

UNIVERSIDAD POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“Aplicación de los sistemas de  
información geográfica en la  
caracterización de aguas. Caso de  
estudio: La Safor”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/es:

**Lluís Romero Estrugo**

Tutor/es:

**D. Javier Estornell Cremades**

**D. Josep Vicent Llinares Palacios**

GANDIA, 2015

## RESUMEN

La aplicación de sistemas de información geográfica (SIG) en el ámbito de las ciencias ambientales es cada vez mayor, como así se demuestra en la elevada cantidad de estudios en hidrología, edafología, gestión forestal, impacto ambiental, contaminación ambiental, auditoría ambiental, etc.

Las aguas superficiales y subterráneas en el litoral de la Comunitat Valenciana se ven afectadas por la intrusión marina y por la contaminación por nitratos. En el siguiente proyecto se aplicarán los SIG para cartografiar la calidad de las aguas en la comarca de La Safor.

Se generarán cartografías de distribución de cloruros y nitratos para analizar la situación de la comarca detectando zonas críticas y aptas. Aplicando superposición espacial entre las diferentes cartografías se va a estudiar la evolución de estas variables a lo largo del tiempo y finalmente se intentará proponer alternativas para que la situación se dirija al mejor estado ambiental posible.

## ABSTRACT

The application of geographical information systems (GIS) in environmental science field is constantly increasing such as studies of hydrology, soil science, forest management, environmental studies, etc.

GIS techniques were applied in this project for mapping the quality of waters in the Safor region. This region is localized in the coast of Valencian region and both surface and ground waters are affected by marine intrusion and nitrate pollution.

Cartography of distribution of those variables was generated for detecting critical and suitable regions. Spatial overlapping analysis was applied among different cartographies to study the evolution and finally some actuations will be proposed for achieving the best environmental situation.

### Palabras clave

Sistemas de información geográfica, cartografiar, intrusión marina, contaminación por nitratos.

### Keywords

Geographical information systems, mapped, marine intrusion, nitrate pollution.

## AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento al profesor Fernando Sendra por toda la información y datos que ha cedido para realizar este proyecto final de grado.

# ÍNDICE

1. OBJETIVOS .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
3. MATERIAL Y MÉTODOS .....	4
3.1. ÁREA DE ESTUDIO .....	4
3.2. PUNTOS DE MUESTREO .....	8
3.2.1. Valoración de los cloruros [Cl <sup>-</sup> ].....	10
3.2.2. Valoración de los nitratos [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ].....	10
3.3. SOFTWARE UTILIZADO .....	11
3.4. TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN .....	12
3.4.1. Técnicas de interpolación deterministas. <i>IDW</i> .....	12
3.4.2. Técnicas de interpolación geoestadísticas. <i>Kriging</i> Ordinario .....	12
3.4.3. Análisis comparativo entre ambas técnicas.....	14
3.4.4. Análisis de los mapas de distribución y evolución .....	14
4. RESULTADOS .....	15
4.1. Aplicación de la técnica <i>IDW</i> .....	15
4.2. Aplicación de la técnica <i>Kriging</i> ordinario.....	18
4.3. Análisis comparativo de <i>IDW</i> y <i>Kriging</i> ordinario.....	22
4.4. Análisis de los mapas de distribución y evolución .....	23
4.4.1. Cloruros .....	23
4.4.2. Nitratos.....	28
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	33
5.1. La intrusión marina .....	33
5.2. Contaminación por nitratos .....	37
6. CONCLUSIONES .....	42
7. BIBLIOGRAFÍA .....	43

# 1. OBJETIVOS

Objetivo principal:

Aplicar herramientas SIG (sistemas de información geográfica) para la caracterización de aguas.

Objetivos secundarios:

Analizar diferentes métodos de interpolación para la generación de modelos geoespaciales de los cloruros y los nitratos

Obtener e interpretar mapas de evolución de los cloruros y nitratos de la zona.

Estudiar los procesos intrusivos y afecciones a la calidad de las aguas subterráneas alteradas por acciones antrópicas.

## 2. INTRODUCCIÓN

La intrusión marina es uno de los principales problemas ambientales que hay en las zonas costeras de España. El hombre explota el acuífero no solo para consumo humano, sino para la agricultura, ganadería, actividades de ocio, etc., llegando a un punto donde se pasa de la explotación a la sobreexplotación. La sobreexplotación se genera cuando la tasa de explotación es superior a la tasa de recarga natural del acuífero, generando el descenso del nivel freático del acuífero, facilitando la entrada de agua salada y, por lo tanto, contaminando el propio acuífero sobreexplotado. Como consecuencia se produce un deterioro de la calidad del agua del acuífero, lo que restringe los usos humano, ganadero y agrícola entre otros. En este punto, donde el agua del acuífero es prácticamente inservible, se pueden plantear 3 alternativas. En primer lugar, frenar el proceso de intrusión marina, evitando que el problema avance hacia acuíferos más interiores. En segundo lugar, mirar hacia otro lado y dejar que avance la intrusión marina. Y en tercer lugar, descontaminar el acuífero, es decir, conocer la situación y desarrollar todas las actuaciones necesarias para expulsar el agua del mar del acuífero, con el fin de devolver al agua del acuífero todos sus usos.

La concentración límite marcada por la Unión Europea que no debe excederse en ninguna masa de agua es de 250 mgCl<sup>-</sup>/L (Direcció General de Salut Pública i Consum, 2014). Aunque superar ésta no supone daño alguno a la salud humana, debido a su fácil detección por los humanos (Direcció General de Salut Pública i Consum, 2014), sí genera problemas en la agricultura, en el ganado y en la biodiversidad, etc., problemas que se traducen en daños ambientales, materiales y económicos.

Por otro lado, otro problema ambiental que se detecta en la Comunitat Valenciana es la contaminación del agua subterránea a causa de los nitratos. Debido a la excesiva fertilización, sobre todo en los campos de naranjas, las aguas presentan este grave problema ambiental. Los acuíferos más contaminados por nitratos son los que se encuentran más en contacto con la superficie agrícola de la zona, principalmente con la zona de cítricos y la zona de hortalizas, debido a la gran cantidad de abono nitrogenado y agua que reciben éstas. Un dato anecdótico es que, con las tasas de fertilización normalmente recomendadas, se producen pérdidas de 50-60 kg de nitrógeno por hectárea y año (Centro Rural de información Europea, 2014).

Como ya es conocido, antiguamente los agricultores asociaban una mayor y mejor producción a una mayor fertilización, por lo tanto, es de suponer que en el pasado, una enorme cantidad de nitratos por hectárea y año alcanzaron las aguas superficiales y subterráneas, dejando una grave herencia en las aguas de la Comunitat. Actualmente la problemática sigue existiendo llegando a afectar a las aguas de consumo. La concentración máxima marcada por la Unión Europea, en cualquier masa de agua, es de 50 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L (Centro Rural de información Europea, 2014). De igual modo que pasa con la intrusión marina, la contaminación por nitratos debe ser considerado como un problema global que afecta a las personas, a la biodiversidad, a la agricultura, a la ganadería, a la economía, etc.

Para conocer la situación del agua en la comarca de La Safor entre 2005 y 2010 con respecto a estas dos problemáticas ambientales, se van a utilizar los SIG. Los sistemas de información geográfica son una serie de herramientas que tienen la

función de organizar, almacenar, estudiar y analizar variables del mundo real siempre que éstas tengan una conocida posición en el espacio (característica común). En este caso, se cuenta con una muestra experimental de puntos cuyas coordenadas son conocidas, repartidos a lo largo y ancho de la comarca, de los cuales se conocen tanto los valores de los nitratos como los de cloruros. Dentro de los SIG, operaciones como la superposición espacial y cartografiado de distribución de estas variables serán las herramientas que se utilizarán en el proyecto, permitiendo calcular el valor de la variable en una posición del espacio (punto no muestral), conociendo los valores de esa variable en otras posiciones del espacio (puntos muestrales) (Bosque, 1992). Otra de la ventaja de los SIG es que al trabajar con información geoespacial permite relacionar diferentes capas de información geográfica como litología, suelos, climatología, etc., lo que permite realizar un análisis más riguroso. Existen diversas técnicas de interpolación entre las que se encuentra las deterministas y las geoestadísticas. Previo a aplicar la función de interpolación éstas deben ser estudiadas, deben conocerse los fundamentos matemáticos de cada una de ellas y deben ser comparadas, con el objetivo de seleccionar cual es la mejor técnica para aplicar la interpolación. Una vez seleccionada será posible aplicar la función de interpolación tanto para los cloruros como para los nitratos. Los resultados de aplicar estas herramientas serán mapas de distribución de estas variables en toda la zona de estudio. Estos datos permitirán conocer el estado medioambiental del agua de la comarca, analizar el estado de los acuíferos, estudiar la evolución registrada y conocer los principales factores que influyen en el valor de cada variable.

## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

### 3.1. ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es la comarca de La Safor localizada en la costa sureste de la provincia de València, siendo la capital de esta comarca Gandia. La Safor limita con otras comarcas valencianas de la siguiente manera, por el norte con la Ribera Alta y Ribera Baixa, al sur con la Marina Alta, al oeste con la Vall d'Albaida y al Este con el mar Mediterráneo.

Las características más representativas de la comarca con respecto al medio natural, como la geología edafología, vegetación etc. se obtienen del estudio de Forteza *et al.*, (1995).

