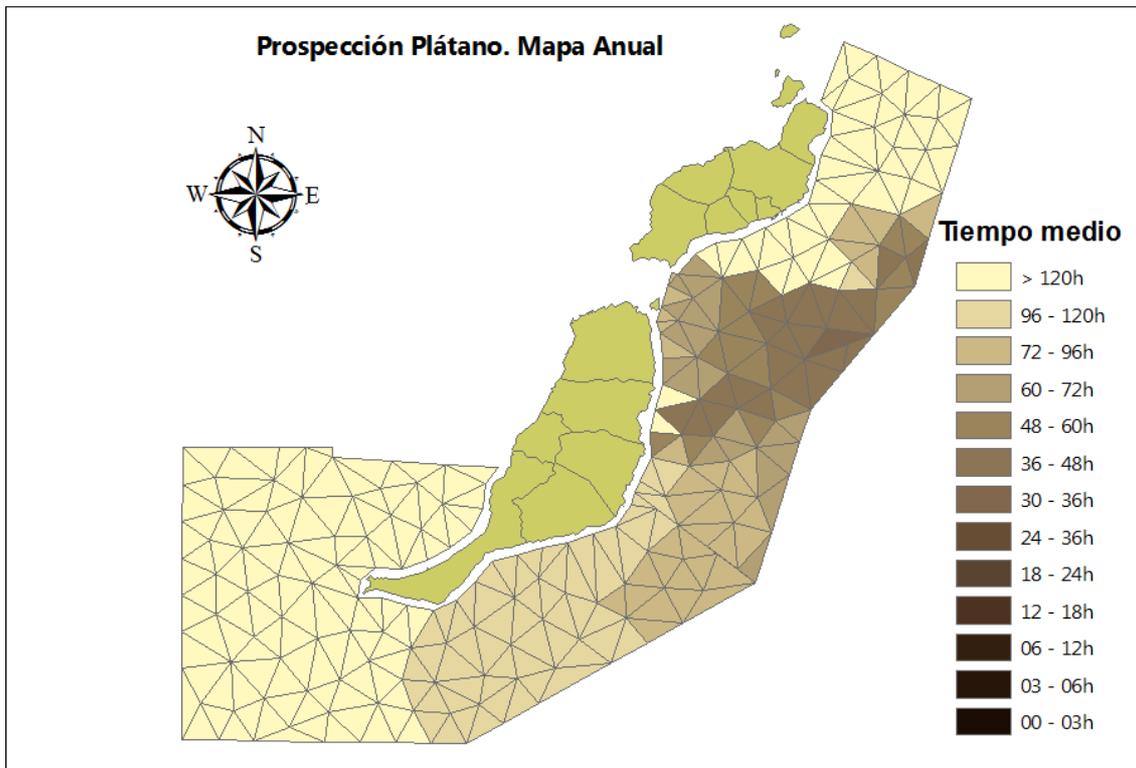
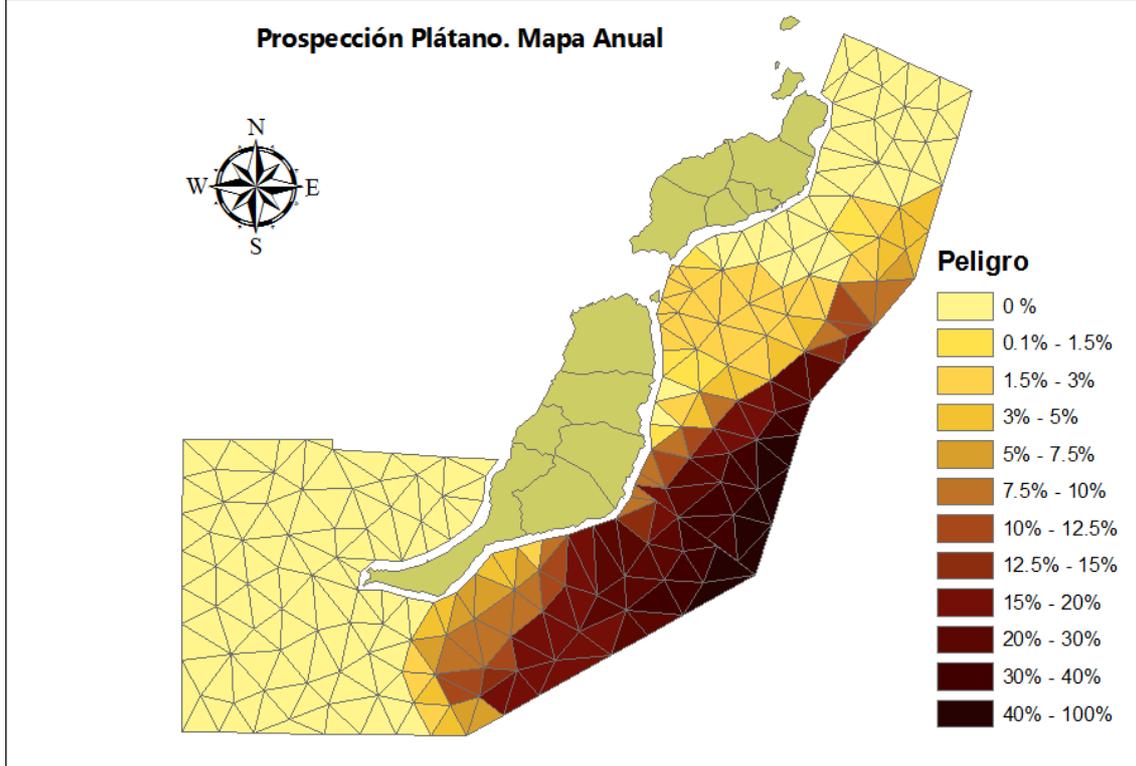


Fig A3.2.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

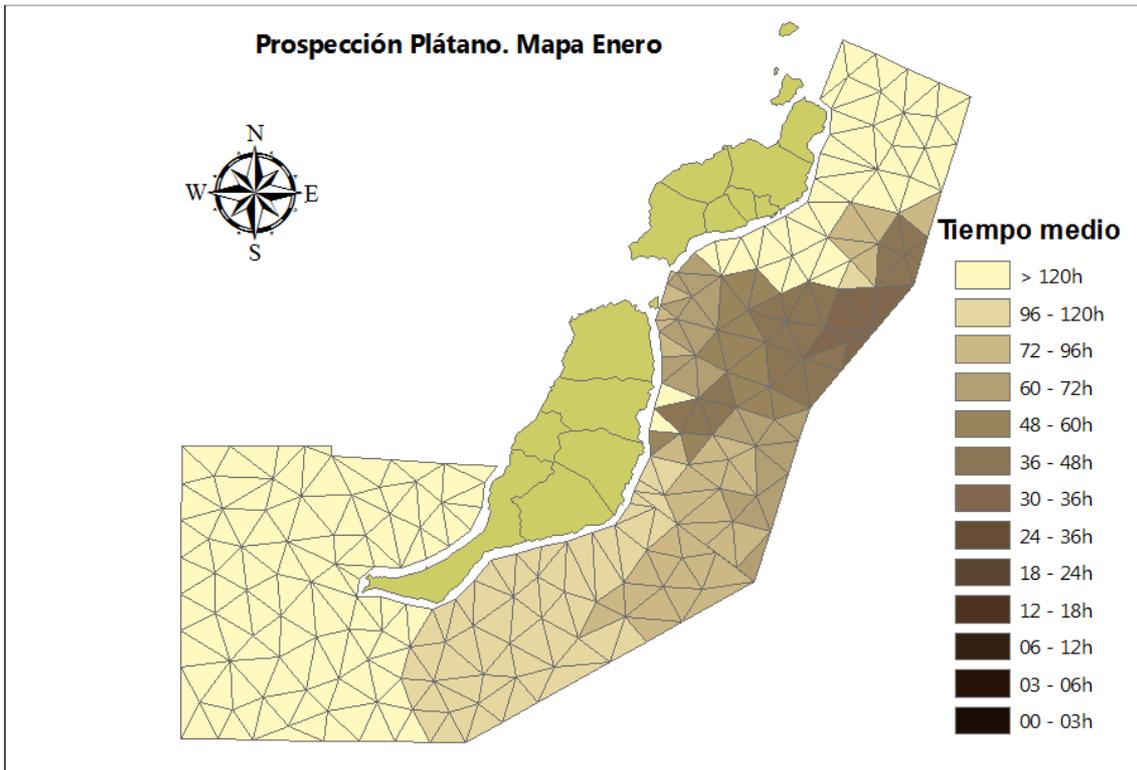
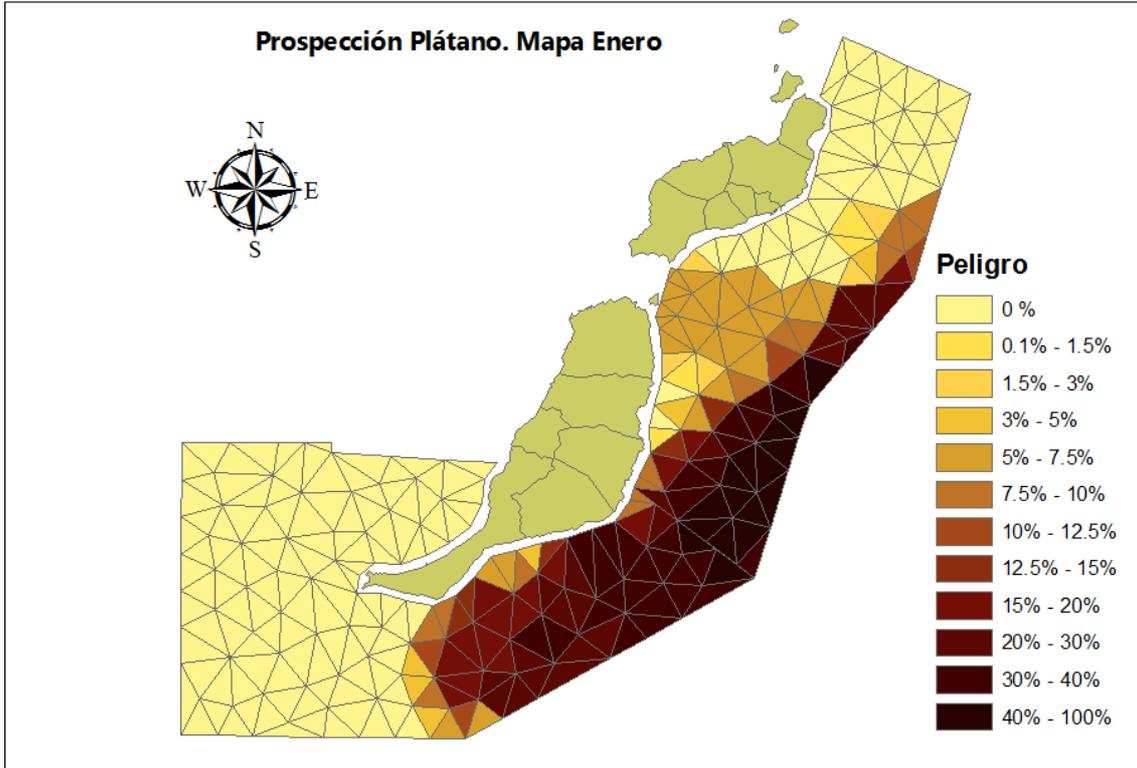


Fig A3.2.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

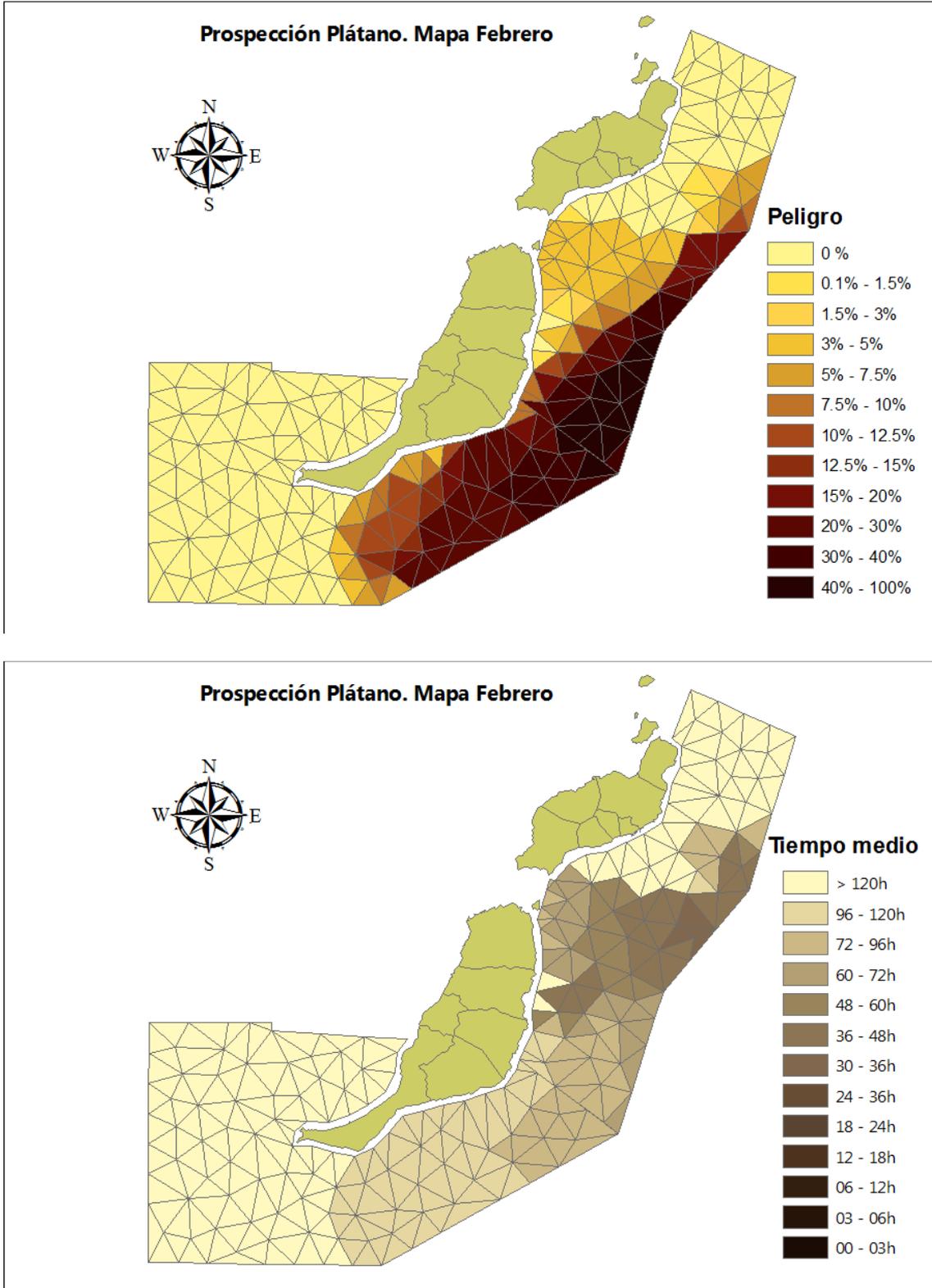


Fig A3.2.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

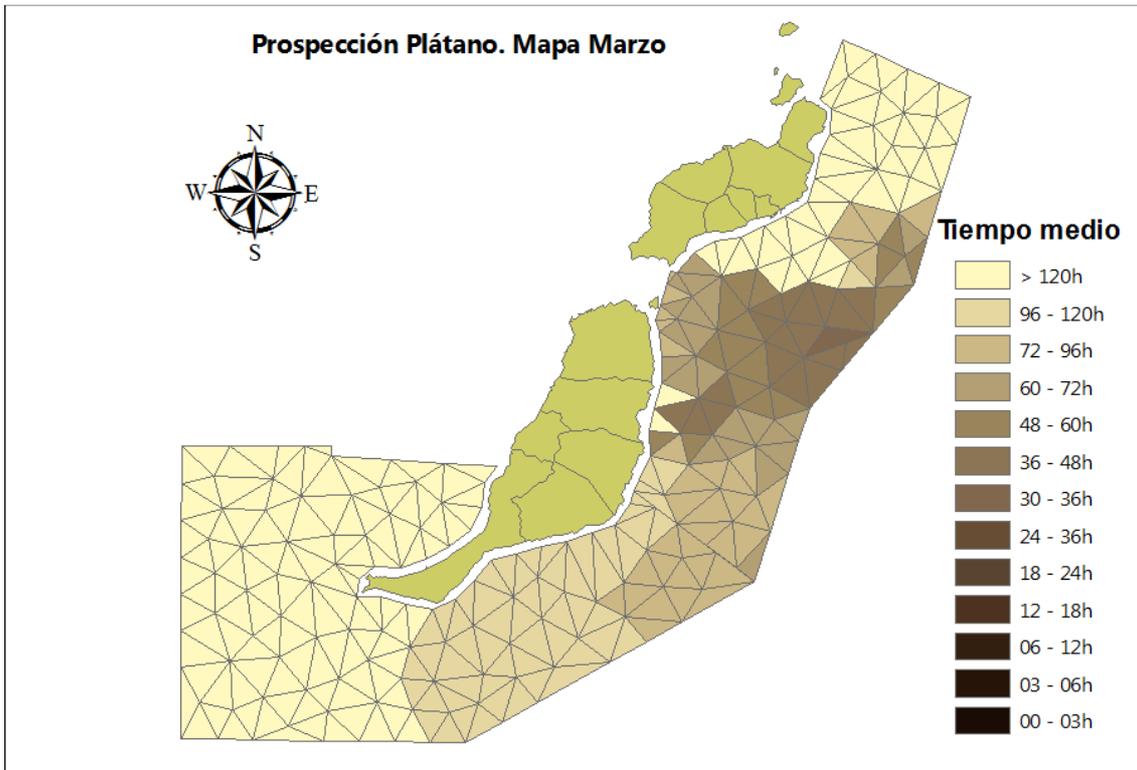
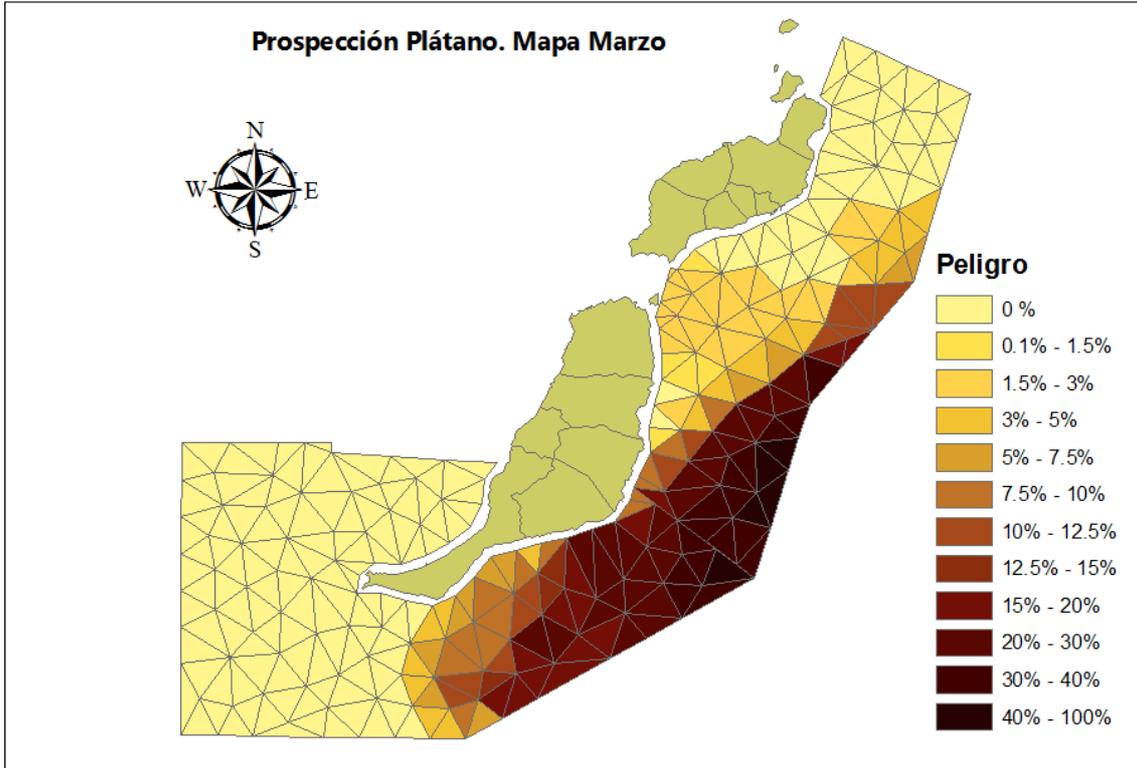


Fig A3.2.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

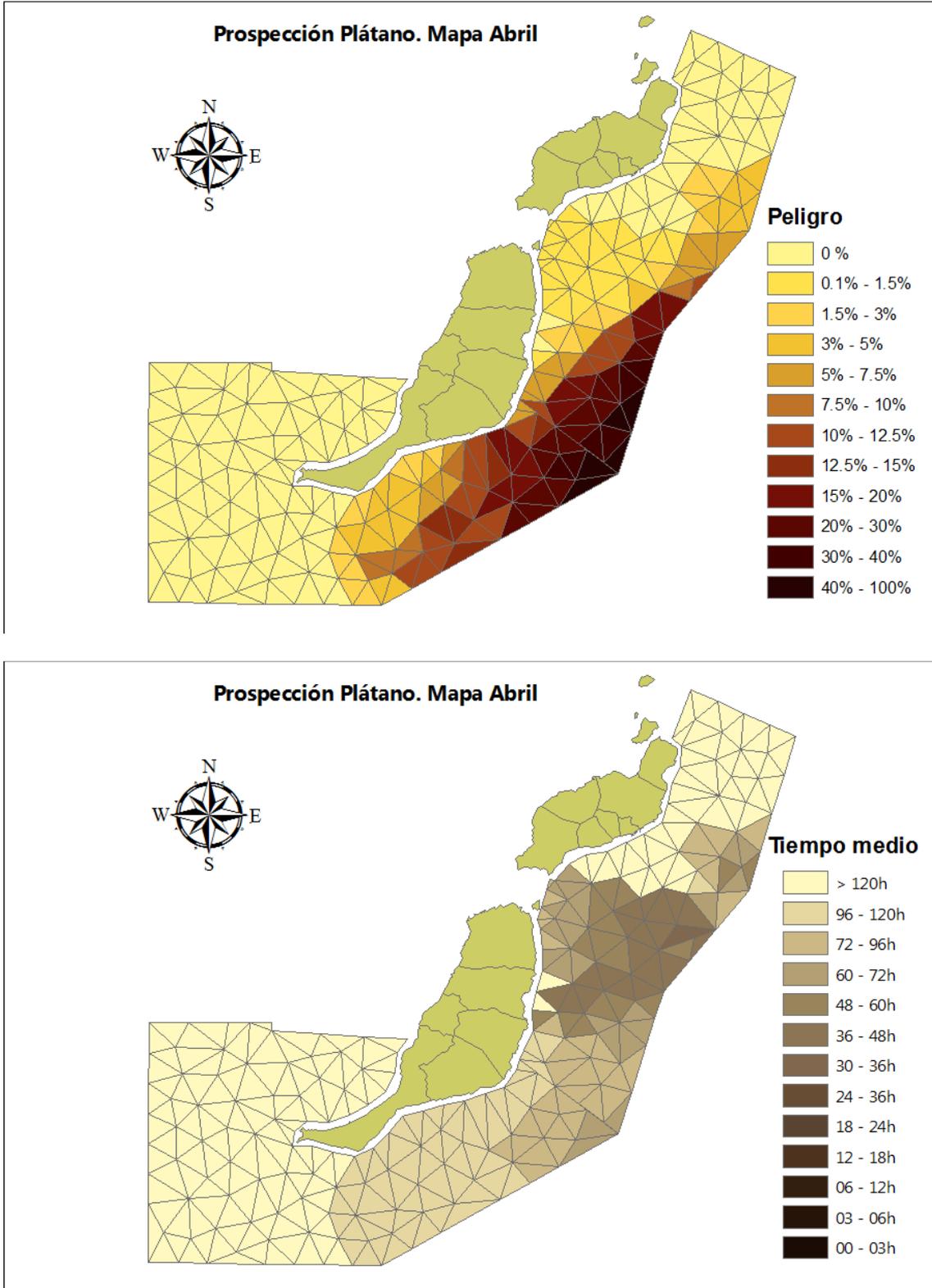


Fig A3.2.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

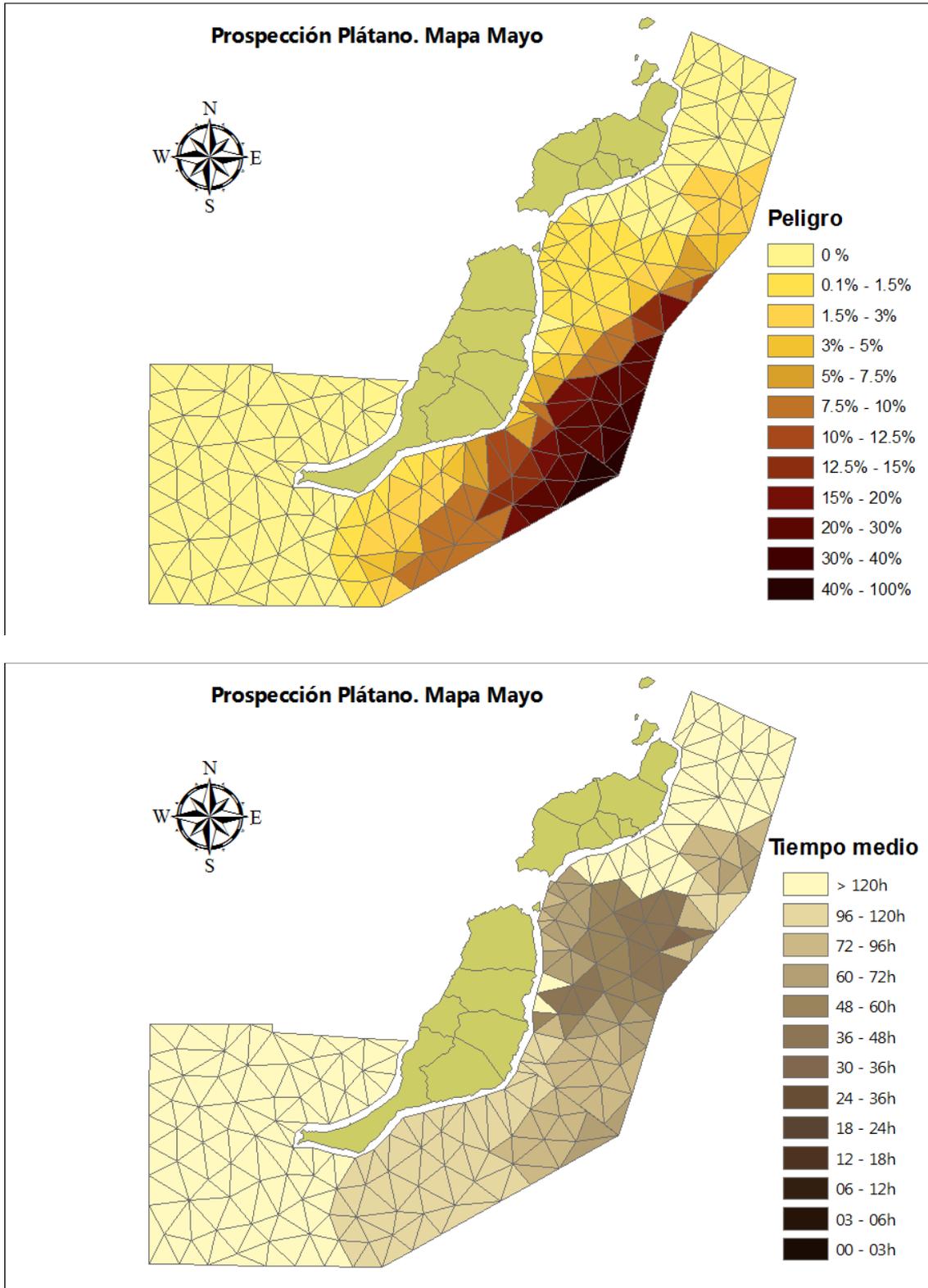


Fig A3.2.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

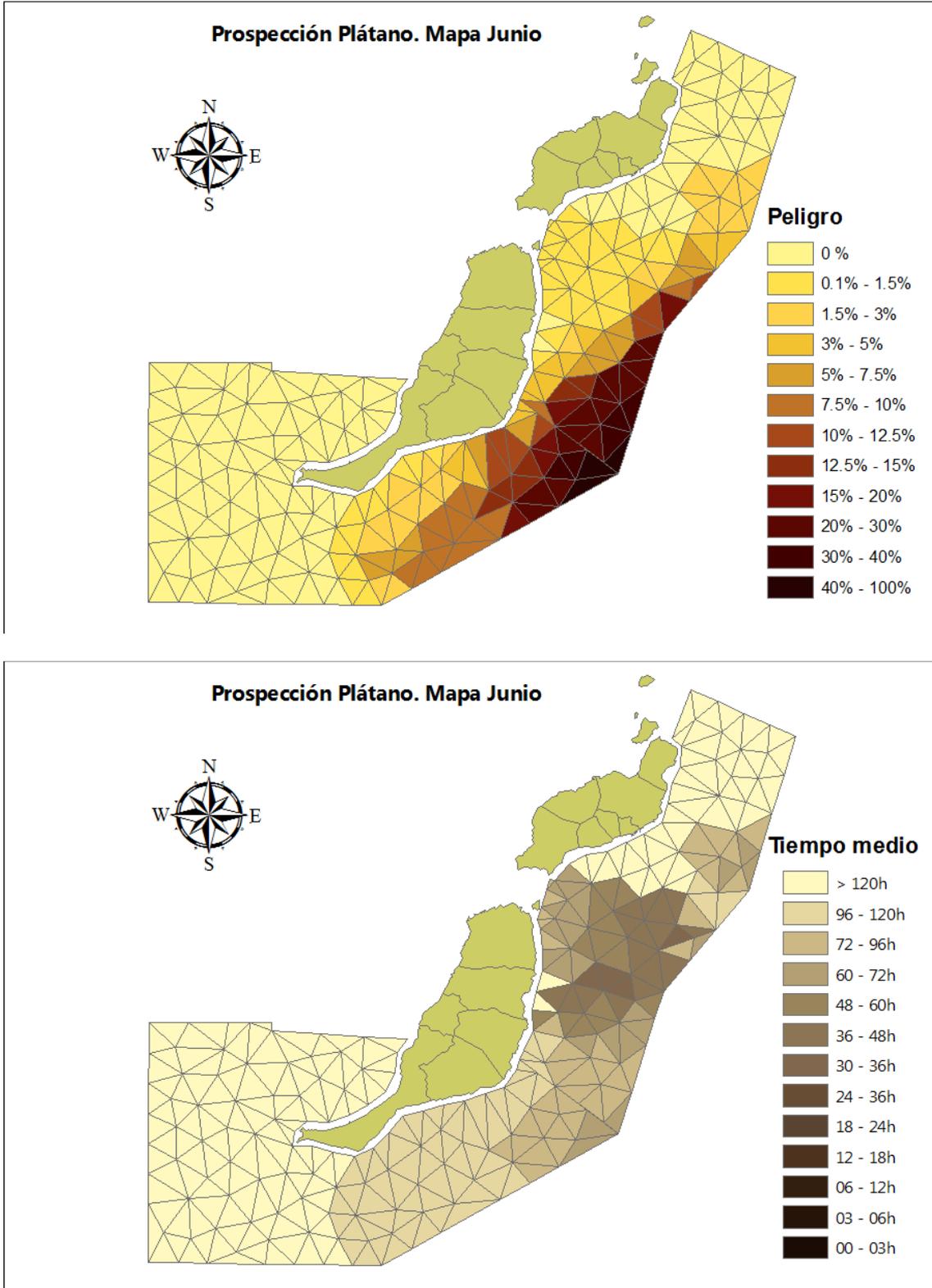
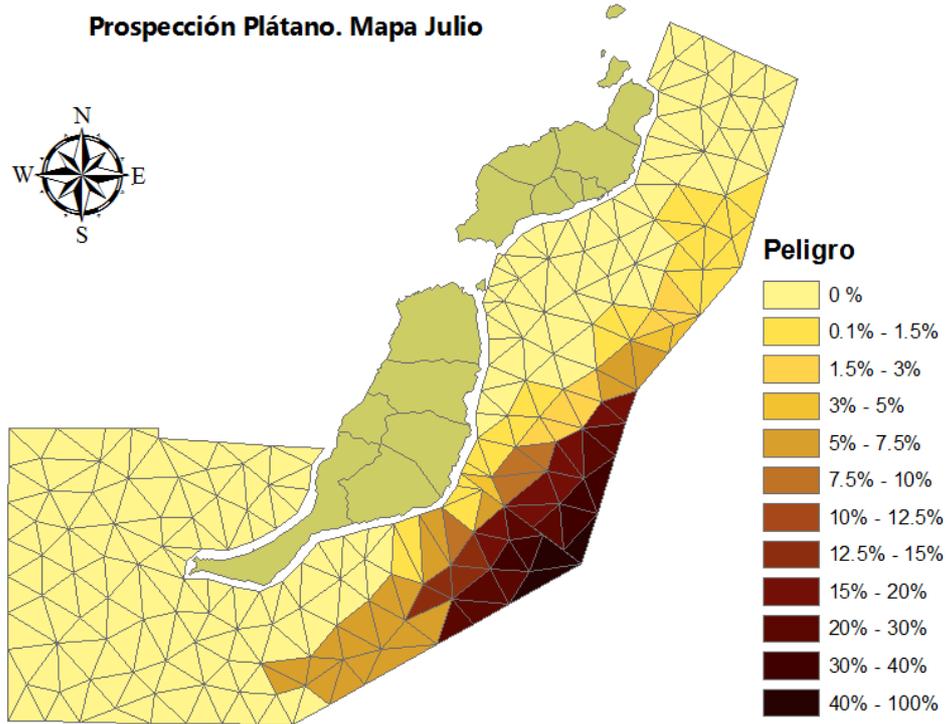