En la Safor se pueden encontrar zonas montañosas y zonas costeras. Las zonas montañosas están constituidas principalmente por rocas mesozoicas, que se caracterizan por ser de naturaleza fundamentalmente carbonatada, las cuáles se originaron en los periodos Triásico, Jurásico y Cretácico. Por otra parte, las zonas costeras están constituidas por rocas cenozoicas que se caracterizan por su naturaleza terrígena (arenas y limos). Se formaron durante el Terciario y Cuaternario y se localizan en toda la comarca, principalmente en la zona litoral. A su vez, la comarca se divide en 3 unidades fisiográficas. En primer lugar, la unidad fisiográfica de altiplanos y valles encajados. Principalmente se puede asociar a las zonas más interiores de Tavernes de la Vallidigna, Xeresa, Xeraco y Gandia. El mejor ejemplo de valle es la propia localidad de Tavernes de la Vallidigna, y el mejor ejemplo de altiplano se encuentra en las localidades de Xeresa y Gandia, con el Monte Mondúver y la Sierra de la Drova respectivamente. En segundo lugar la unidad fisiográfica Bética se caracteriza por presentar las orientaciones suroeste-nordeste de la cordillera bética. Principalmente se puede asociar a la zona sur de la comarca, y aunque no se localice exactamente en el interior de ésta, el mejor ejemplo es el Macizo del Montgó, situado en Dénia. En último lugar la unidad fisiográfica de las llanuras litorales. Las llanuras litorales se asocian a todo el litoral de la comarca, desde Tavernes de la Vallidigna a Oliva. Se han ido formando por los aportes continentales (ríos, ramblas, torrentes, arroyadas en manto, marjales) que generan la acumulación de potentes materiales terrígenos, los cuáles han sido aportados por la erosión de los relieves mesozoicos o por la deposición de sedimentos marinos durante el Terciario y Cuaternario.

La climatología de la zona viene representada principalmente por los factores temperatura y precipitación. Con respecto a la temperatura, la altitud es el factor que más influencia tiene sobre ésta. En general, las temperaturas aumentan desde el interior hasta la costa y de norte a sur. Se puede decir que La Safor tiene las temperaturas más altas de la Comunitat, una media de entre 17 y 19 °C, a lo largo del año. Con respecto a la precipitación, de igual manera que sucede con las temperaturas, ésta tiene cierto carácter orográfico, con excepciones a causa de la proximidad del mar. La comarca de La Safor es uno de los lugares donde la pluviosidad es máxima, pudiéndose encontrar localidades con valores superiores a 1100 mm anuales, enormes tasas de pluviosidad relacionadas con las formaciones orográficas de la zona, como por ejemplo, las montañas de la Safor y el Mondúver. Estas elevadas precipitaciones suelen producirse durante pequeños periodos de

tiempo, principalmente en otoño, por lo que, la comarca de La Safor presenta la mayor torrencialidad de la Comunitat Valenciana. Como representación de la climatología de la comarca se observa en el diagrama ombrotérmico de Gandia.

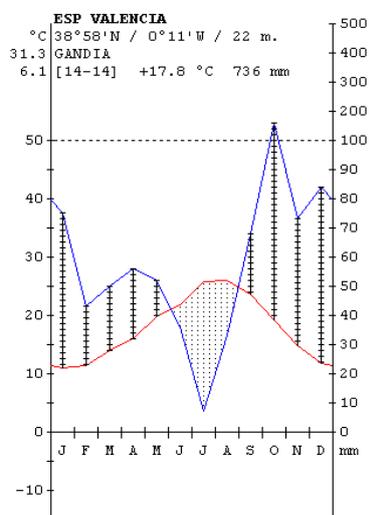


Figura 1: Diagrama ombrotérmico de Gandia.  
Fuente: Worldwide Bioclimatic Classification System, 2014.

Un aspecto importante para conocer el comportamiento del agua, sobre todo, del agua subterránea, son los suelos característicos de la zona. En este caso los principales suelos son:

**Fluvisoles:** suelos formados a partir de depósitos aluviales y coluviales recientes. Se caracterizan por recibir nuevos aportes de material a intervalos variables de tiempo. Se asocian a las llanuras litorales (unidad fisiográfica) y principalmente se localizan en los cursos de agua, como por ejemplo el río Xúquer. Tradicionalmente han sido utilizados como zonas de huerta y frutales en los alrededores de los núcleos urbanos. Se pueden considerar suelos con elevada productividad, con texturas variables, los contenidos en materia orgánica son bajos y el pH varía entre 7,5 y 8,1 dependiendo de los carbonatos, que oscilan entre el 15 y 60%. Al ser principalmente zonas de huerta y frutales, presentan exceso de abonamiento, sobre todo, de la fertilización nitrogenada.

**Gleisoles:** suelos formados a partir de materiales no consolidados que presentan propiedades gleicas. Éstas se caracterizan por una capa de agua suspendida estacionariamente, que satura la totalidad de los poros de la mayor parte del perfil durante un largo periodo de tiempo, cosa que produce condiciones anaeróbicas y procesos de reducción en elementos como el hierro, acumulación de materia orgánica y procesos de desnitrificación (pasar a  $N_2(g)$ ) entre otros. Se encuentran en las zonas húmedas de la Comunitat, como en el marjal de Gandia y el marjal de Pego-Oliva. Gracias a las propiedades gleicas, estas zonas presentan una elevada biodiversidad, tanto botánica como faunística. Se trata de suelos con textura fina, el pH oscila entre 7,5 y 7,85 dependiendo de los carbonatos que varían entre un 46 y 63%, la materia orgánica fluctúa entre un 6 y 17% y los contenidos en fósforo son elevados a causa del aporte de abonos.

Leptosoles: suelos limitados en profundidad por una roca dura continua o por material muy calcáreo. Se localizan en todas las áreas de montaña caliza y son el resultado de un intenso proceso erosivo, que deja el suelo reducido a su mínima expresión, incluso el proceso continúa hasta llegar a la degradación irreversible del suelo.

Arenosoles: suelos con características muy peculiares en las que predomina la fracción arena mayoritariamente. A causa de la falta de partículas finas y materia orgánica se impide la formación de un verdadero complejo iónico, de ahí su muy baja fertilidad. Además, debido a su textura arenosa, éste manifiesta gran facilidad de infiltración y escasa capacidad de retención de agua, por lo que las plantas se ven sometidas a un estrés hídrico, que en algunas ocasiones se puede compensar cuando la capa freática no es muy profunda, como es el caso de las dunas. También se caracteriza por la rápida mineralización de la materia orgánica debido a una elevada aireación, y una gran facilidad de calentamiento debido al cuarzo. Por último hay que matizar la fragilidad de éstos frente a procesos erosivos, a no ser, que estén fijados mediante una adecuada cubierta vegetal, como el caso de las dunas. En la zona se encuentran arenosoles calcáricos en la playa del Ahuir (Gandia) y arenosoles gleicos en Casas Devesa (Oliva).

Solonchaks: suelos que se localizan en las marjales litorales como es el caso de Gandia y Pego-Oliva. Se caracterizan por sus propiedades sálicas, proporcionando una elevada conductividad eléctrica y pudiendo ocasionar una destrucción del suelo al formarse una costra salina, debido de la gran evaporación de las sales en los periodos secos.

Luvisoles: se les puede considerar como uno de los tipos de suelos más evolucionados y antiguos de la Comunitat. Se caracterizan por un horizonte B árgico, siendo éste un horizonte subsuperficial que tiene un contenido en arcilla mayor que el horizonte superior.

Otro de los aspectos importante para conocer la zona es conocer la vegetación presente en ella. La Comunitat Valenciana presenta una gran riqueza florística como consecuencia de su situación geográfica particular, entre el mar y la meseta, y por su orografía característica. En la Comunitat existen aproximadamente 2500 especies, mayoritariamente mediterráneas aunque también atlánticas y centroeuropeas, destacando 115 endemismos. Desde el punto de vista corológico (ciencia que estudia la distribución, localización de la flora y la fauna en el mundo) la zona de La Safor pertenece al reino Holártico, región Mediterránea, subregión Mediterránea occidental, provincia Valenciano-Catalano-Provenzal-Balear y sector Setabense, donde se presenta un clima templado y litoral. Las especies más comunes son: *Pinus halepensis* (pino blanco), *Quercus ilex* (carrasca), *Quercus coccifera* (coscoja), *Acer opalus* (orón), *Juniperus oxycedrus* (enebro rojo), *Pistacia lentiscus* (lentisco), *Chamaerops humilis* (palmito), *Arbustus unedo* (madroño), *Rhamnus alaternus* (alaterno), *Ulexparviflorus* (tojo), *Stipa tenacissima* (esparto) y *Myrtus communis* (mirto). Con respecto a las especies más características de la zona litoral, destaca en la zona de duna el *Elymus farctus*, *Ammhophila arenaria* ssp. *arundinacea*, *Calystegia soldanella* y *Medicago marina* entre otras. Por último dentro del marjal destacan los carrizos, eneales y juncales (comunidades palustres), como *Thypho-Scirpetum*

*tabernaemontani*, *Thypha angustifolia*, *Phragmites australis* y el carrizal original valenciano, *Thypho-Phragmitetum maximi*.

Por último, estrechamente ligado a las aguas subterráneas están las unidades hidrogeológicas de la zona, es decir, los acuíferos. En la comarca de La Safor se localizan los siguientes acuíferos (Sastre y Morera, 2005):

**Serra Grossa:** acuífero que se extiende desde la Font de la Figuera hasta Simat de la Valldigna, Xeraco, Xeresa y Gandia. Se trata de un acuífero alargado de unos 60 Km de longitud y una anchura máxima de 15 Km. El acuífero se encuentra más o menos conectado en toda su extensión debido a los materiales detríticos permeables y que conectan con las calcáreas de abajo. Dentro de éste existe otra subdivisión de acuíferos formada por los acuíferos de Barx, Marchuquera-Falconera, el jurásico de Xeraco y el propio Serra Grossa.

**Benicadell-Almirall-Gallinera:** acuífero que se extiende desde Agullent hasta Oliva. Se trata de un acuífero de forma alargada de unos 40 Km de longitud y una anchura máxima de 12 Km. Ésta representado por la Sierra de Ador y la sierra de la Safor. Los materiales son muy parecidos al acuífero Serra Grossa, por lo que, se considera permeable en su totalidad. Dentro de éste existe otra subdivisión de acuíferos formada por los acuíferos de Oliva, Palma de Gandia, Ador, Villalonga y Salem- Albuerca-Gallinera- Mustalla.

**Serra de Corbera-Les Agulles-Les Creus:** el acuífero más septentrional de la comarca, donde predominan los materiales calcáreos y las dolomitas.

**Acuífero litoral:** se extiende sobre materiales detríticos a lo largo de la línea de costa desde el norte de Cullera hasta el sur del Montgó. Formado básicamente por las descargas de los otros acuíferos o aportaciones de la superficie. Destaca por su conexión con la interfase salubre del agua del mar, de manera que está más expuesta a la posible intrusión marina. Dentro de éste existe otra subdivisión de acuíferos formada por los acuíferos de Plana de Xeraco, Plana de Gandia y Plana Oliva-Pego.