Fig A3.2.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

Prospección Plátano. Mapa Julio



Prospección Plátano. Mapa Julio

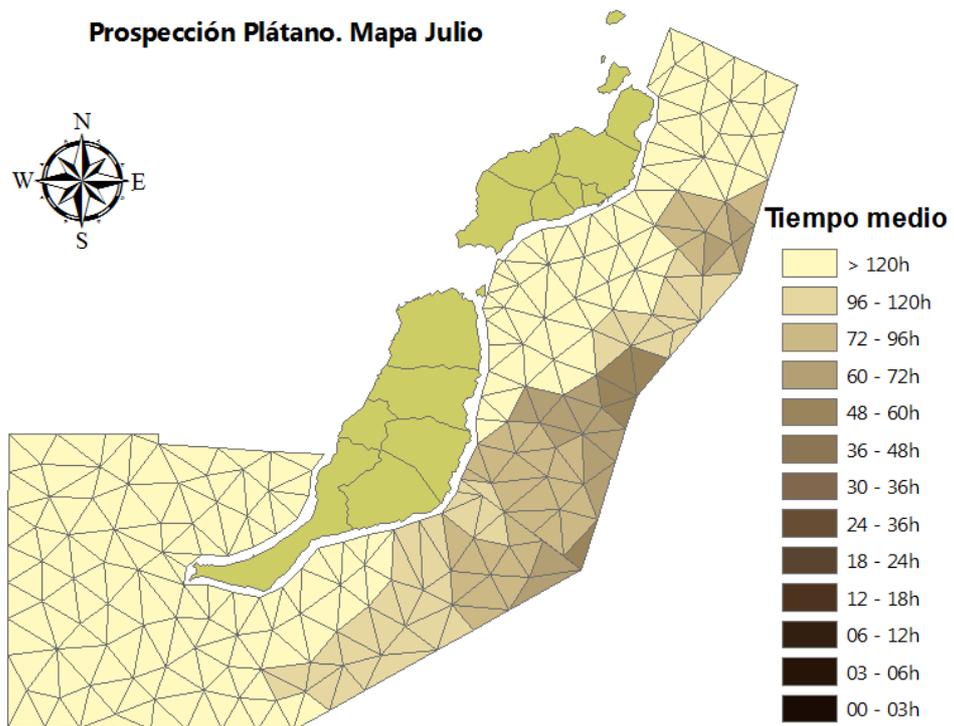


Fig A3.2.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

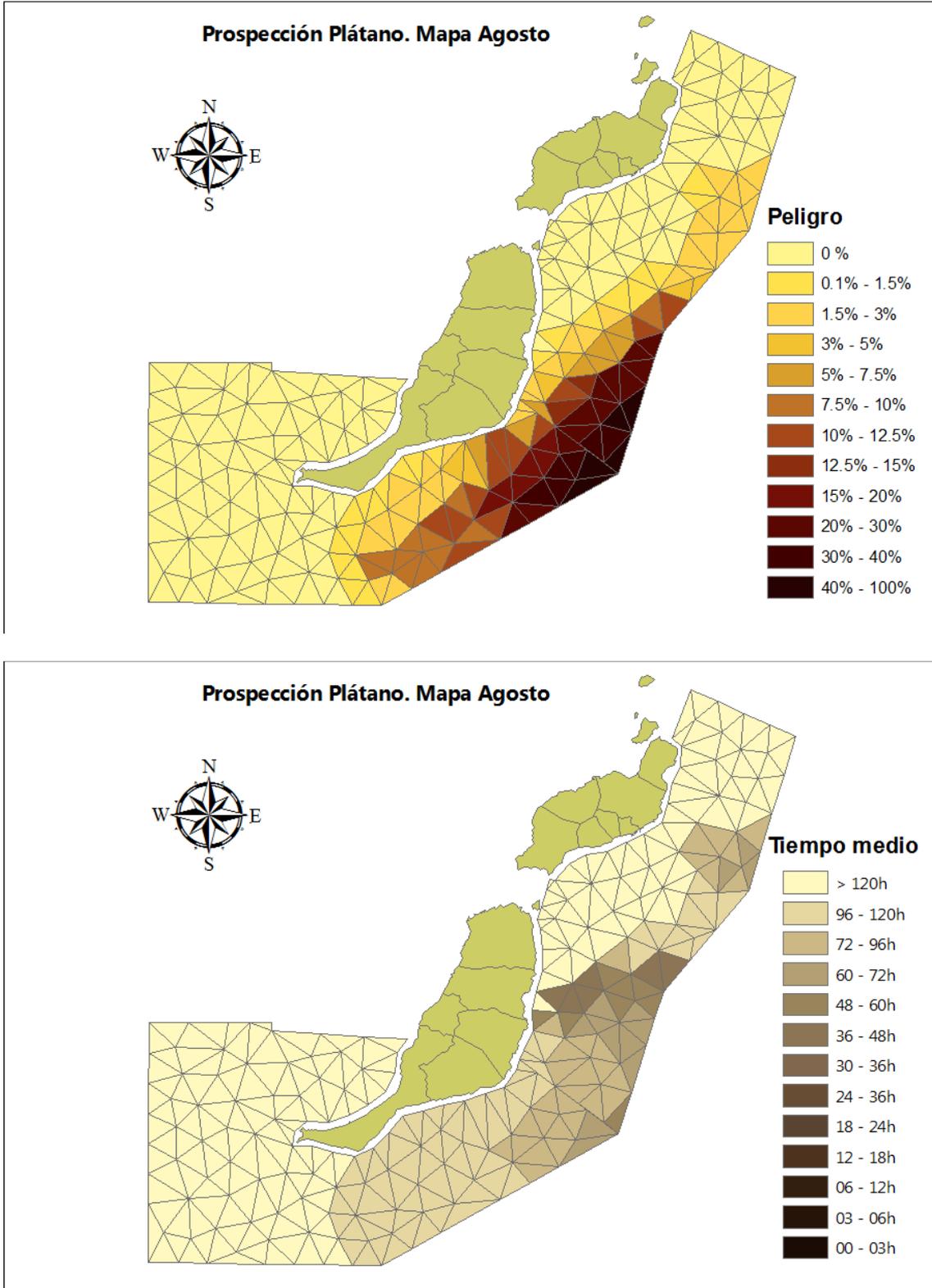


Fig A3.2.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

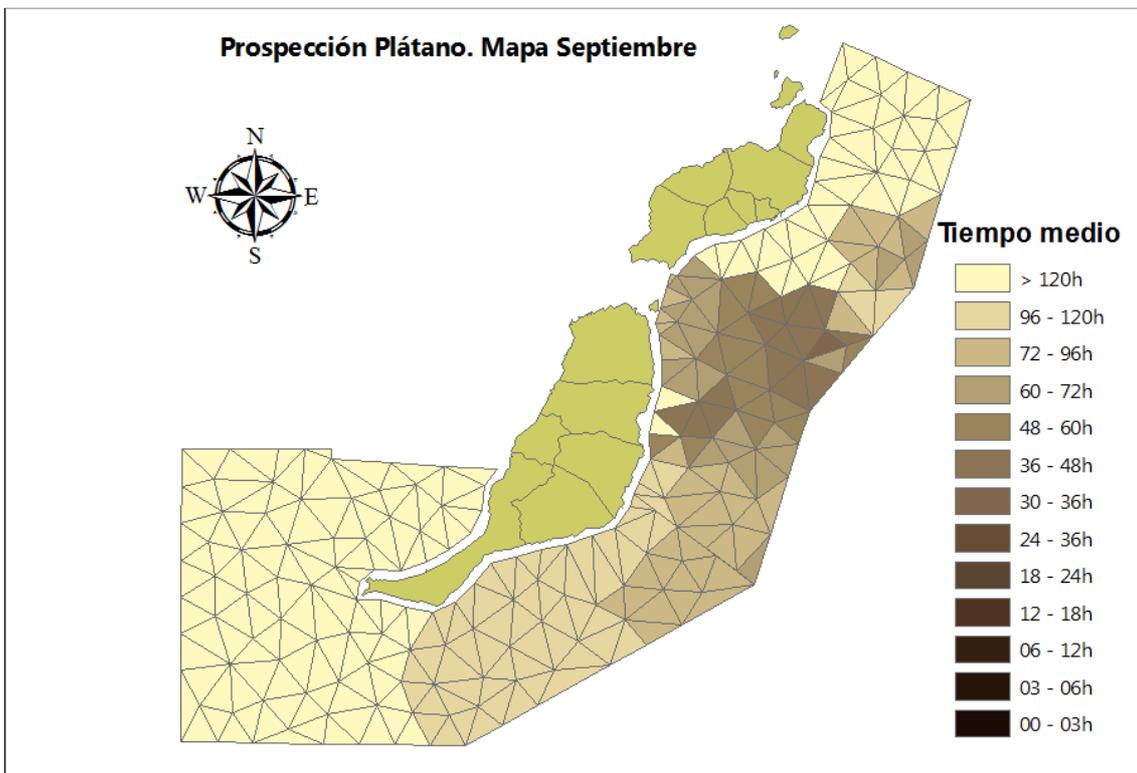
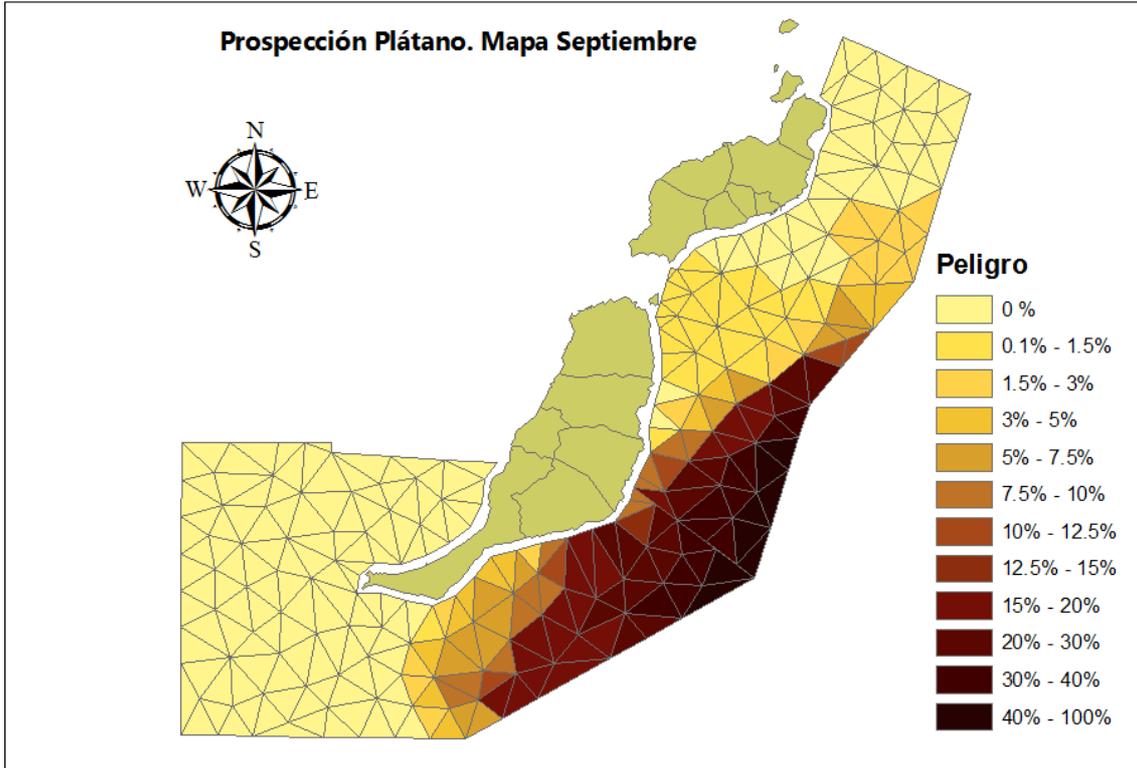


Fig A3.2.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

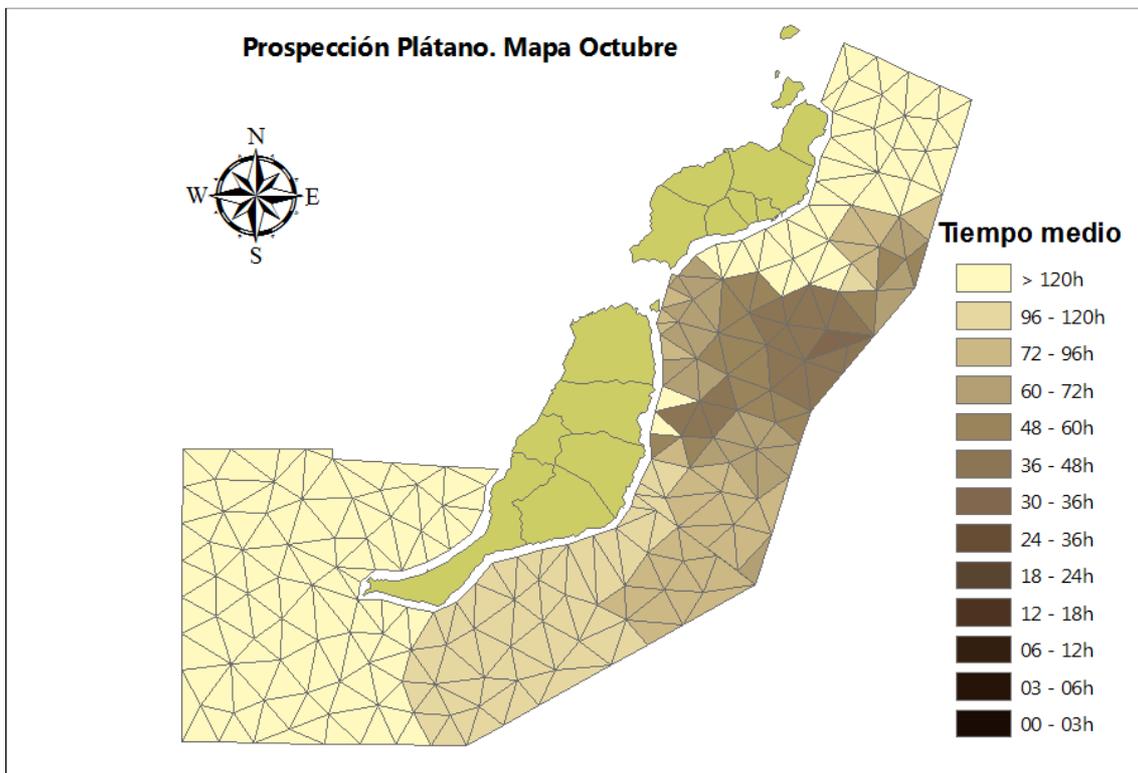
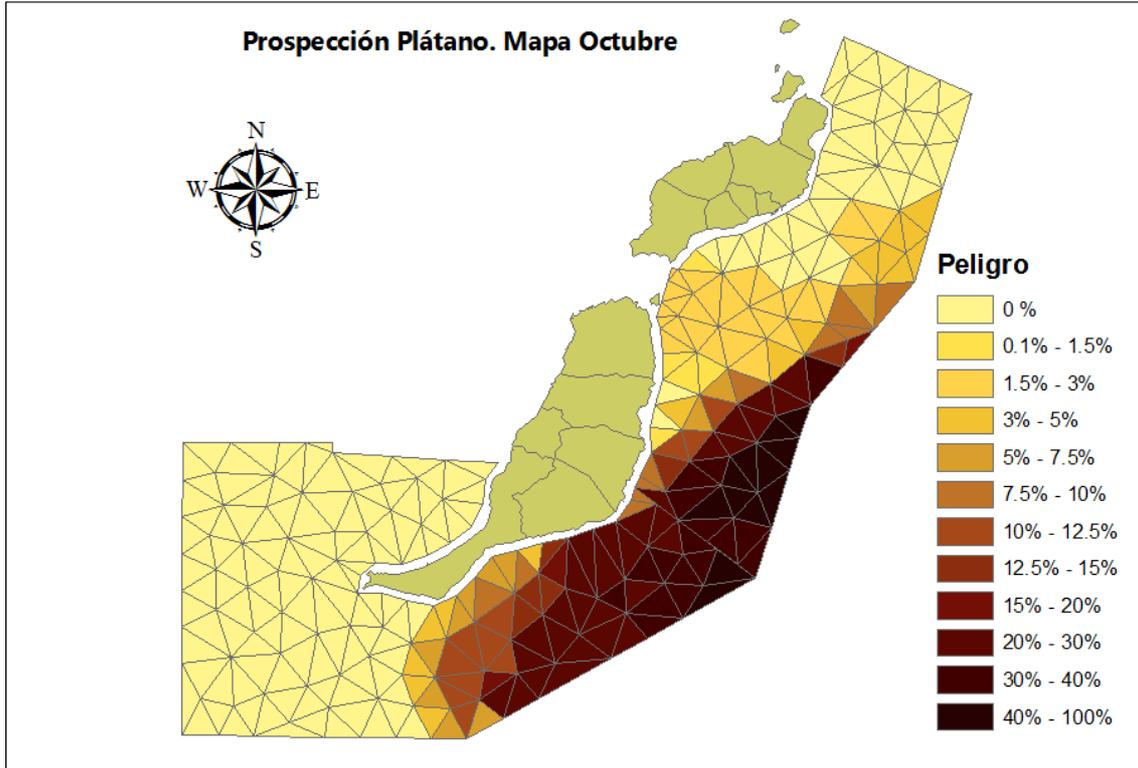


Fig A3.2.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

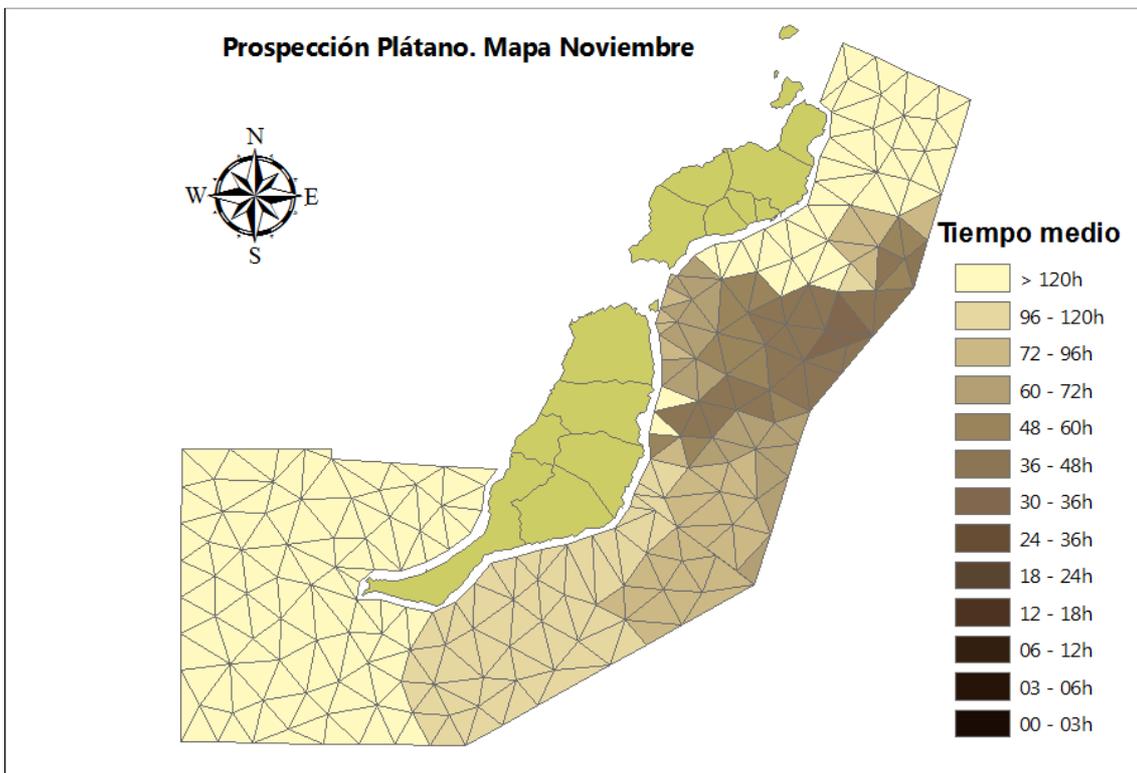
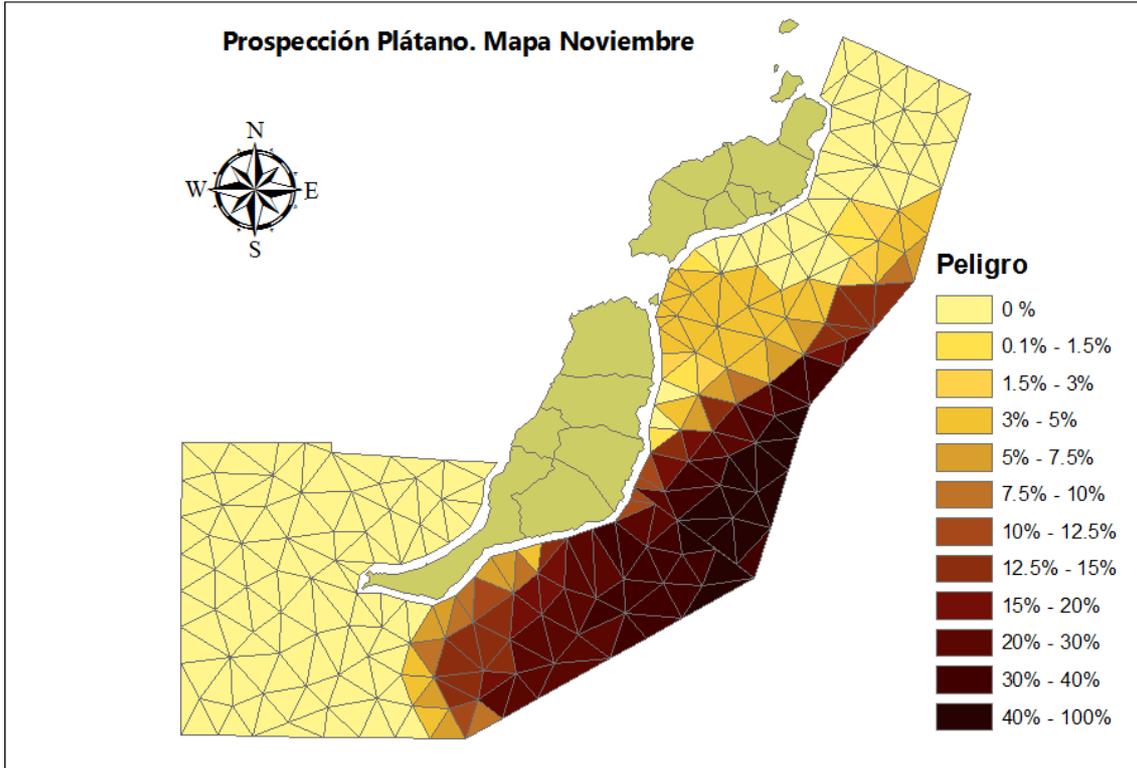


Fig A3.2.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

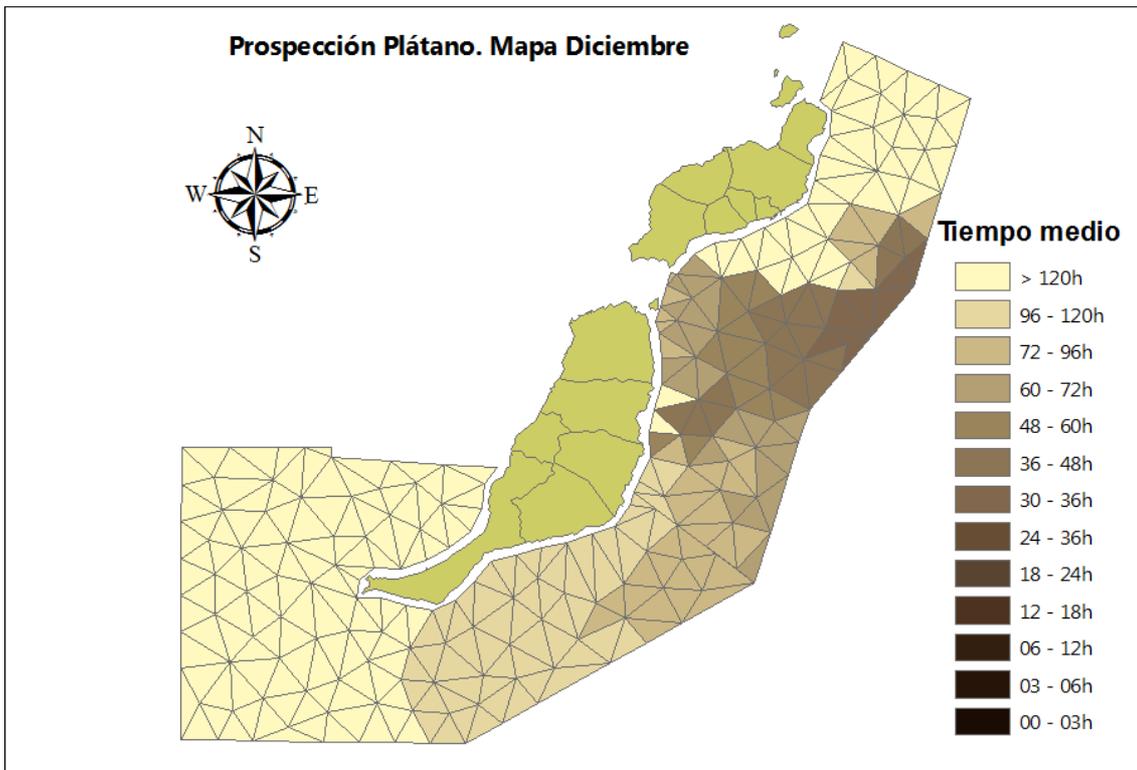
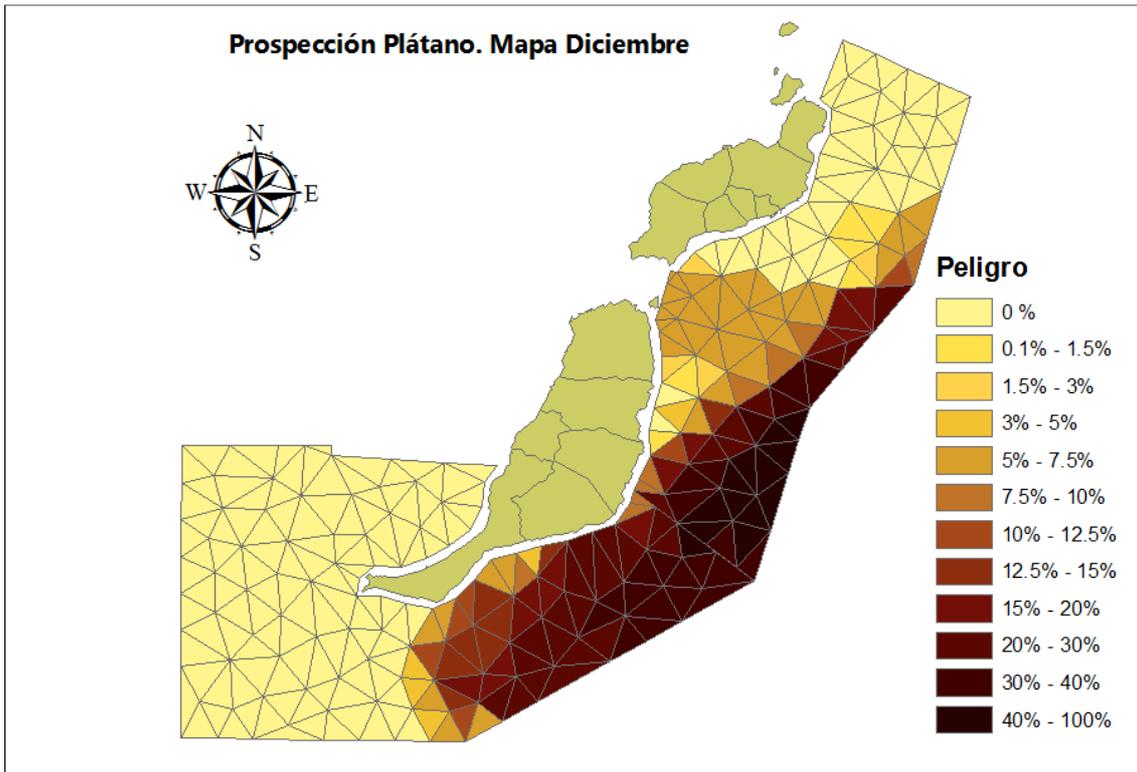


Fig A3.2.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre

3.- Prospección Sandía

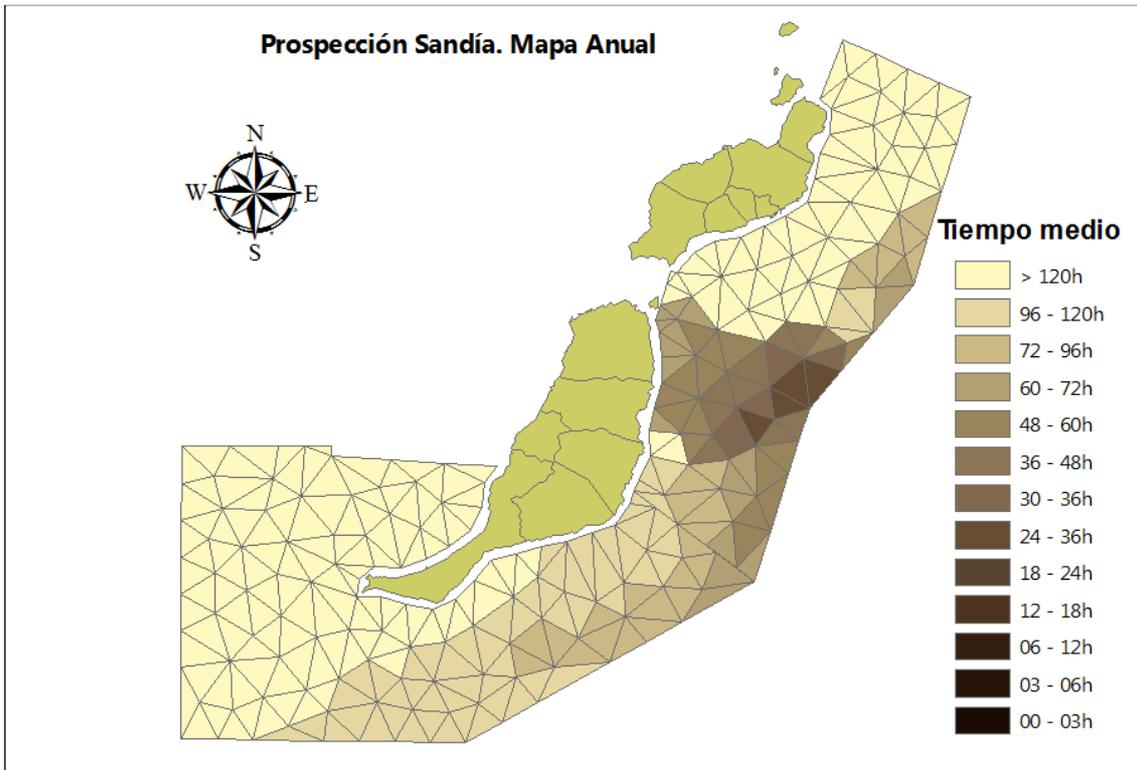
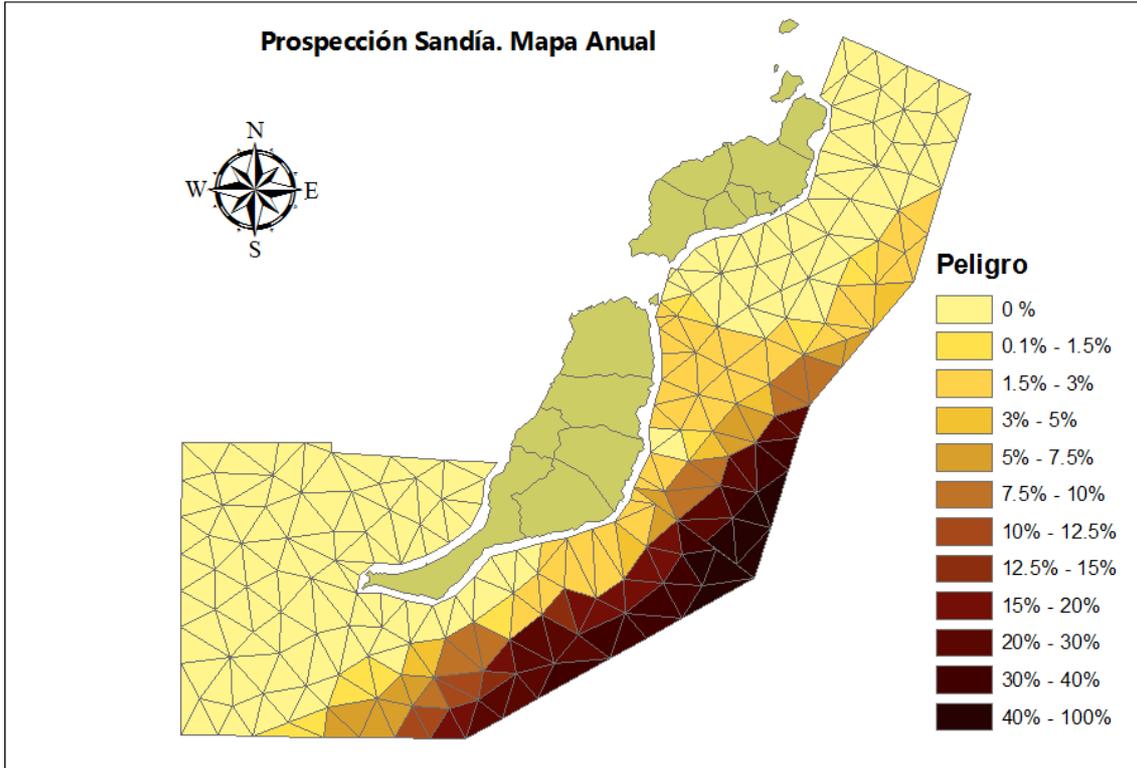
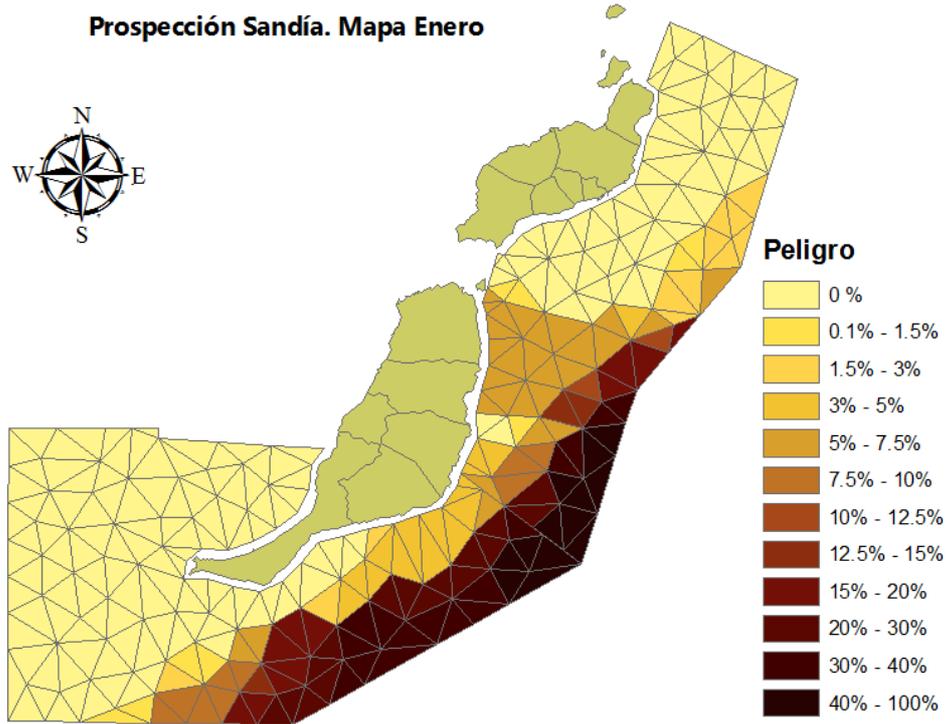