A continuación en la tabla 1 se observa que municipios están en contacto directo con los principales acuíferos:

Tabla 1: Conexión Acuíferos-Municipios.

Acuíferos	Municipios
Serra de Corbera- Les Agulles- Les Creus	Tavernes de la Valldigna/ Benifairó de la Valldigna/ Simat de la Valldigna
Serra Grossa	Tavernes de la Valldigna/ Benifairó de la Valldigna/ Simat de la Valldigna/ Barx/ Xeraco/ Xeresa/ Gandia/ Ador/ Palma de Gandia/ Ròtova/ Real de Gandia/ Alfauir/ Llocnou de Sant Jeroni/ Almiserà/ Castellonet de la Conquesta
Benicadell- Almirall- Gallinera	Llocnou de Sant Jeroni/ Castellonet de la Conquesta/ Ador/ Villalonga/ Potries/ La Font d'en Carròs/ Oliva/ Rafelcofer/ l'Alqueria de la Comtessa
Acuífero litoral	Tavernes de la Valldigna/ Benifairó de la Valldigna/ Simat de la Valldigna/ Xeraco/ Xeresa/ Gandia/ Daimús/ Guardamar de la Safor/ Bellreguard/ Piles/ Miramar/ Real de Gandia/ Almoines/ Palmera/ Beniarjó/ Beniflà/ Potries/ l'Alqueria de la Comtessa/ Ador/ Villalonga/ La Font d'en Carròs/ Palma de Gandia/ Oliva

### **3.2. PUNTOS DE MUESTREO**

Para poder aplicar los SIG y las técnicas de interpolación, primeramente se debe de tener una muestra de datos experimentales, es decir, datos de campo referenciados espacialmente. En este caso se cuenta con 28 puntos experimentales localizados por toda la comarca, cada uno de ellos con valor de las variables que caracterizan el estado del agua. Los valores se analizan entre 2005 y 2010. Estos datos tienen frecuencia mensual, es decir, 12 medidas por año. La tabla 2 contiene las coordenadas UTM en el sistema de referencia ETRS89 y los municipios y acuíferos a los que pertenece cada punto.

Además mediante esta información se elaboran diversos mapas de la zona. Ver Anexo mapas: Anexo 1 y 2.

Tabla 2: Localización de los puntos de muestreo.

Municipio	Nº de puntos	Nombre punto de muestreo	Acuífero	X (UTM)	Y (UTM)
Bellreguard	1	Paloma	Acuífero litoral/ Plana de Gandia	746811	4315527
Benifairó de la Valldigna	1	Calderer camí fondo	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	734229	4326756
Gandia	2	El farinero	Serra Grossa/ Marchuquera-Falconera	742467	4317035
		Montaner	Acuífero litoral/ Plana de Gandia	745297	4319413
Oliva	8	Mateu-Bertomeu	Benicadell-Almirall-Gallinera/ Salem- Albuerca- Gallinera- Mustalla	748910	4307501
		Font salada	Acuífero litoral/ Plana Oliva-Pego	753028	4308894
		La barraca	Acuífero litoral/ Plana Oliva-Pego	751941	4310793
		Aigües del bullent	Benicadell-Almirall-Gallinera/ Salem- Albuerca- Gallinera- Mustalla	751908	4306885
		El bosquet	Acuífero litoral/ Plana Oliva-Pego	750581	4311980
		Server-Atsubiano	Benicadell-Almirall-Gallinera/ Salem- Albuerca- Gallinera- Mustalla	747252	4306683
		Brines-Martí	Acuífero litoral/ Plana de Gandia	748884	4312313
		El salt	Benicadell-Almirall-Gallinera/ Oliva	748582	4309966
Palma de Gandia	3	El raconet	Serra Grossa/ Marchuquera-Falconera	737728	4315174
		L'esperança	Serra Grossa/ Marchuquera-Falconera	738538	4315951
		Torrotxa	Serra Grossa/ Marchuquera-Falconera	740173	4313928
Piles	1	El valencia	Acuífero litoral/ Plana de Gandia	748526	4314399
Ròtova	1	Sant Bertomeu la plana	Serra Grossa/ Marchuquera-Falconera	737746	4313949
Simat de la Valldinga	1	Fontarda	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	734269	4325067
Tavernes de la Valldigna	6	Raconàs- Bartolo	Serra de Corbera- Les Agulles- Les Creus	736198	4330543
		L'hort del molí	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	735321	4327214
		Massalari	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	738149	4330891
		Eras Forn superficial	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	736328	4332753
		El raconàs-Calderer	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	736800	4331156
		Voramar	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	741103	4328295
Villalonga	1	Pantà	Acuífero litoral/ Plana de Gandia	742173	4309759
Xeraco	3	Sant isidre	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	740748	4323752
		Marjal xeraco	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	741335	4324303
		La calçada	Acuífero litoral/ Plana de Xeraco	740943	4324985

Fuente: Elaborado a partir de los datos de campo del profesor Fernando Sendra.

Como se ha mencionado, en cada punto de campo se han obtenido diferentes variables que caracterizan el estado del agua, pero para este estudio solo son de interés los cloruros y los nitratos.

La información de cada variable ha sido aportada por el profesor Fernando Sendra. Para ello los pasos seguidos por el profesor Fernando Sendra han sido: primeramente la toma de las muestras de agua correspondientes. El volumen de agua a coger debe de ser el suficiente para poder caracterizar las propiedades físico-químicas, además de ser fácilmente manipulable y transportable. A la hora de tomar la muestra, ésta se toma directamente del pozo mediante envases, los cuáles se deben enjuagar mínimo 2 veces con el agua a analizar. Los envases deben ser de polietileno con tapón roscado y con una capacidad de 250ml, siempre lavados con jabón sin fosfatos y bien aclarados con agua destilada. Una vez captada la muestra, intentando dejar un 1% del volumen del envase con aire, se debe etiquetar correctamente para su correcta identificación (origen, fecha y localización). Una vez la muestra es llevada al laboratorio se lleva a cabo la valoración de los nitratos y los cloruros mediante el método oficial de análisis correspondiente.

### 3.2.1. Valoración de los cloruros [Cl<sup>-</sup>]

Para poder valorar los cloruros el procedimiento a seguir es el siguiente (Heredia *et al.*, 1994):

Elaborar una solución de nitrato de plata 0,1 N (reactivo 1).

Elaborar una solución de cromato de potasio al 5% (reactivo 2).

Una vez elaborados los reactivos, se puede valorar la muestra. En primer lugar, coger un volumen ( $V''$ ) de muestra y añadir unas gotas del reactivo 2. Una vez añadido el cromato de potasio, se debe de ir añadiendo poco a poco y agitando enérgicamente el reactivo 1, hasta alcanzar un color pardo-rojizo permanente. En este punto se mide el volumen que ha sido necesario del reactivo 1 ( $V$ ). Posteriormente se realiza un ensayo en blanco y es calculado en volumen ( $V'$ ) (volumen reactivo 1 en el blanco) Finalmente los cloruros se valoran mediante la siguiente ecuación:

$$Cl^{-}(mg/l) = 3,55 * 1000 * \frac{V - V'}{V''}$$

Ecuación 1.

### 3.2.2. Valoración de los nitratos [NO<sub>3</sub>]

Para poder valorar los nitratos el procedimiento a seguir es el siguiente (Heredia *et al.*, 1994):

Elaborar una solución patrón de nitrato, necesaria para elaborar la curva patrón y calcular el contenido de la muestra.

Elaborar una suspensión de hidróxido de aluminio que sirva para eliminar el color o la posible turbidez de la muestra.

Una vez realizado lo anterior, se pasa a valorar los nitratos de la muestra. En primer lugar, coger un determinado volumen de la muestra y si ésta presenta color o turbidez,

añadir la suspensión de hidróxido de aluminio en proporción 4ml  $\text{Al}(\text{OH})_3/100\text{ml}$  muestra. Una vez añadido, dejar sedimentar 5 minutos y pasar a través de un filtro de membrana (aclara con agua ultrapura). A continuación coger 50ml de muestra clarificada, añadir 1ml de ácido clorhídrico 1N, agitar y leer en el espectrofotómetro a 220 nm y 275 nm. La lectura que posteriormente se debe de valorar en la curva patrón se calcula de la siguiente manera:

$$Lec = Lec(275)x2 - Lec(220)$$

Ecuación 2.

Por último, calcular la concentración de la muestra mediante la curva patrón elaborada.

### 3.3. SOFTWARE UTILIZADO

Una vez conocidos los valores de las variables de interés, y obtenida la muestra experimental georreferenciada se vuelca esta información en un SIG. El software por excelencia, cuando se habla de sistemas de información geográfica, es el *ArcGis* (© Esri). Este programa permite realizar una serie de operaciones, capturar, analizar, diseñar, crear, etc., datos geoespaciales. En este estudio se utilizarán herramientas que permiten generar mapas, realizar análisis de superposición espacial y cálculo de superficies de distribución de las variables químicas (nitratos y cloruros). Para este último caso, es necesario aplicar herramientas de interpolación que permitan estimar el valor de la variable en cualquier punto del espacio. La extensión del programa *ArcGis* que permite realizar estos cálculos es *Geostatistical Analyst*. Mediante esta extensión se puede conocer características de la distribución espacial de la variable, como la existencia de puntos extremos (*outliers*), tendencias globales, cálculo del semivariograma, existencia de isotropía o de anisotropía y por último modelar las superficies de estimación de cada variable. La extensión *Geostatistical Analyst* es la herramienta fundamental en la pre-interpolación, en la interpolación y en la post-interpolación.

### 3.4. TÉCNICAS DE INTERPOLACIÓN

Dentro de las técnicas de interpolación existen las técnicas deterministas y las técnicas geoestadísticas, que van a ser comparadas con el objetivo de seleccionar cual de ellas se debe aplicar en la caracterización de la calidad de las aguas.

#### 3.4.1. Técnicas de interpolación deterministas. *IDW*

Las técnicas de interpolación deterministas se caracterizan por aceptar unas suposiciones generales, habitualmente no contrastadas, sobre el carácter general de la variable y de la superficie a interpolar, y en función de éstas, se establece la función matemática de interpolación (métodos directos) (Moreno, 2007). Éstas se pueden clasificar de 2 maneras, en función del número de datos experimentales utilizados y en función de la exactitud con la que son tomados los valores de la muestra. En primer lugar, las técnicas deterministas pueden ser globales, cuando se tienen en cuenta todos los valores experimentales o locales cuando sólo emplean los puntos experimentales que están en vecindad para realizar la estimación (Moreno, 2007). Y en segundo lugar, pueden ser exactas, cuando se reproducen los valores experimentales de manera exacta, o aproximadas, cuando los datos de la muestra se reproducen de manera aproximada (Moreno, 2007).

Dentro de las técnicas de interpolación deterministas la media ponderada por el inverso de la distancia, denominada en inglés *Inverse Distance Weighted (IDW)* es la técnica que va a ser utilizar en el proyecto, la cual se caracteriza por ser una técnica determinista local y exacta (en la actualidad se considera que las técnicas locales se ajustan más a la realidad) (Moreno, 2007).

Este método se basa en el principio de autocorrelación espacial, por lo que los datos geográficos son más parecidos cuando más cerca están, por lo que, a la hora de realizar la estimación, los puntos más próximos al punto a predecir tienen más peso que los puntos más lejanos (Moreno, 2007). A partir de esta base fundamental, la ecuación matemática para realizar la estimación es la siguiente:

$$z(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda z(s_i)$$

Ecuación 3.  
Fuente: Moreno, 2007.

Donde  $z(s_0)$  es el valor que se quiere predecir para el punto  $(s_0)$ .  $N$  es el número de puntos experimentales que son tenidos en cuenta.  $\lambda$  es el peso asignado a cada punto experimental y  $z(s_i)$  es el valor de la variable de cada punto experimental (Moreno, 2007).

#### 3.4.2. Técnicas de interpolación geoestadísticas. *Kriging Ordinario*

Las técnicas de interpolación geoestadísticas se caracterizan por estudiar la autocorrelación espacial de la variable con el objetivo de obtener mejores resultados en las estimaciones. La autocorrelación espacial hace referencia a la forma en que una variable, medida en diferentes puntos del territorio, se relaciona con ella misma, relación establecida mediante las distancias geométrica y los valores temáticos de la muestra (Moreno, 2007). Una vez analizada la autocorrelación y conocido el tipo y el

grado de autocorrelación existente, se aplica la función de interpolación más adecuada para la variable (métodos analíticos) (Moreno, 2007).

El *Kriging* ordinario es considerado el mejor estimador lineal insesgado (Díaz, 2002). Es lineal porque sus estimaciones son combinaciones lineales ponderadas de los datos experimentales, se considera insesgado porque procura que la media de los errores (desviaciones entre el valor real y el valor estimado) sea nula, es el mejor porque tiene como objetivo reducir la varianza de los errores (Moreno, 2007).

Para llevar a cabo estas estimaciones, solamente se requiere el conocimiento del momento de 2º orden de la variable, es decir, solamente se requiere conocer el semivariograma (Díaz, 2002). El semivariograma es la herramienta que estudia la base fundamental del *Kriging* ordinario, estudia la relación entre los valores temáticos y las distancias geométricas, indica el grado de dependencia entre los puntos de la muestra, en definitiva, es la herramienta que estudia la autocorrelación espacial de la variable.

Cada variable presenta un tipo y grado de autocorrelación, por lo que, cada una tendrá su propio semivariograma. El semivariograma relaciona la semivarianza, definida como la medida que indica el tipo y grado de autocorrelación espacial, con respecto a la distancia. Para representar el semivariograma únicamente son necesarios los datos experimentales de la muestra y aplicar la ecuación de la semivarianza (Ecuación 4) y la ecuación de la distancia (Ecuación 5).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E [Z(x) - Z(x + h)]^2$$

Ecuación 4.  
Fuente: Díaz, 2002.

$$d_{((x),(x+h))} = \sqrt{(x_x - x_{x+h})^2 + (y_x - y_{x+h})^2}$$

Ecuación 5.  
Fuente: Moreno, 2007.

Donde  $\gamma(h)$  representa la semivarianza,  $Z(x)$  representa el valor de la variable en el punto  $(x)$  y  $Z(x + h)$  el valor de la variable en el punto  $(x + h)$ . Donde  $(x_x, y_x)$  y  $(x_{x+h}, y_{x+h})$  representan el par de puntos y  $h$  representa el incremento de distancia.

Una vez elaborado el semivariograma de cada variable se estudia el tipo y grado de autocorrelación espacial, con el fin de seleccionar la función de interpolación que mejor se ajuste a la curva del semivariograma y que menor grado de error cometa en la estimación, es decir, que sea insesgado y que la varianza de la estimación sea mínima. Finalmente la estimación se lleva a cabo mediante la siguiente ecuación matemática:

$$E[Z(x_0)] = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)$$

Ecuación 6.  
Fuente: Díaz, 2002.

Donde  $E[Z(x_0)]$  es el valor estimado,  $n$  es el número de puntos experimentales que son tenidos en cuenta,  $\lambda$  es el peso asignado a cada punto experimental y por último  $Z(x_i)$  es el valor de la variable de cada punto experimental.

### **3.4.3. Análisis comparativo entre ambas técnicas**

La comparativa entre ambas técnicas tiene como objetivo seleccionar cual de ellas genera un menor error en la estimación, y por lo tanto, cual es la mejor para la caracterización de la calidad de las aguas de la comarca. Para ello se deben comparar los resultados generados post-interpolación. En ambas, la técnica genera un error de predicción de su propia estimación, es decir, la propia técnica indica el error que ha cometido al interpolar. Este valor es conocido como RMS (*Root-Mean-Square*), es decir, valor cuadrático medio. La técnica que genere un menor error de predicción será la técnica seleccionada para analizar los cloruros y los nitratos.

### **3.4.4. Análisis de los mapas de distribución y evolución**

Los mapas de distribución son el resultado de aplicar la interpolación a los datos experimentales. Mediante éstas se analizarán las zonas más óptimas, las zonas más críticas, las zonas más robustas, etc. Además se analizará como evoluciona la concentración de las variables, tanto año a año como del inicio al final del periodo. Para ello únicamente es necesario restar los mapas de distribución entre sí.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Aplicación de la técnica *IDW*

Antes de aplicar la función de interpolación mediante cualquiera de las 2 técnicas de interpolación es necesario realizar un análisis de la variable a interpolar. Para llevarlo a cabo es necesario la extensión del *ArcGis* llamada *Explore data*, localizada dentro de la extensión anteriormente indicada.

En el caso de la técnica determinista *IDW* en este análisis es necesario identificar los valores extremos, conocer la isotropía o anisotropía de la variable y seleccionar la forma de búsqueda de vecindad.

Los valores extremos o también conocidos como *outliers* son valores anómalos si se comparan con el resto de la muestra. Los *outliers* pueden ser debidos a un error en la valoración de la muestra, a una muestra contaminada, etc. Por eso, es necesario detectarlos y eliminarlos antes de la estimación. Para analizar la existencia de valores extremos es necesario el gráfico *Normal QQPlot*.

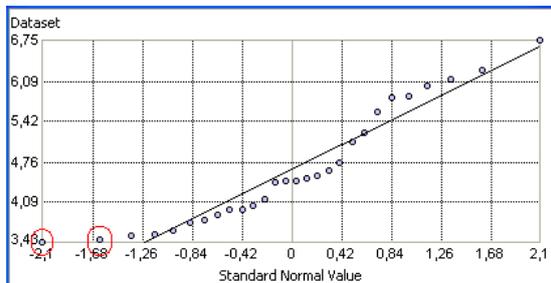


Figura 2: Curva *Normal QQPlot* de los cloruros.

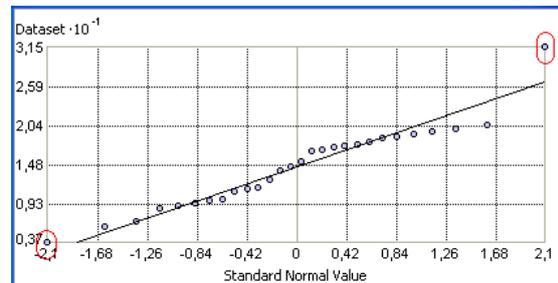


Figura 3: Curva *Normal QQPlot* de los nitratos.

Tanto en los cloruros como en los nitratos (figuras 2 y 3) se observan posibles valores anómalos, 2 de ellos en cada variable. Al encontrarse con esta situación, éstos deben ser detectados y estimar en qué grado pueden afectar a la estimación. Dependiendo del grado de afección serán descartados o tenidos en cuenta.

Por otro lado, se debe de detectar si la variable y los valores de ésta se ven afectados por influencias direccionales. Si la variable es isotrópica, el valor de la variable no depende de la dirección tomada (figura 4), sin embargo, si la variable es anisotrópica, el valor de ésta sí se ve afectado por la dirección tomada (figura 5). En las siguientes imágenes se observa perfectamente la diferencia entre isotropía y anisotropía.

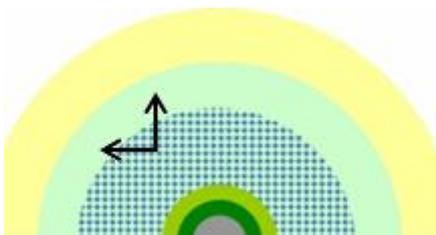


Figura 4: Variable isotrópica.  
Fuente: Hernández, 2015.

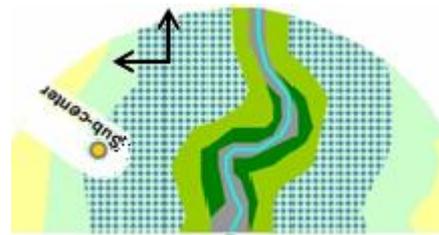


Figura 5: Variable anisotrópica.  
Fuente: Hernández, 2015.

En la variable isotrópica su variación no depende de la dirección. Sin embargo, si la variable es anisotrópica la dirección tomada tiene gran influencia con respecto al valor de la variable no siendo el mismo valor si se toma una dirección norte que una oeste.