Fig A3.3.1.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el promedio anual

Prospección Sandía. Mapa Enero



Prospección Sandía. Mapa Enero

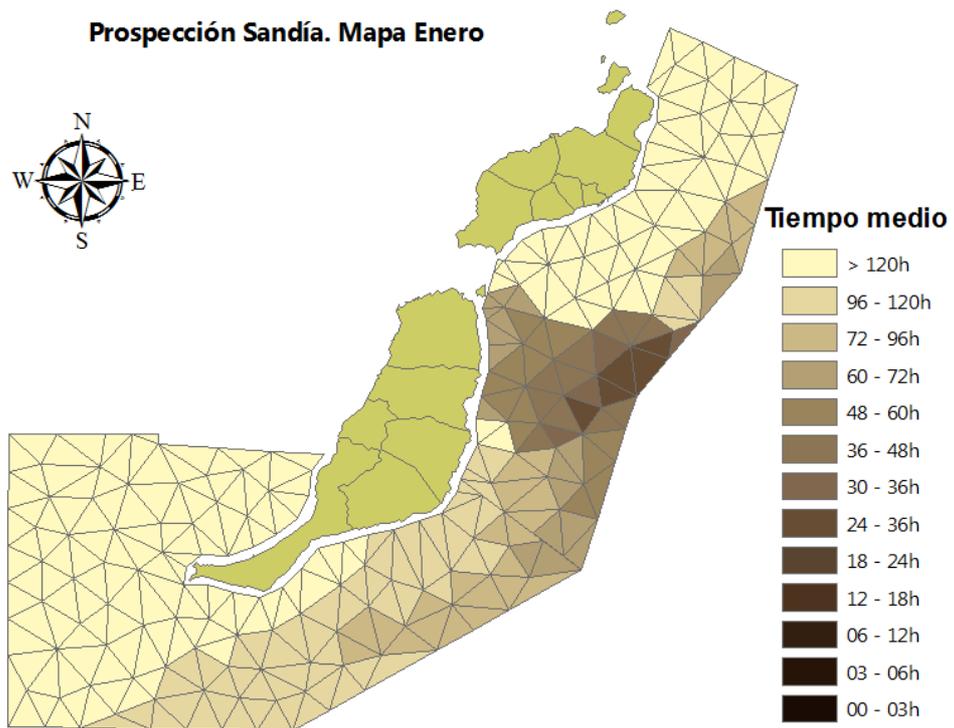


Fig A3.3.2.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Enero

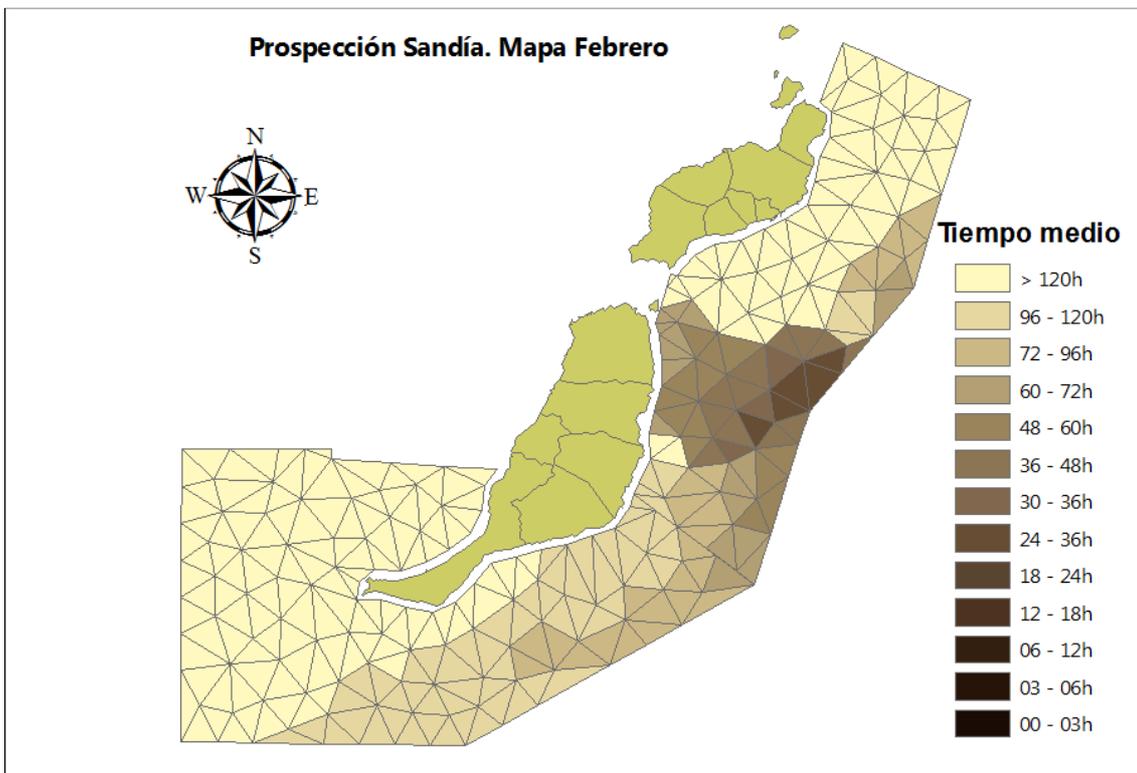
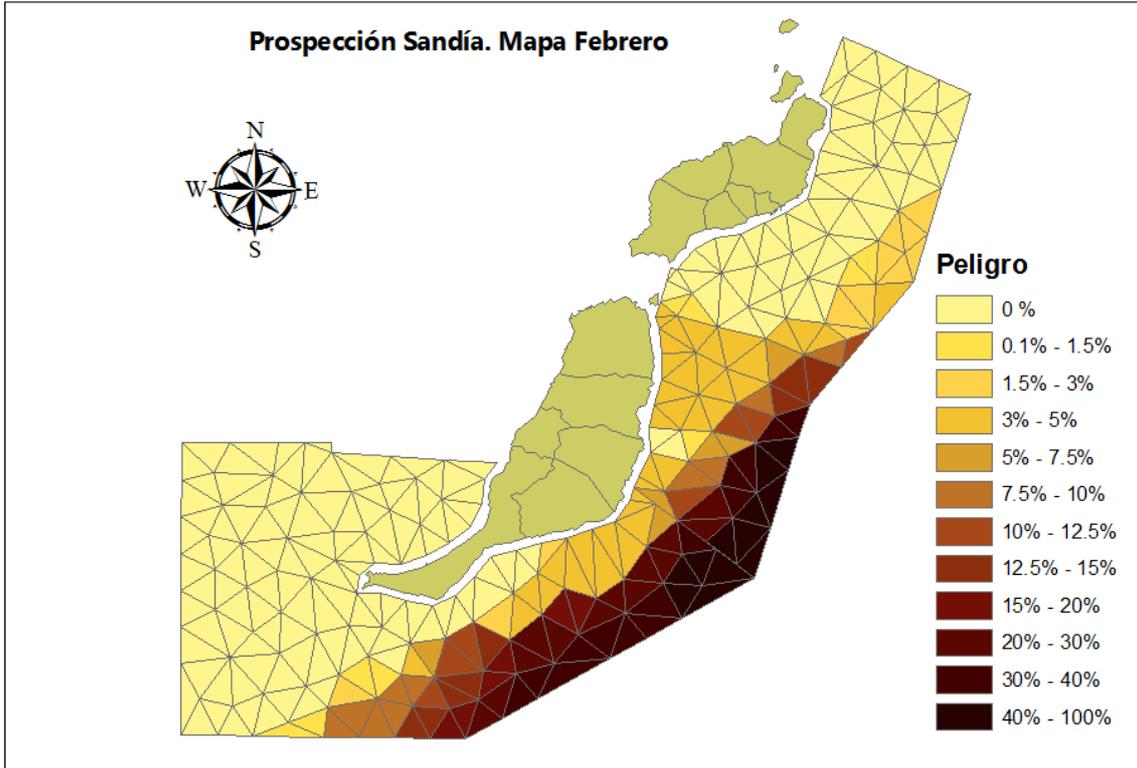


Fig A3.3.3.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Febrero

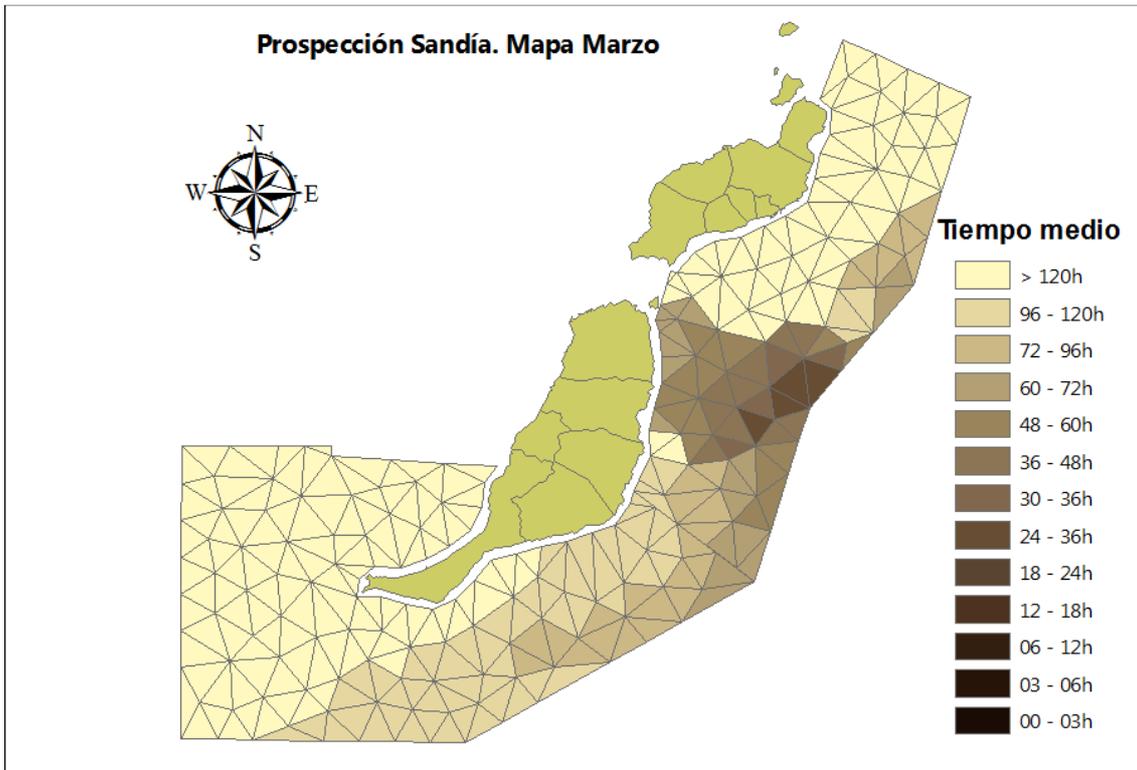
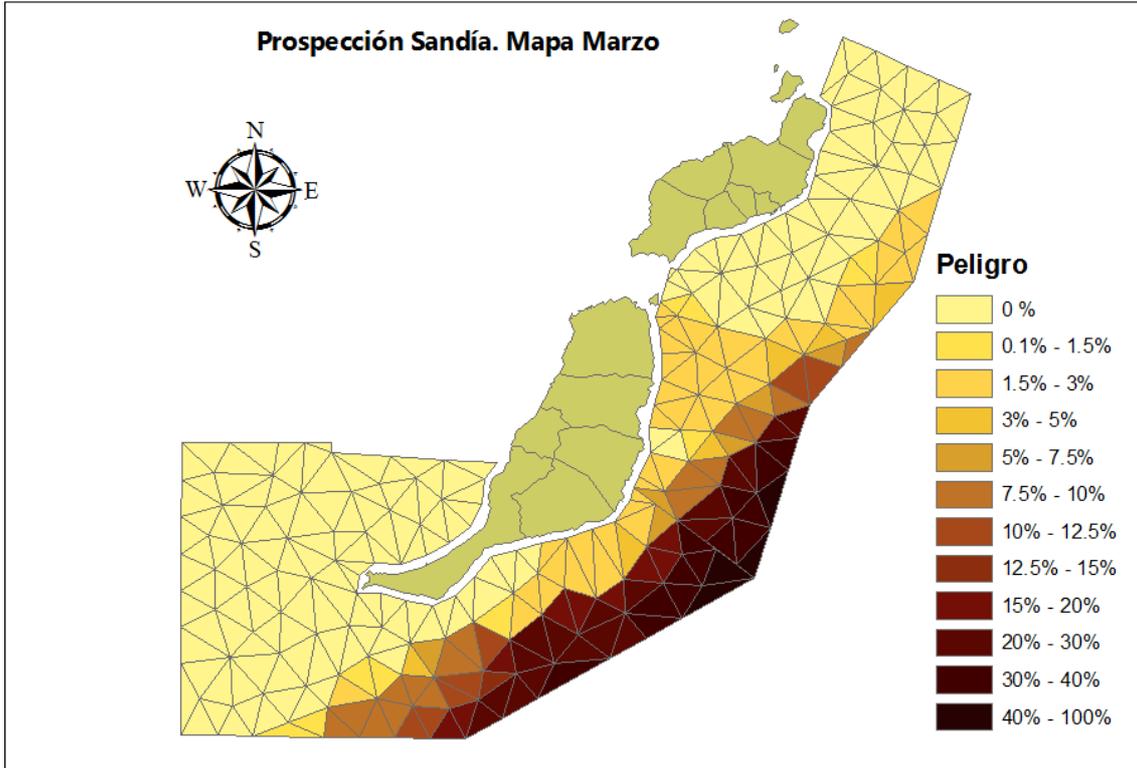


Fig A3.3.4.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Marzo

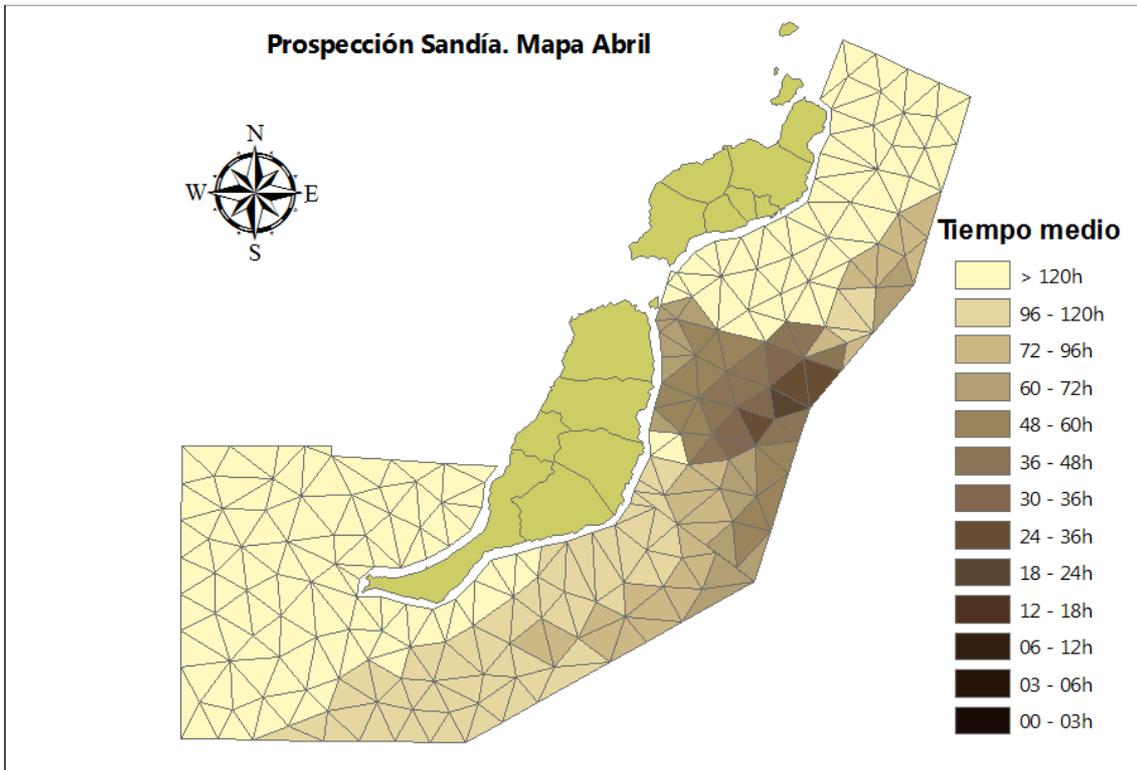
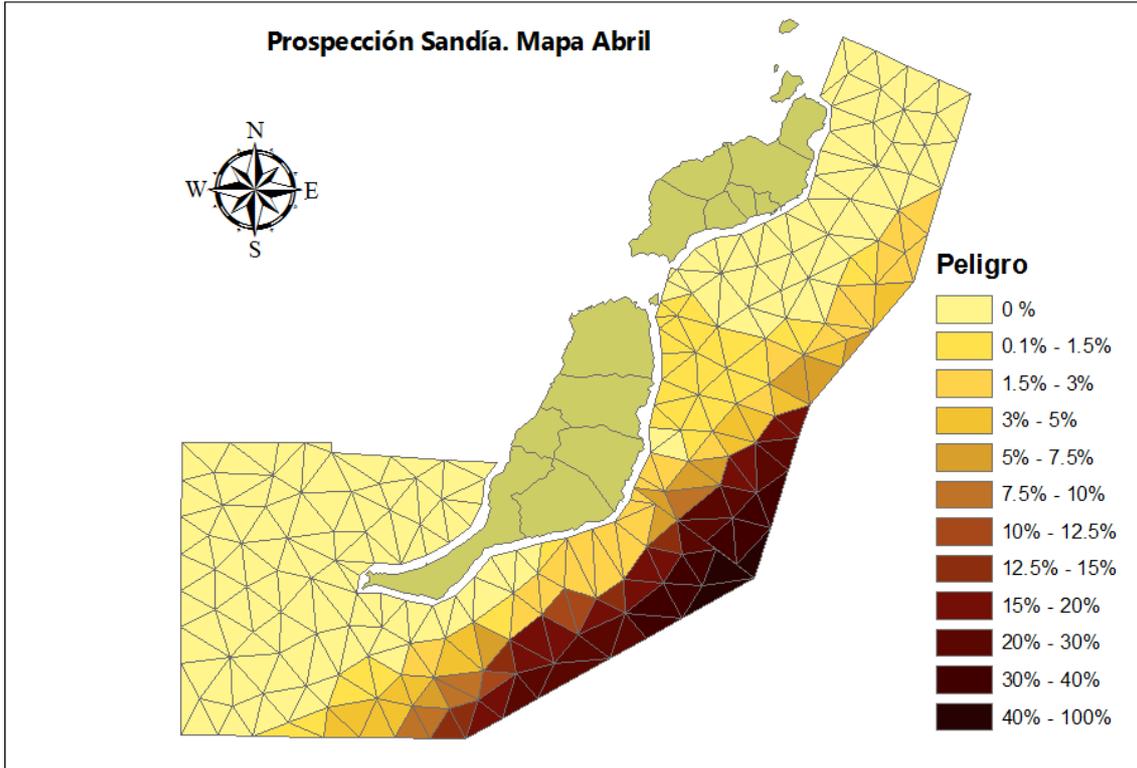


Fig A3.3.5.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Abril

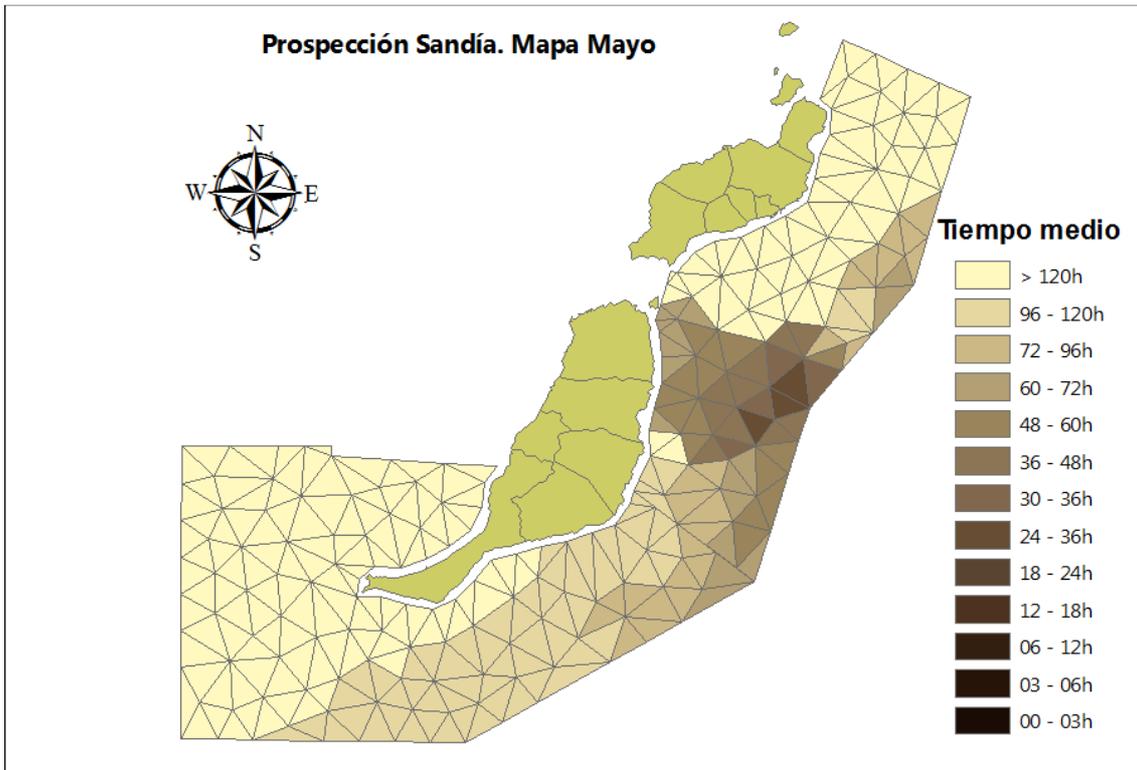
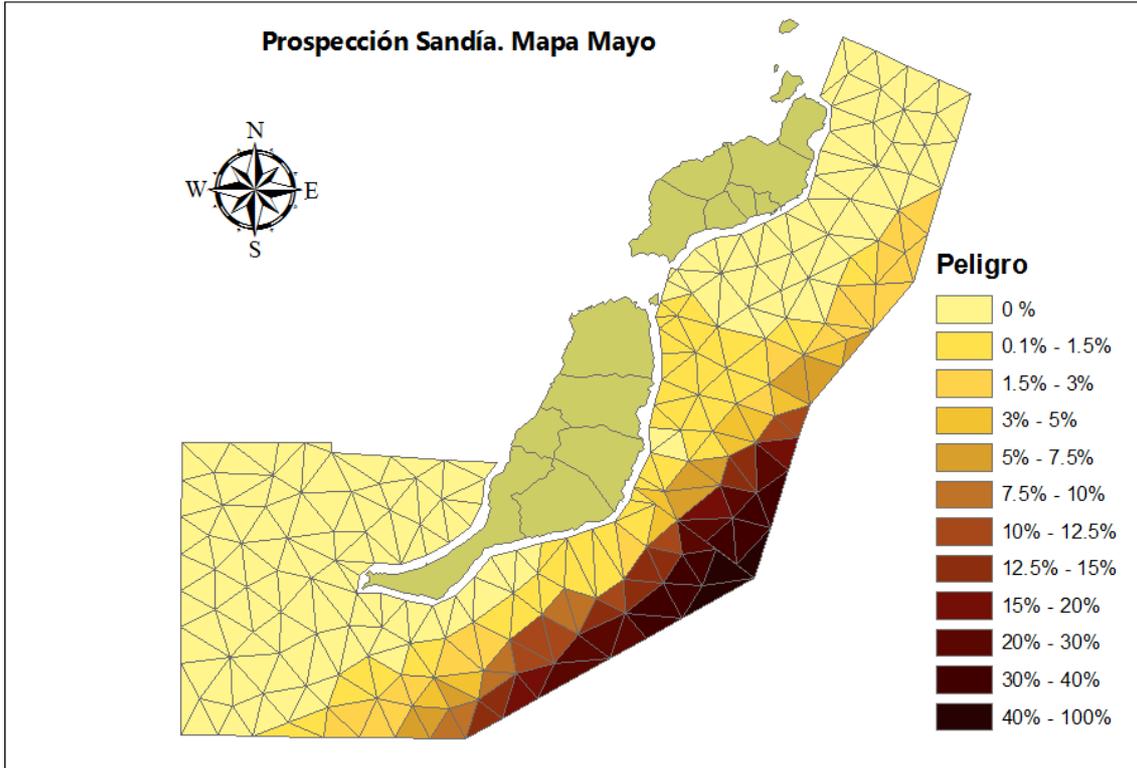


Fig A3.3.6.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Mayo

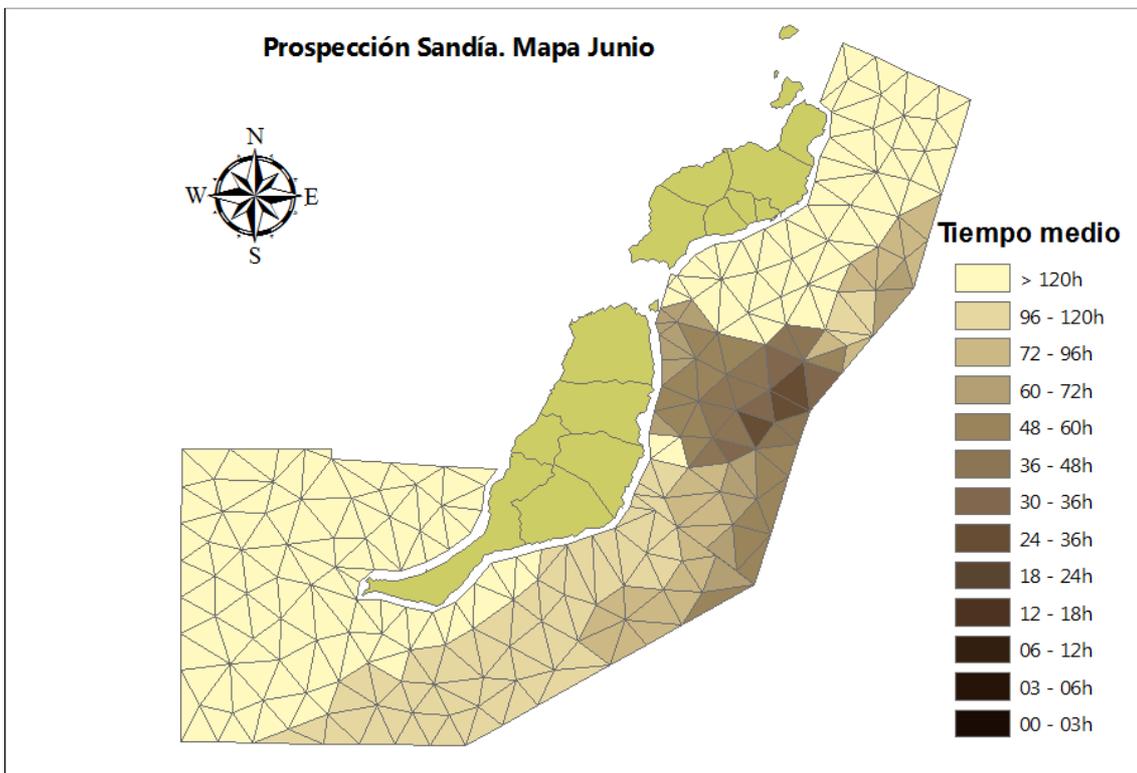
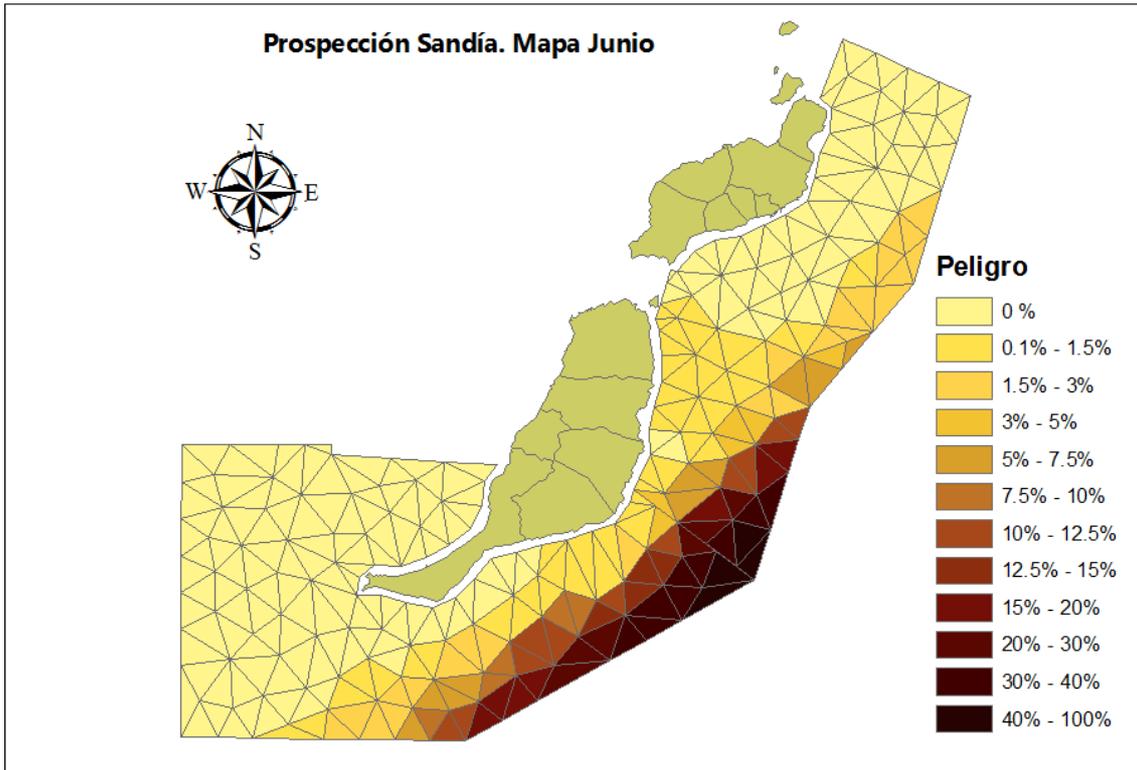