Con respecto a las variables de estudio, ambas presentan influencias direccionales tal como se observa en las siguientes imágenes ráster (figuras 6 y 7).

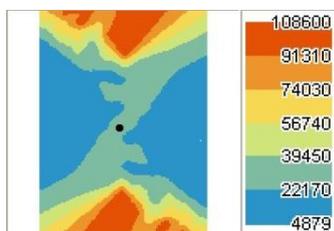


Figura 6: Ráster cloruros.

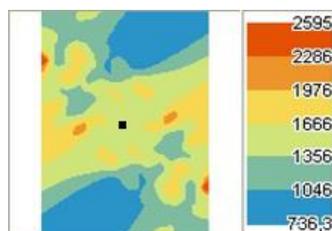


Figura 7: Ráster nitratos.

Por último, la técnica *IDW* es una técnica de interpolación local, por lo que, solo algunos de los puntos de la muestra van a ser tenidos en cuenta para realizar la estimación. Si la variable es isotrópica los puntos experimentales a tener en cuenta serán los más próximos al punto a estimar, por eso la forma de búsqueda de vecindad es el círculo (figura 8). Además el peso asociado a cada uno de éstos será directamente proporcional a la distancia entre el punto experimental y el punto estimado.

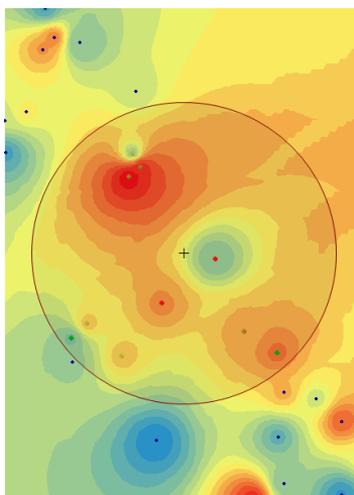


Figura 8: Círculo como forma de búsqueda de vecindad.

Si la variable es anisotrópica los puntos a tener en cuenta deben cumplir 2 requisitos, ser los más próximos al punto estimado y estar afectados por la misma influencia direccional que afecta a la variable, por lo que, la forma de búsqueda de vecindad en este caso es la elipse (figura 9). Tal como se observa en la figura 9, existen puntos que únicamente cumplen un requisito y por ello no son tenidos en cuenta en la predicción.

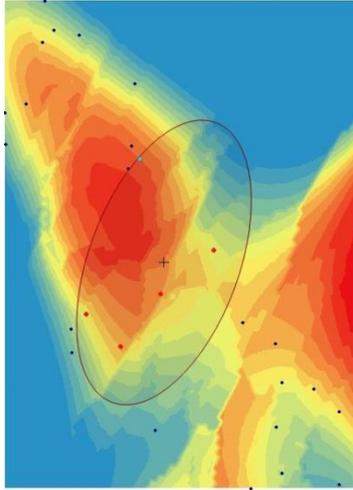


Figura 9: Elipse como forma de búsqueda de vecindad.

Se observa como en la parte superior-izquierda de la elipse, el punto azul está dentro de la elipse, sin embargo, el punto de al lado, está fuera de la elipse. El punto azul está cerca del punto a estimar y está afectado por la influencia direccional, sin embargo, el otro se queda fuera de la elipse por no estar afectado por la influencia direccional, a pesar de estar más cerca del punto a estimar. Cuando se trata de variables anisotrópicas la búsqueda de vecindad depende tanto de la proximidad como de la influencia direccional.

Una vez analizada la variable y aplicadas las consideraciones extraídas, se aplica la función de interpolación mediante la ecuación 3, es decir, se aplica la función de interpolación mediante la técnica determinista *IDW*.

## 4.2. Aplicación de la técnica *Kriging* ordinario

El punto fundamental para la interpolación mediante el *Kriging* ordinario es el estudio de la autocorrelación espacial de la variable, pero de igual modo que sucede en la técnica *IDW*, también se han de considerar otros aspectos de la variable. En este análisis no es suficiente con identificar los valores extremos, conocer la isotropía o anisotropía de la variable y seleccionar la forma de búsqueda de vecindad para poder aplicar el *Kriging* ordinario. Además la variable debe de cumplir los supuestos de acumulación espacial, continuidad espacial de los datos, estacionariedad, distribución normal de los datos y tendencias globales. Si alguno de los supuestos no se cumple, entonces no se podrá aplicar el *Kriging* ordinario como técnica de interpolación.

En primer lugar se debe de estudiar la autocorrelación espacial de la variable mediante el semivariograma empírico. Mediante las ecuaciones 4 y 5 y los datos experimentales de cada una de las variables se elaboran ambos semivariogramas.

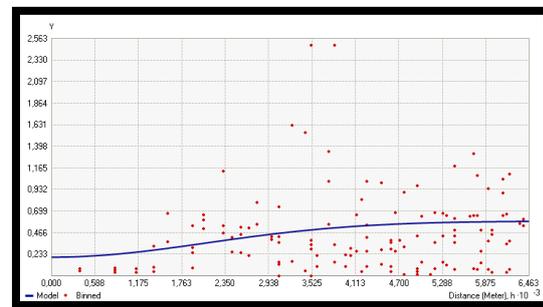
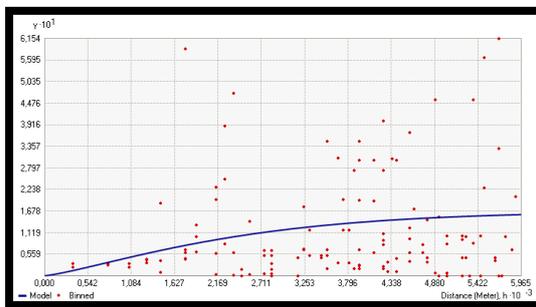


Figura 10: Semivariograma exp. cloruros (lineal).      Figura 11: Semivariograma exp. nitratos (gaussiano).

Una vez elaborado se selecciona la función de interpolación que mejor se ajusta a éste. Esta elección se realiza de manera totalmente empírica, tal que, se elige la función que mejor cumpla los requisitos del *Kriging* ordinario. En este caso la función de interpolación para los cloruros corresponde con el modelo lineal (figura 10) y en el caso de los nitratos corresponde con el modelo gaussiano (figura 11). Es importante conocer la función de interpolación para posteriormente aplicar la estimación a través de la ecuación del *Kriging* ordinario (Ecuación 6).

El *Kriging* ordinario asume que no existe acumulación espacial en la zona de estudio, es decir, que los datos de campo, están repartidos de forma uniforme en el área, evitando que se tengan zonas con gran abundancia de datos y zonas con un gran déficit de éstos. Para ello se analiza la función *K* de *Ripley* (figura 12), elaborada mediante la extensión del *ArcGis* llamada análisis cluster de distancia múltiple.

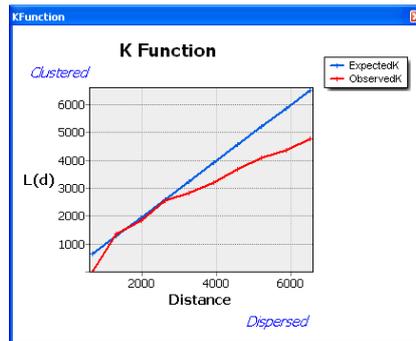


Figura 12: Función K de Ripley.

Según la función  $K$  de *Ripley*, si los valores observados son mayores que los valores esperados la distribución es más agrupada que una distribución aleatoria, sin embargo, como sucede en la imagen, si los valores observados son menores que los valores esperados, la distribución es más dispersa que una distribución aleatoria. Al ser una distribución dispersa no existe acumulación espacial, por lo tanto, se cumple el supuesto de la acumulación espacial.

La continuidad espacial de los datos es otro de los supuestos del *Kriging* ordinario. Éste supone que la variable tiene valor en todos los puntos del área de estudio. El supuesto de continuidad espacial se observa mediante las superficies continuas de predicción, las cuáles se caracterizan por tener valor en todos los puntos del espacio.

Por otro lado el *Kriging* ordinario asume que los datos son estacionarios, es decir, que la relación que existe entre un par de puntos y sus valores no depende de la ubicación exacta de los puntos, sino de la distancia que hay entre ellos. Para estudiar la estacionariedad de los puntos se utilizan los polígonos de *Thiessen*. Al aplicar los polígonos de *Thiessen*, la respuesta es un gráfico con una serie de polígonos, que tienen como propiedad única que, cualquier ubicación dentro del polígono es más cercana al punto de cobertura de ese polígono que no al de otro. Mediante este mapa de los polígonos, también conocido como mapa de *Voronoi* (figuras 13 y 14), se identifican las zonas con alta y baja variación local. Cuando se habla de alta variación local, se asume que dentro de un mismo polígono el valor de la variable difiere mucho, por lo tanto, se puede llegar a la conclusión que el valor de la variable únicamente depende de su ubicación exacta. Por lo tanto, en la mayoría de la zona se debe detectar una baja variación local para cumplir con el supuesto de estacionariedad. Para elaborar el mapa de *Voronoi* se utiliza la herramienta *Voronoi Map*, localizada dentro de la extensión *Explore data*.

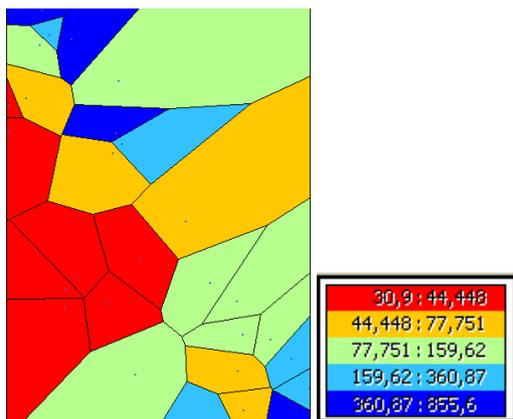


Figura 13: Mapa de *Voronoi* de los cloruros.