Fig A3.3.7.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Junio

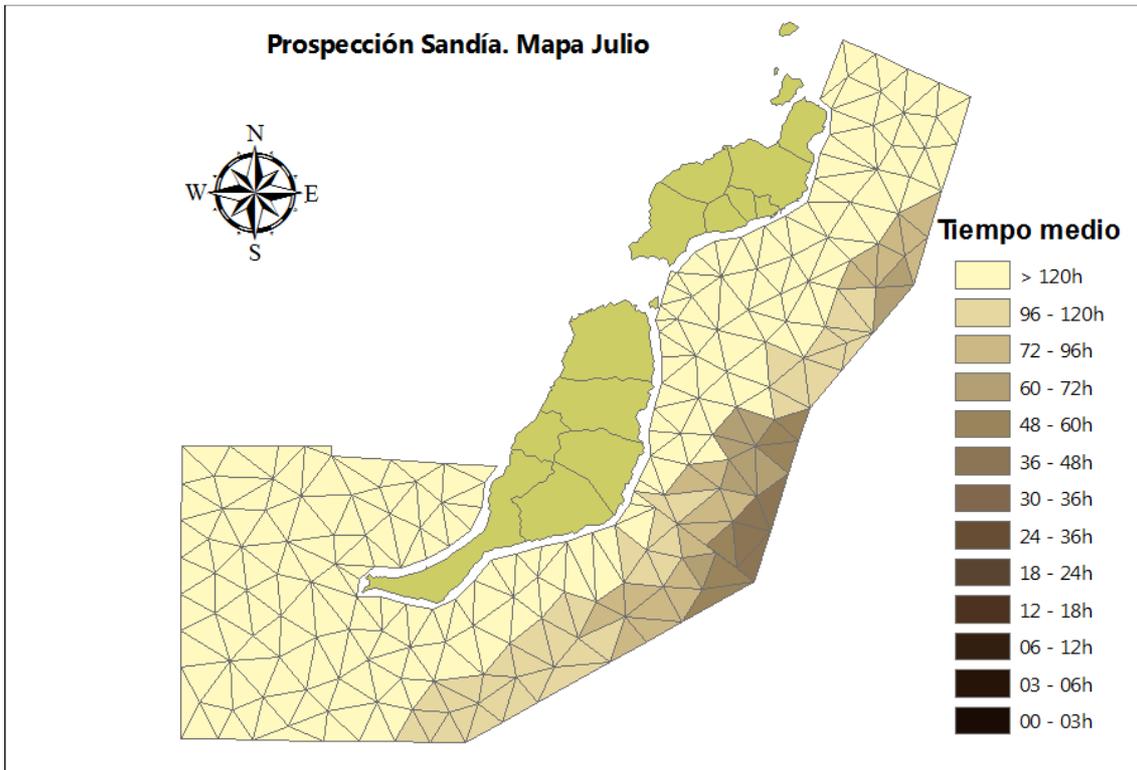
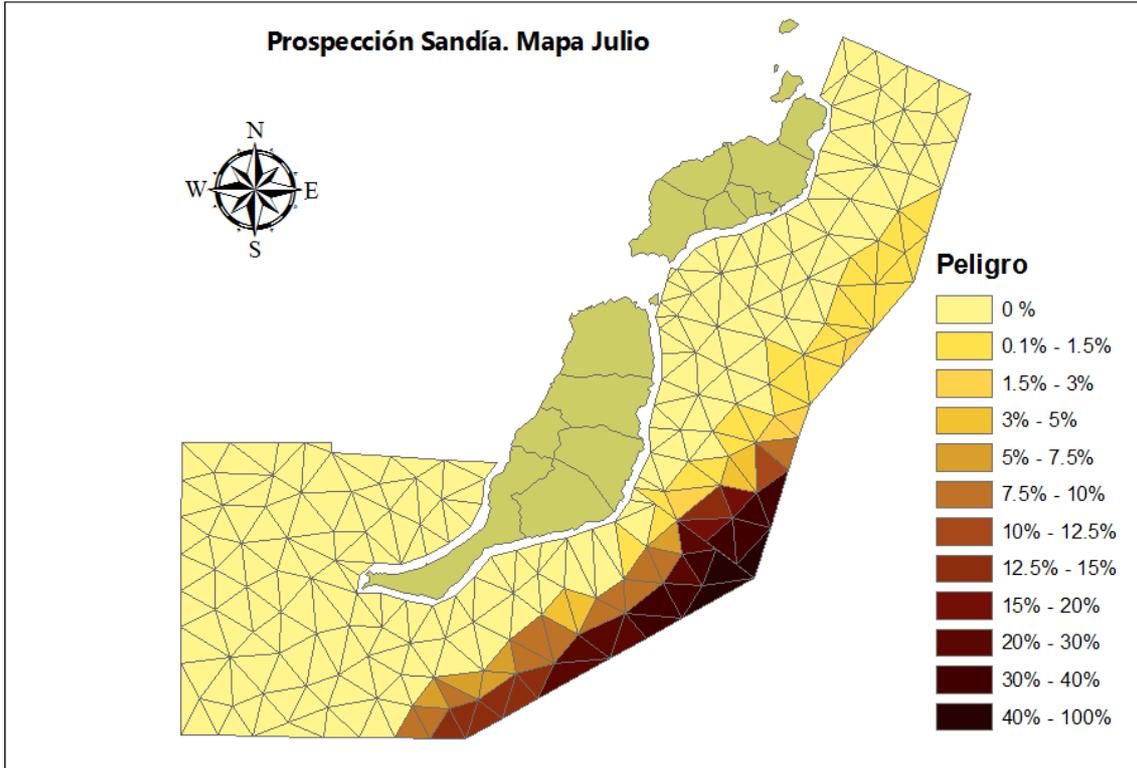


Fig A3.3.8.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Julio

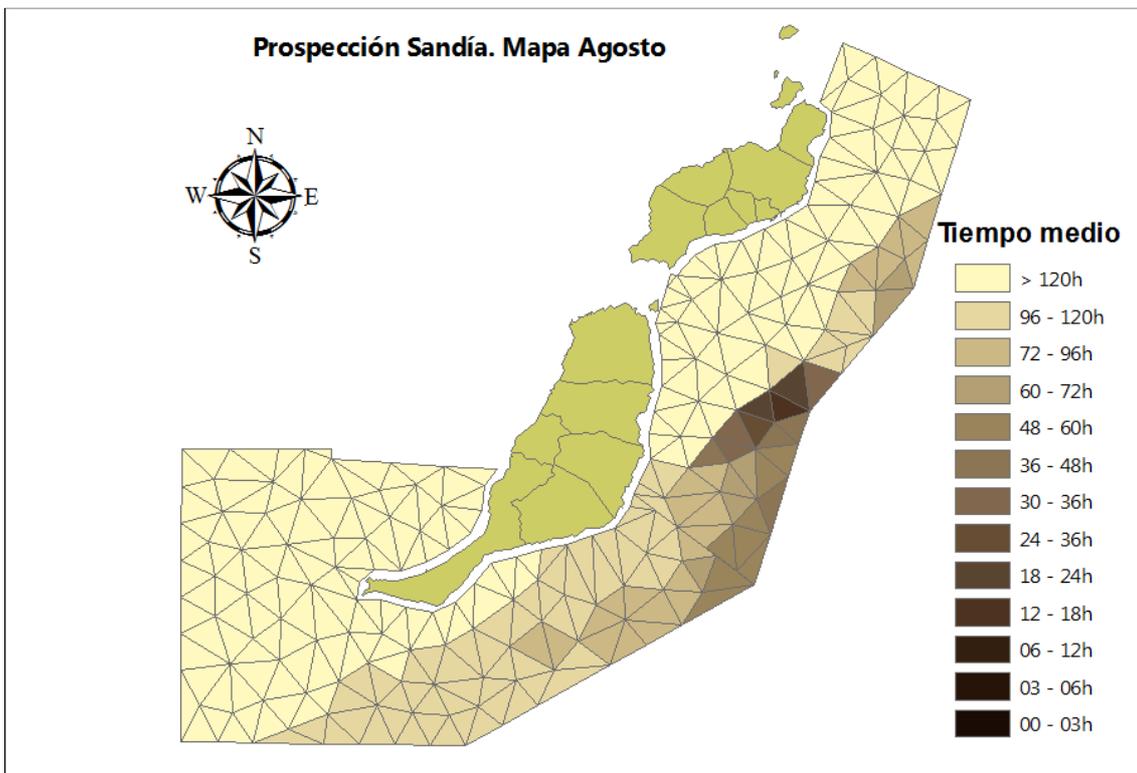
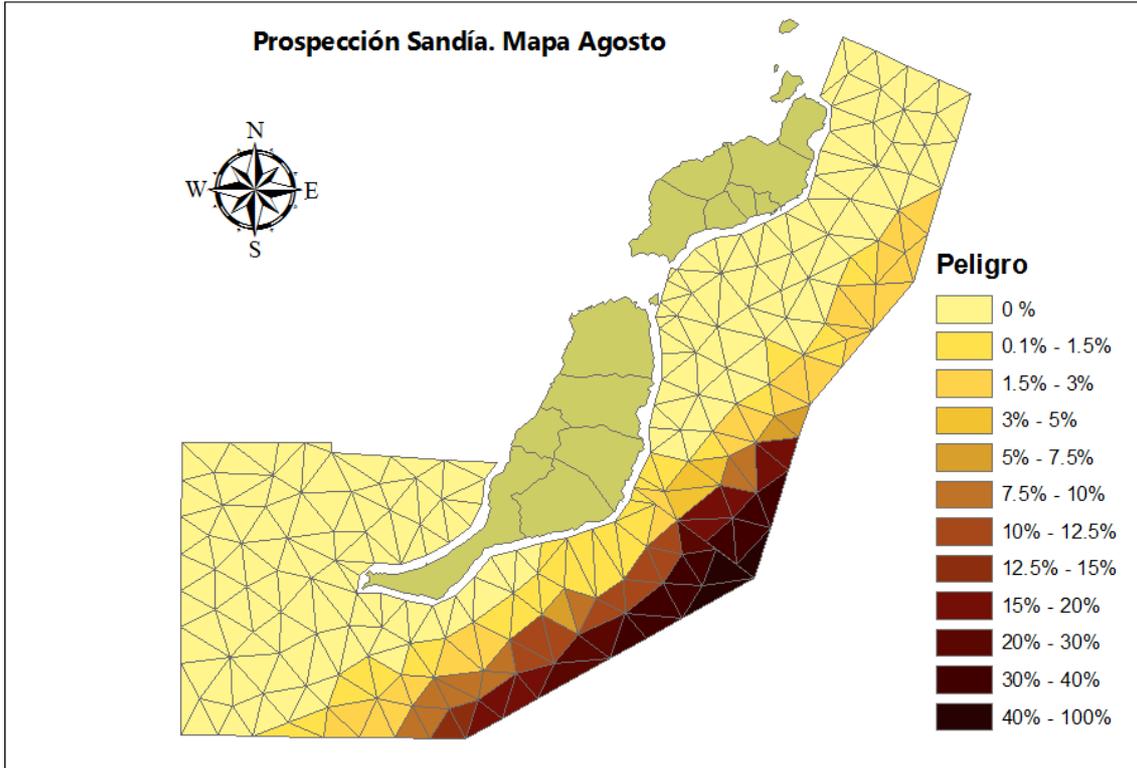


Fig A3.3.9.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Agosto

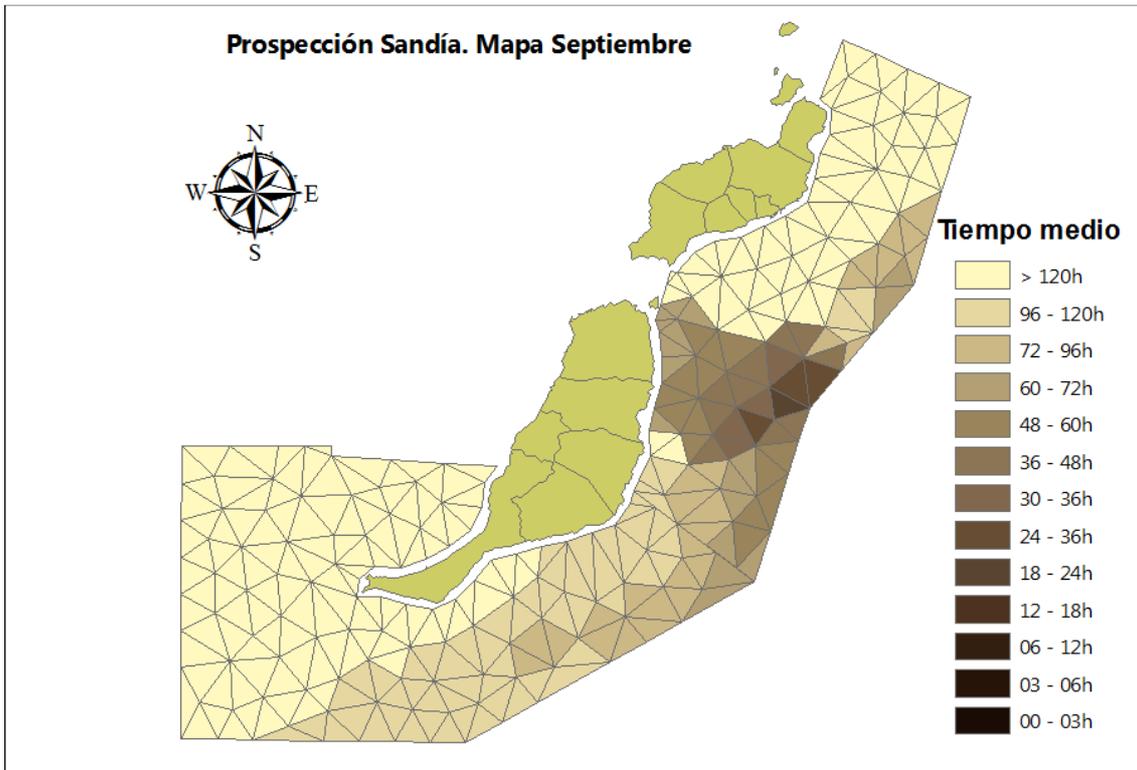
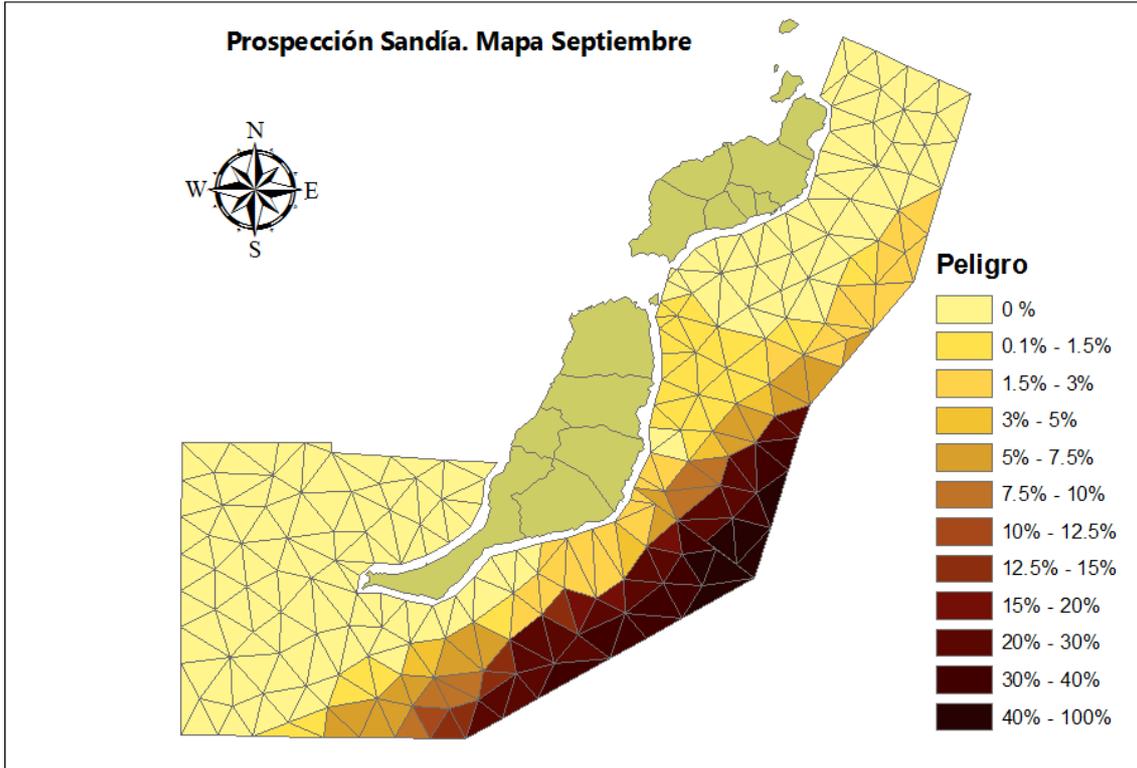