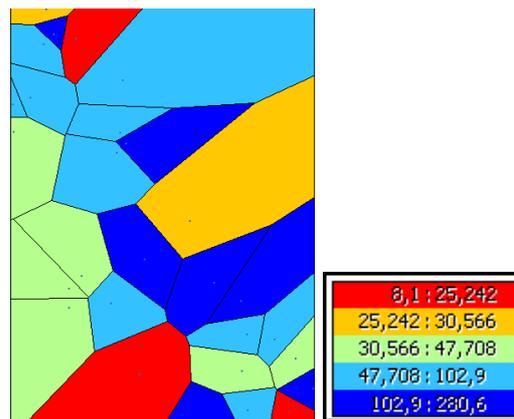


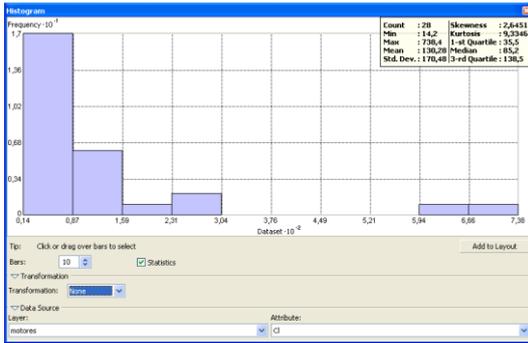
Figura 14: Mapa de *Voronoi* de los nitratos.

En el caso de los cloruros se observa una elevada variación local sobre todo en los extremos norte y sur del área de estudio, en las zonas restantes predomina una baja variación local (figura 13).

En el caso de los nitratos aunque el rango de valores es menor, existen bastantes zonas donde la variación local es elevada (figura 14). Puede suponer un problema para la aplicación del *Kriging* ordinario y sus posteriores estimaciones.

En cuanto a la distribución que sigue la variable de estudio, el *Kriging* ordinario asume que la variable debe seguir una distribución normal para poder llevar a cabo la interpolación (Moreno, 2007). Para conocer si los datos siguen una distribución normal se siguieron los siguientes criterios: en primer lugar la media y la mediana deben tener valores similares, en segundo lugar la distribución de los datos deber ser simétrica con respecto a su media (coeficiente de *Skewness*) y por último la función de densidad de probabilidad debe seguir una campana de Gauss (Juan, *et al.*, 2009).

Al estudiar la distribución de los datos se pueden dar 2 situaciones. En primer lugar, la variable sigue una distribución normal y no es necesario realizar transformación alguna, y en segundo lugar, la variable no sigue una distribución normal, por lo tanto, es necesario aplicar algún tipo de transformación. Al encontrarse con el segundo caso, se debe aplicar 1 de las 2 posibles transformaciones, dependiendo del valor del coeficiente de asimetría. Cuando el coeficiente de asimetría es mayor a la unidad, se debe aplicar la transformación Logarítmica, por el contrario, cuando el coeficiente de asimetría está comprendido entre [0,5 - 1] se debe aplicar la transformación Box-Cox (Moreno, 2007).



<b>Count</b> : 28	<b>Skewness</b> : 2,6451
<b>Min</b> : 0,14	<b>Kurtosis</b> : 9,3346
<b>Max</b> : 738,4	<b>1-st Quartile</b> : 35,5
<b>Mean</b> : 130,28	<b>Median</b> : 85,2
<b>Std. Dev.</b> : 170,48	<b>3-rd Quartile</b> : 138,5

Figura 15: Función de densidad de probabilidad de los cloruros (original).

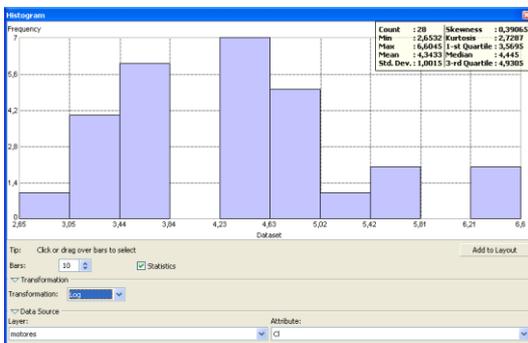


<b>Count</b> : 28	<b>Skewness</b> : 0,75861
<b>Min</b> : 0,08	<b>Kurtosis</b> : 3,0798
<b>Max</b> : 181,4	<b>1-st Quartile</b> : 43,8
<b>Mean</b> : 75,625	<b>Median</b> : 63,95
<b>Std. Dev.</b> : 43,505	<b>3-rd Quartile</b> : 103,3

Figura 16: Función de densidad de probabilidad de los nitratos (original).

Ni los cloruros ni los nitratos siguen una distribución normal (figuras 15 y 16). La media y la mediana presentan grandes diferencias, no hay simetría respecto a la media (coeficiente de *Skewness*) y la función de densidad de probabilidad no sigue una campana de Gauss.

En el caso de los cloruros se aplica la transformación Logarítmica (figura 17) debido a que su coeficiente de *Skewness* es mayor a la unidad. En el caso de los nitratos se aplica la transformación Box-Cox (figura 18) para conseguir que los datos sigan una distribución normal.



<b>Count</b> : 28	<b>Skewness</b> : 0,39065
<b>Min</b> : 2,6532	<b>Kurtosis</b> : 2,7287
<b>Max</b> : 6,6045	<b>1-st Quartile</b> : 3,5695
<b>Mean</b> : 4,3433	<b>Median</b> : 4,445
<b>Std. Dev.</b> : 1,0015	<b>3-rd Quartile</b> : 4,9305

Figura 17: Función de densidad de probabilidad de los cloruros (transformación logarítmica).



<b>Count</b> : 28	<b>Skewness</b> : 0,058841
<b>Min</b> : 3,6569	<b>Kurtosis</b> : 2,6771
<b>Max</b> : 24,937	<b>1-st Quartile</b> : 11,234
<b>Mean</b> : 14,661	<b>Median</b> : 13,994
<b>Std. Dev.</b> : 5,0838	<b>3-rd Quartile</b> : 18,327

Figura 18: Función de densidad de probabilidad de los nitratos (transformación Box-Cox).

Mediante ambas transformaciones (figuras 17 y 18) se consigue que los datos sigan una distribución normal. La media y mediana son cercanas, el coeficiente de asimetría, en ambos casos, es menor a 0,5 y la función de densidad de probabilidad evidencia una campana de Gauss.

Por último el *Kriging* ordinario asume que la variable es estacionaria y que no presenta tendencias globales. La tendencia se define como el patrón de variación de la variable

y se representa mediante un polinomio. Las tendencias globales pueden ser causadas por factores como el viento, la morfología del terreno, etc., por lo tanto, si los datos siguen algún patrón o tendencia, ésta debe ser eliminada, lo que no implica que en las predicciones y en los cálculos no sea tenida en cuenta. Las tendencias se analizan en la extensión *Trend Analysis*, dentro de *Explore data*.

Una vez realizado el exhaustivo análisis a las variables, estudiada la autocorrelación espacial de cada una de ellas y seleccionada la función de interpolación que mejor se ajusta a la ecuación del *Kriging* ordinario se puede aplicar la interpolación utilizando la ecuación 6.

### 4.3. Análisis comparativo de *IDW* y *Kriging* ordinario

La manera de seleccionar que técnica de interpolación es la mejor para caracterizar el agua de una zona es seleccionar la técnica que menor error cometa al realizar la estimación. Para conocer que técnica produce el menor error se aplica el procedimiento de la validación cruzada, consistente en comparar, uno a uno, los valores estimados frente a los experimentales, generando su propio error de predicción (Moreno, 2007). Por lo tanto, la técnica que genere un valor de RMS menor será la mejor técnica para caracterizar la calidad del agua de una zona.

Tabla 3: RMS cloruros.

RMS CLORUROS (mgCl <sup>-</sup> /L)		
Año	<i>IDW</i>	<i>Kriging</i> ordinario
2005	175,80	498,15
2006	96,59	133,79
2007	150,67	231,45
2008	75,68	70,14
2009	105,67	114,16
2010	132,53	158,73

Tabla 4: RMS nitratos.

RMS NITRATOS (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)		
Año	<i>IDW</i>	<i>Kriging</i> ordinario
2005	43,17	55,30
2006	56,91	76,90
2007	42,44	45,66
2008	58,26	69,48
2009	41,65	56,44
2010	44,95	56,42

En ambas tablas se observa que los menores valores de RMS se obtienen al interpolar mediante la técnica *IDW*, por lo tanto, en el caso de La Safor, la mejor técnica de interpolación para caracterizar la calidad del agua es la técnica determinista *IDW*.

#### 4.4. Análisis de los mapas de distribución y evolución

A partir de este momento el proyecto se centra únicamente en estudiar los niveles de cloruros y nitratos a través de los resultados obtenidos y observando los mapas de distribución. Éstas, como ya se ha mencionado, indican el valor de la variable en toda la superficie de estudio, característica que se utiliza para conocer las zonas críticas de contaminación, conocer las zonas óptimas, observar la variación sufrida durante los años analizados, identificar las principales causas de los aumentos y los descensos y por último, si pueden ser identificadas buscar o poner solución al problema.

##### 4.4.1. Cloruros

A la hora de caracterizar el agua subterránea de La Safor con respecto a los cloruros y a la intrusión marina, hay que recordar que la concentración límite marcada por la Unión Europea es de 250 mgCl<sup>-</sup>/L (Direcció General de Salut Pública i Consum, 2014). En este caso, cualquier masa de agua que supere esta concentración puede ser considerada contaminada.