Fig A3.3.10.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Septiembre

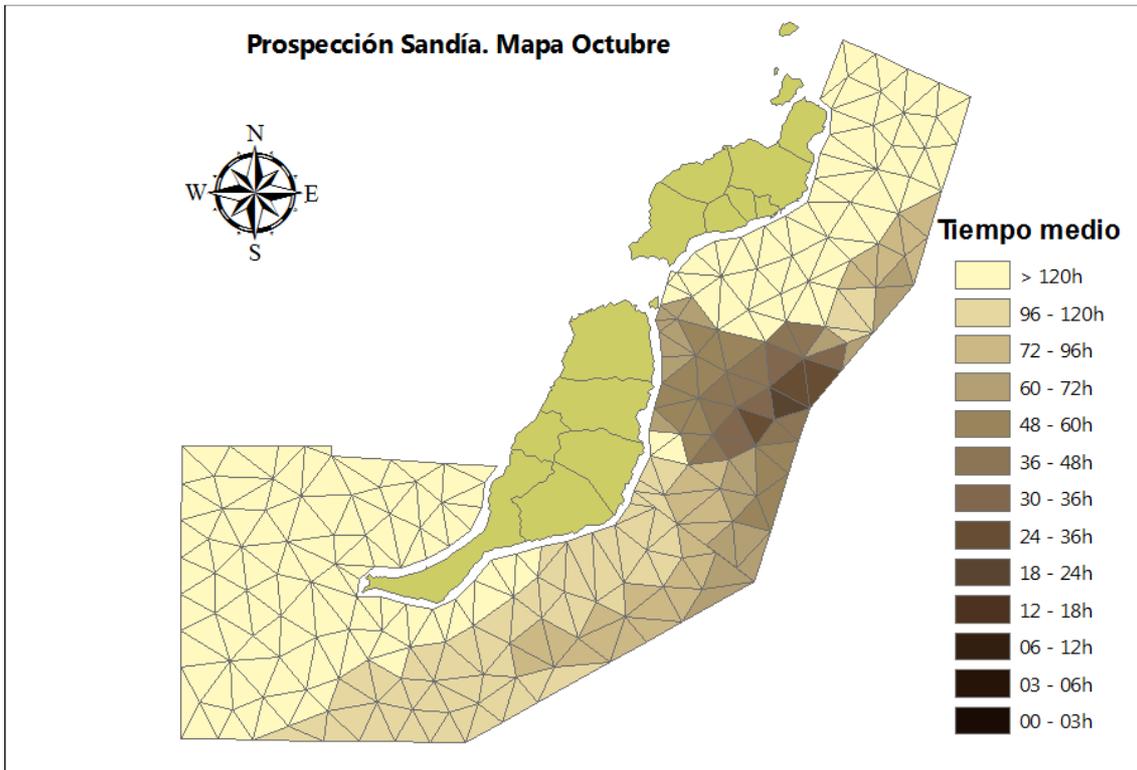
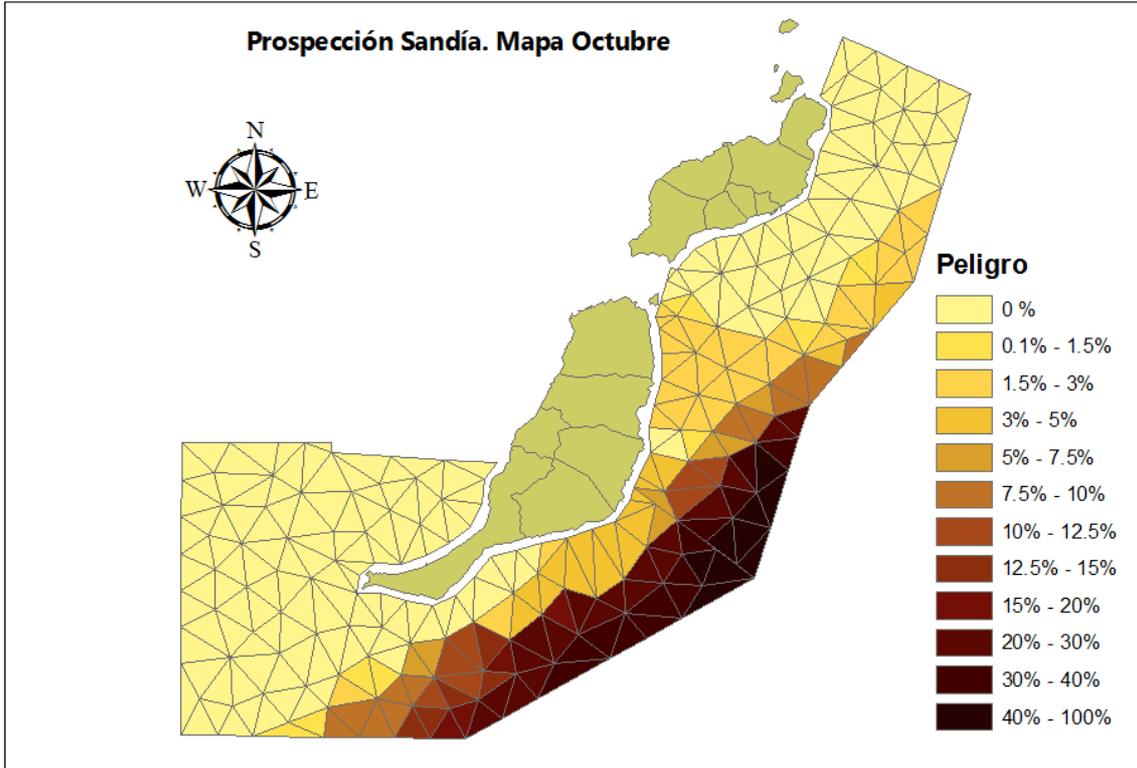


Fig A3.3.11.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Octubre

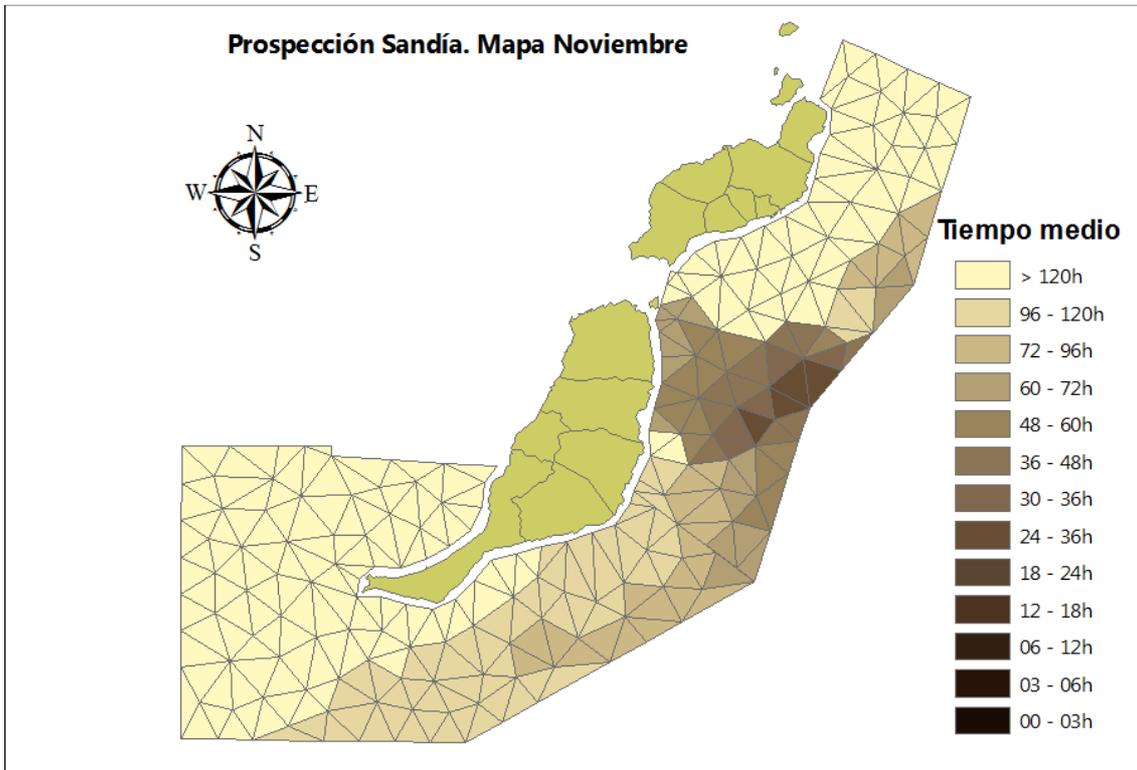
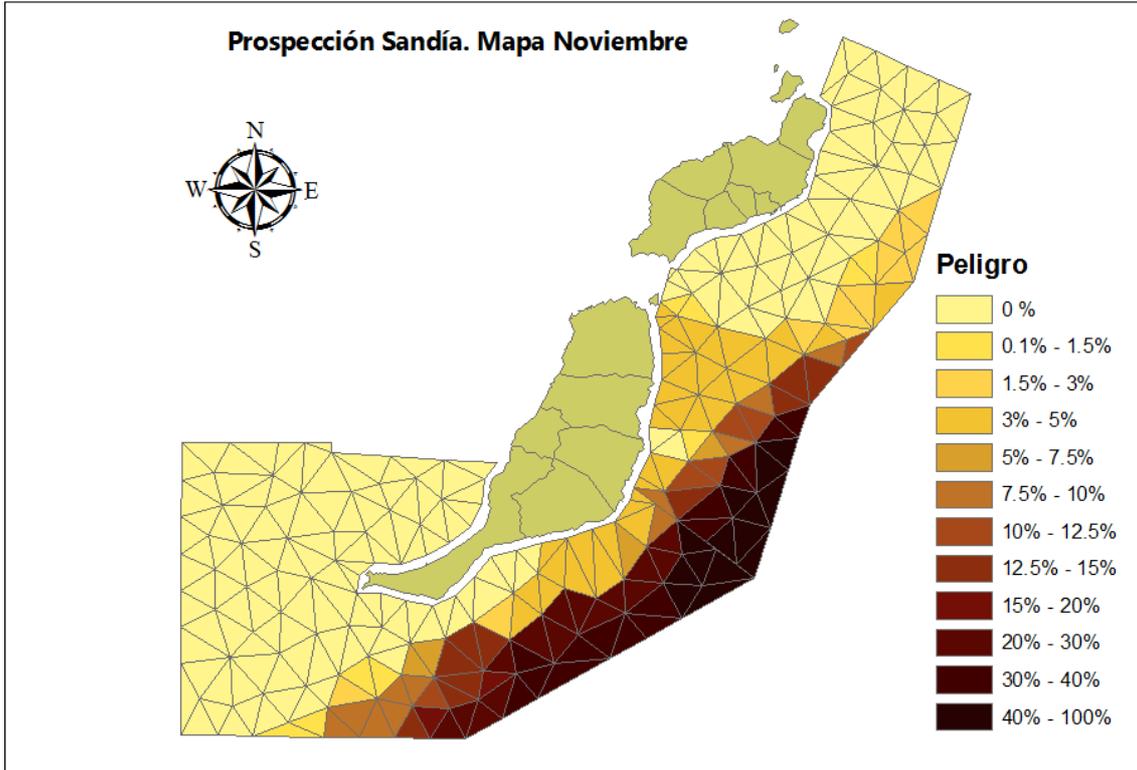


Fig A3.3.12.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Noviembre

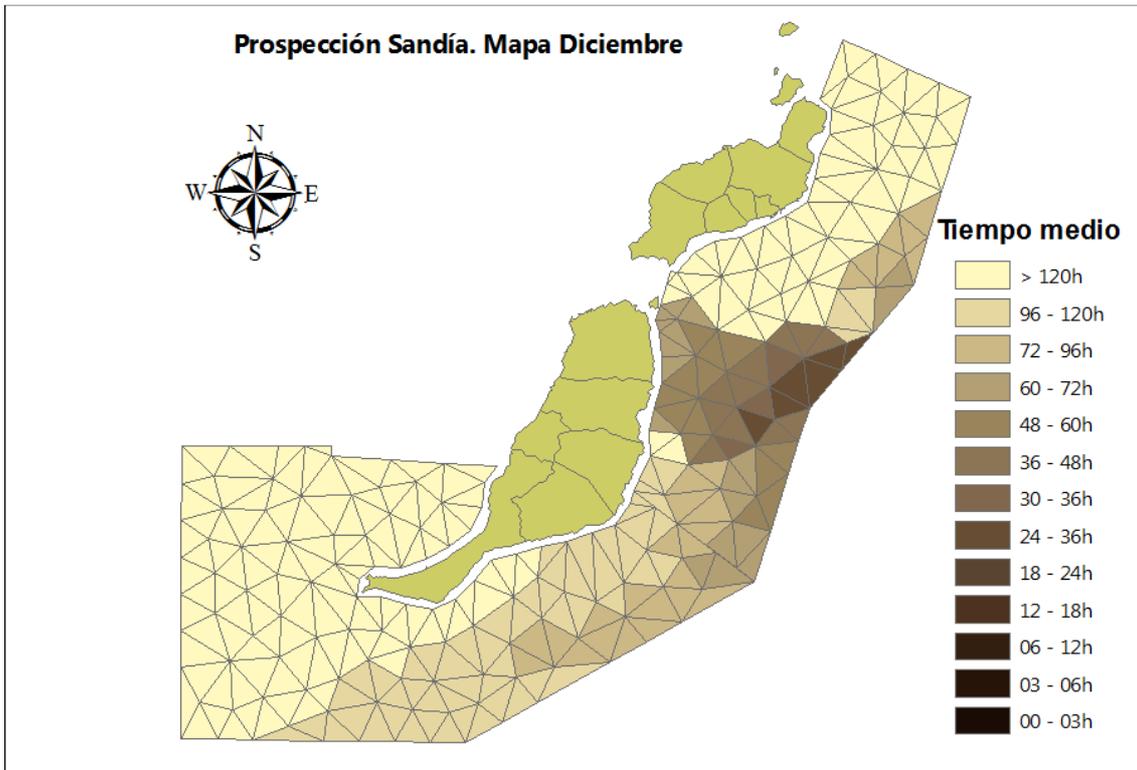
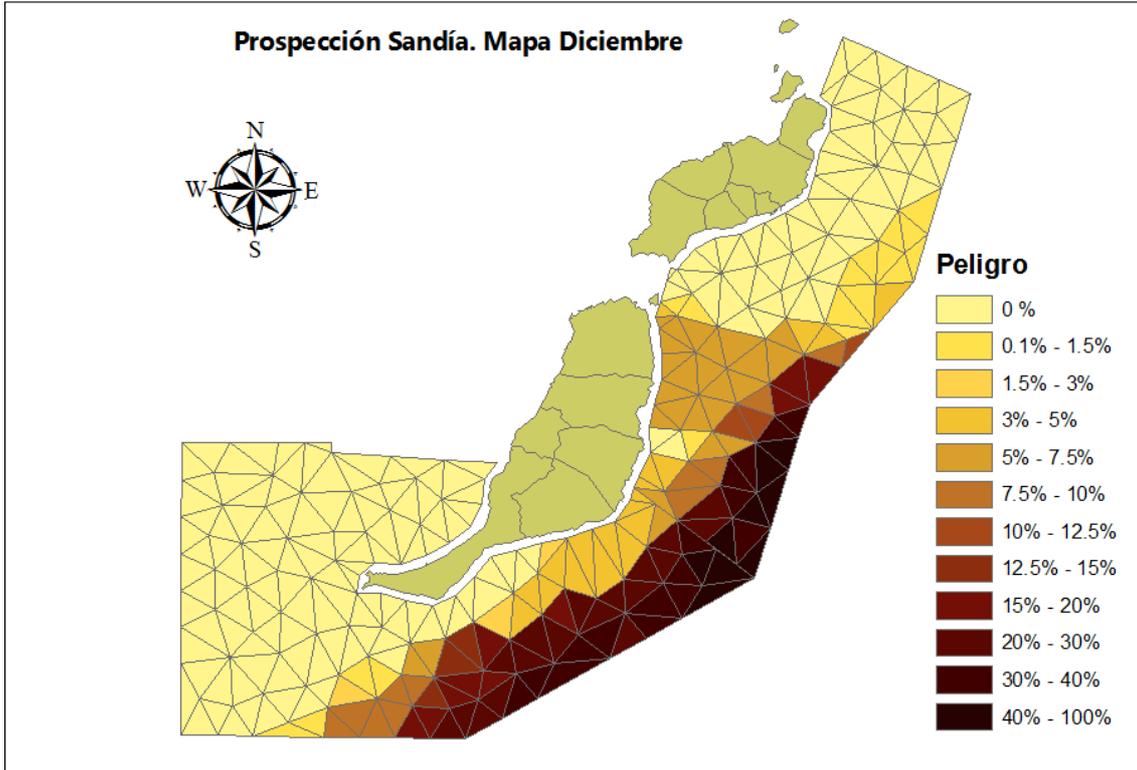


Fig A3.3.13.- Probabilidad de llegada del vertido (izquierda) y tiempo medio de llegada (derecha) para el mes de Diciembre