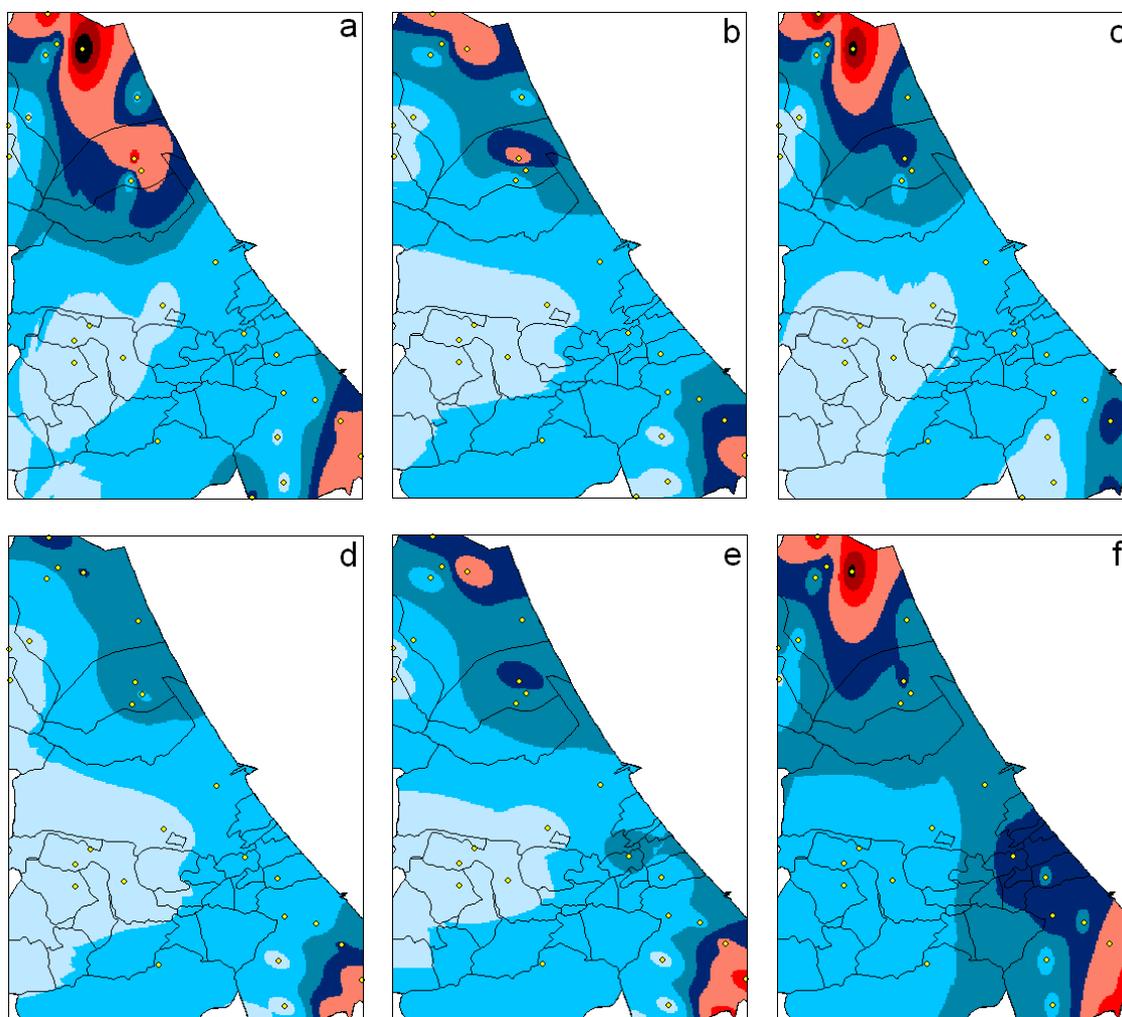
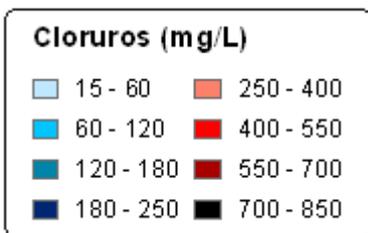


Figura 19: Superficies de distribución de los cloruros entre los años 2005-2010. (a: año 2005, b: año 2006, c: año 2007, d: año 2008, e: año 2009 y f: año 2010).



Los cloruros en 2005 (figura 19a) registran su máxima concentración en el norte de Tavernes de la Vallidigna, alcanzándose valores muy próximo a los 850 mg/L. En Xeraco y Oliva se localizan las 2 otras zonas donde se incumple la concentración estipulada por la UE, registrándose una concentración entre 250 y 400 mg/L. En el resto de la comarca la concentración registrada es inferior a los 250 mg/L. Las zonas más cercanas a las zonas críticas, como por ejemplo Xeresa, registran una concentración entre 120 y 250 mg/L. En Simat y Benifairó de la Vallidigna, Gandia, Barx, los municipios costeros al sur de Gandia, Villalonga, Ador y los municipios de la zona centro representada por Almoines, Beniflà, Beniarjó, Palmera, el Real de Gandia, Potries, l'Alqueria de la Comtessa, La Font d'en Carròs y Rafelcofer la concentración oscila entre 60 y 120 mg/L. Finalmente la mínima concentración registrada en 2005 (figura 19a), entre 15 y 60 mg/L, se registra en los municipios de la zona interior representada por Ròtova, Palma de Gandia, Alfauir, Almiserà, Llocnou de Sant Jeroni y Castellonet de la Conquesta.

Los cloruros en el año 2006 (figura 19b) registra la máxima concentración en puntos de los municipios de Tavernes de la Vallidigna, Xeraco y Oliva, de igual modo que sucedía en el año 2005 (figura 19a), pero en este caso, no se alcanzan valores tan extremos, registrándose una concentración que entre 250 y 400 mg/L. En el resto de la comarca la concentración es inferior a los 250 mg/L. Se registran concentraciones entre 120 y 250 mg/L en los alrededores de las zonas críticas. En Xeresa, Barx, Gandia, los municipios de la zona centro, los municipios costeros al sur de Gandia, Ador y Villalonga la concentración oscila entre 60 y 120 mg/L. Los municipios de la zona interior más la zona interior-sur de Gandia registran la menor concentración del año 2006 (figura 19b), siendo ésta entre 15 y 60 mg/L.

La distribución de cloruros en el año 2007 (figura 19c) es muy similar a la registrada en el año 2005 (figura 19a), sin embargo, la concentración en el año 2007 (figura 19c) es inferior que en el año 2005 (figura 19a). En el año 2007 (figura 19c) el único municipio donde se registra una concentración superior a los 250 mg/L es en Tavernes de la Vallidigna, registrándose la máxima concentración entre 700 y 850 mg/L. En el resto de la comarca se respeta la concentración estipulada por la UE. Alrededor de Tavernes, en Xeraco, Xeresa y Oliva se registra una concentración entre 120 y 250 mg/L, registrándose concentraciones entre 180 y 250 mg/L en puntos de Tavernes, Xeraco y Oliva. En Simat, Benifairó, Barx, Gandia, los municipios de la zona centro, los municipios costeros al sur de Gandia, la mitad oriental de Villalonga y una amplia zona de Oliva se registra una concentración entre 60 y 120 mg/L. Por último, la menor concentración de cloruros en el año 2007 (figura 19c) se registra en puntos de Simat y Benifairó de la Vallidigna, en los municipios de la zona interior y en una amplia zona occidental de Oliva.

Los cloruros en el año 2008 (figura 19d) registran una concentración superior a los 250 mg/L, entre 250 y 400 mg/L, únicamente al sur del municipio de Oliva. En el resto de la comarca la concentración respeta la concentración límite. En los alrededores de la zona crítica y en una pequeña zona al norte de Tavernes se registra la mayor concentración dentro del límite, es decir, entre 180 y 250 mg/L. Una concentración menor, entre 120 y 180 mg/L, se registra en la zona litoral de Tavernes y Xeraco. En el interior de Tavernes y Xeraco, en Xeresa, en la zona litoral de Gandia, en los municipios costeros al sur de Gandia, en los municipios de la zona centro, en Ador, Villalonga y una amplia zona de Oliva se registra una concentración entre 60 y 120 mg/L. La menor concentración de cloruros registrada en el año 2008 (figura 19d), entre 15 y 60 mg/L, se registra en Simat y Benifairó de la Valldigna, en Barx, en la zona interior de Gandia, en el municipio del Real de Gandia y en los municipios de la zona interior de la comarca.

La distribución de cloruros en el año 2009 (figura 19e) es muy similar a la registrada en el año 2008 (figura 19d), sin embargo, la concentración en el año 2009 (figura 19e) es superior que en el año 2008 (figura 19d). Las zonas donde se registran concentraciones superiores a los 250 mg/L son en Tavernes de la Valldigna y Oliva, registrándose en este último la máxima concentración entre 400 y 550 mg/L. En el resto de la comarca se sigue respetando el límite de concentración pero la situación se ha incrementado con respecto al año 2008 (figura 19d). En el año 2009 (figura 19e) la concentración de cloruros entre 180 y 250 se registra en Tavernes de la Valldigna, Xeraco y Oliva. La concentración entre 120 y 180 mg/L se registra en Tavernes, Xeraco, Xeresa, norte-litoral de Gandia, en los municipios costeros al sur de Gandia y en Oliva. Una menor concentración entre 60 y 120 mg/L se localiza las zonas restantes de Tavernes, Xeraco, Xeresa, en Simat y Benifairó de la Valldigna, en gran parte del municipio de Gandia, en Daimús, en los municipios de la zona centro, en Ador, Castellonet de la Conquesta, Villalonga y la zona restante de Oliva. La menor concentración de cloruros del año 2009 (figura 19e), entre 15 y 60 mg/L, se registra en el interior-sur de Gandia, en Ròtova, Palma de Gandia, Alfauir y Almiserà.

Los cloruros en la año 2010 (figura 19f) registran la máxima concentración en el municipio de Tavernes de la Valldigna, que oscila entre 700 y 850 mg/L. El otro municipio donde los cloruros superan los 250 mg/L es el municipio de Oliva, donde la concentración máxima en éste oscila entre 400 y 550 mg/L. En el resto de municipios la concentración no supera los 250 mg/L. Las zonas más cercanas a las zonas críticas más los municipios costeros al sur de Gandia registran una concentración entre 180 y 250 mg/L. En Xeraco, Xeresa, Barx, el litoral de Gandia, los municipios de la zona centro y una amplia zona occidental de Oliva la concentración oscila entre 120 y 180 mg/L. Por último, la concentración mínima registrada en el año 2010 (figura 19f), entre 60 y 120 mg/L, se registra en una amplia zona del interior-sur de Gandia, en los municipios de la zona interior de la comarca, en el Real de Gandia y en Villalonga. En este año 2010 (figura 19f) es el único año donde no se registra concentración entre 15 y 60 mg/L.

Las siguientes figuras son el resultado de analizar la variación sufrida año a año. Para analizar la variación de la concentración de cloruros se comparan los mapas de distribución aplicando la resta entre éstos. En este caso la diferencia se aplica entre

años consecutivos, siendo la figura 20a la diferencia entre los años 2005 y 2006, la figura 20b la diferencia entre 2006 y 2007 y así sucesivamente hasta la figura 20e, diferencia entre 2009 y 2010.

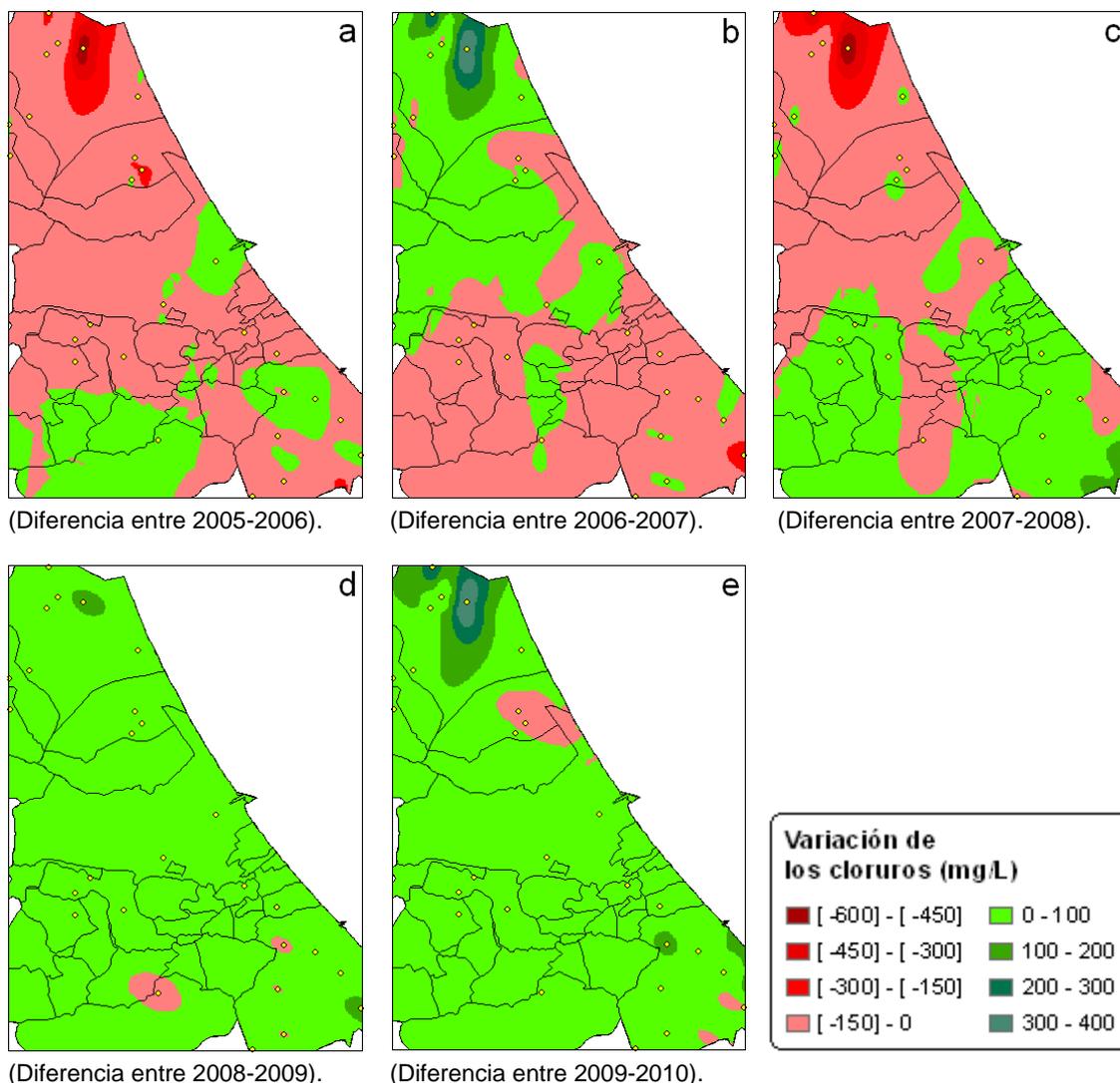


Figura 20: Mapas de evolución de los cloruros entre los años 2005-2010.

La diferencia de concentración de los cloruros entre los años 2005 y 2006 (figura 20a) destaca por un descenso en gran parte de la comarca. El máximo descenso oscila entre 450 y 600 mg/L y se registra en el municipio de Tavernes de la Valldigna. En el mismo también se registran variaciones negativas entre 300 y 450 mg/L y entre 150 y 300 mg/L. En el resto de Tavernes como en el resto de la comarca el descenso registrado oscila entre 0 y 150 mg/L. Las únicas zonas donde los cloruros se incrementan, entre 0 y 100 mg/L se localizan en el litoral de Gandia, en Beniflà, en Oliva, en Villalonga, en Ador, en Castellonet de la Conquesta y pequeñas zonas de Ròtova, Alfauir, Beniarjó, Potries, Rafelcofer, l'Alqueria de la Comtessa y La Font d'en Carròs.

Entre los años 2006 y 2007 (figura 20b) la diferencia de concentración de los cloruros se incrementa en la totalidad de Tavernes de la Valldigna, en gran parte de los municipios de Xeraco, Xeresa, Simat, Benifairò, Barx y Gandia, y en pequeñas zonas

de Oliva, el Real de Ganda, Palma de Gandia, Ador, Beniarjó y Villalonga. Este incremento mayoritariamente oscila entre 0 y 100 mg/L, destacando la zona norte de Tavernes, donde se registran incrementos de entre 100 y 200 mg/L, incrementos entre 200 y 300 mg/L y el máximo incremento entre 300 y 400 mg/L. La disminución de cloruros entre los años 2006 y 2007 (figura 20b) se localiza en pequeñas zonas de Xeraco, Xeresa y Gandia, en la totalidad de los municipios de la zona interior, en la totalidad de los municipios de la zona centro, en todos los municipios costeros al sur de Gandia, en Villalonga y en Oliva. Dichos decremento oscilan entre 0 y 150 mg/L, destacando únicamente un decremento superior, entre 150 y 300 mg/L, en una pequeña zona al sur de Oliva.

La máxima diferencia negativa de la concentración de cloruros entre 2007 y 2008 (figura 20c) se registra al norte de Tavernes de la Valldigna, registrándose en ésta descensos entre 150 y 300 mg/L, descensos entre 300 y 450 mg/L y el máximo descenso entre 450 y 600 mg/L. En el resto de Tavernes, en Xeraco, Xeresa, Simat, Benifairó, Barx, gran parte de Gandia y gran parte de Potries y pequeñas zonas de Villalonga, Oliva, Ador, Palma de Gandía, el Real de Gandia, Beniflà y Beniarjó se registra un descenso más moderado entre 0 y 150 mg/L. Por otro lado, el incremento de los cloruros registrado entre los años 2007 y 2008 (figura 20c) se localiza en una pequeña zona litoral de Gandia, en gran parte de Villalonga, en gran parte de Oliva, en los municipios de Almoines, La Font d'en Carròs, Rafelcofer, l'Alqueria de la Comtessa y Palmera, y en la totalidad de los municipios costeros al sur de Gandia y la zona interior de la comarca. Dicho incremento oscila entre 0 y 100 mg/L excepto al sur del Oliva donde alcanza valores entre 100 y 200 mg/L.

La diferencia de concentración de los cloruros entre los años 2008 y 2009 (figura 20d) destaca por un incremento en la totalidad de la comarca. En toda la comarca se registra un incremento que oscila entre 0 y 100 mg/L excepto en 2 pequeñas zonas localizadas en Tavernes de la Valldigna y Oliva donde éste oscila entre 100 y 200 mg/L. Las únicas y pequeñas zonas donde los cloruros disminuyen entre los años 2008 y 2009 (figura 20d) se localizan en Oliva, Ador y Villalonga, donde el decremento oscila entre 0 y 150 mg/L.

De igual modo que sucede entre los años 2008 y 2009 (figura 20d) la diferencia de concentración entre 2009 y 2010 (figura 20e) destaca por un incremento en la totalidad de la comarca. El incremento mayoritario oscila entre 0 y 100 mg/L, destacando el norte de Tavernes de la Valldigna donde se registran aumentos entre 100 y 200 mg/L, entre 200 y 300 mg/L y el máximo aumento entre 300 y 400 mg/L. También se registran incrementos entre 100 y 200 mg/L en pequeñas zonas de Oliva. Las únicas zonas donde los cloruros disminuyen entre 2009 y 2010 (figura 20e) se localizan en Xeraco, Xeresa, Gandia y Oliva, donde el descenso oscila entre 0 y 150 mg/L.

La situación entre 2005 y 2010 con respecto a la evolución de la concentración de cloruros tiende a empeorar. Las zonas críticas se mantienen e incluso aumentan y en el resto de municipios los cloruros se incrementan, en algunos puntos cerca de alcanzar los 250 mg/L. El mayor descenso de los cloruros se registra entre los años 2005 y 2006 (figura 20a), donde en prácticamente toda la comarca se registra un descenso, en los menores casos entre 0 y 100 mg/L y en los mejores entre 450 y 600 mg/L. Entre 2006 y 2007 (figura 20b) la situación empeora en la zona norte de la

comarca donde se registran aumentos entre 0 y 400 mg/L, sin embargo, en el resto la concentración disminuye entre 0 y 150 mg/L. La evolución registrada entre 2007 y 2008 (figura 20c) se caracteriza por un descenso de la concentración en la zona norte y centro de la comarca, donde los cloruros disminuyen entre 0 y 600 mg/L, y un aumento en la parte sur de la comarca, en este caso incremento que oscila entre 0 y 200 mg/L. A partir del año 2008 la tendencia de los cloruros es creciente. Entre 2008 y 2009 (figura 20d) la concentración se incrementa en toda la comarca entre 0 y 100 mg/L. Entre los años 2009 y 2010 (figura 20e) se vuelve a incrementar, en este caso, en gran parte de la comarca, entre 0 y 100 mg/L y entre 100 y 400 mg/L en la zona más norte de La Safor.

#### 4.4.2. Nitratos

A la hora de caracterizar el agua subterránea de La Safor con respecto a los nitratos, hay que recordar que la concentración límite marcada por la Unión Europea, en este caso, es de 50 mgNO<sub>3</sub>/L (crie, 2014). Por lo tanto, cualquier masa de agua que supere esta concentración puede ser considerada contaminada.

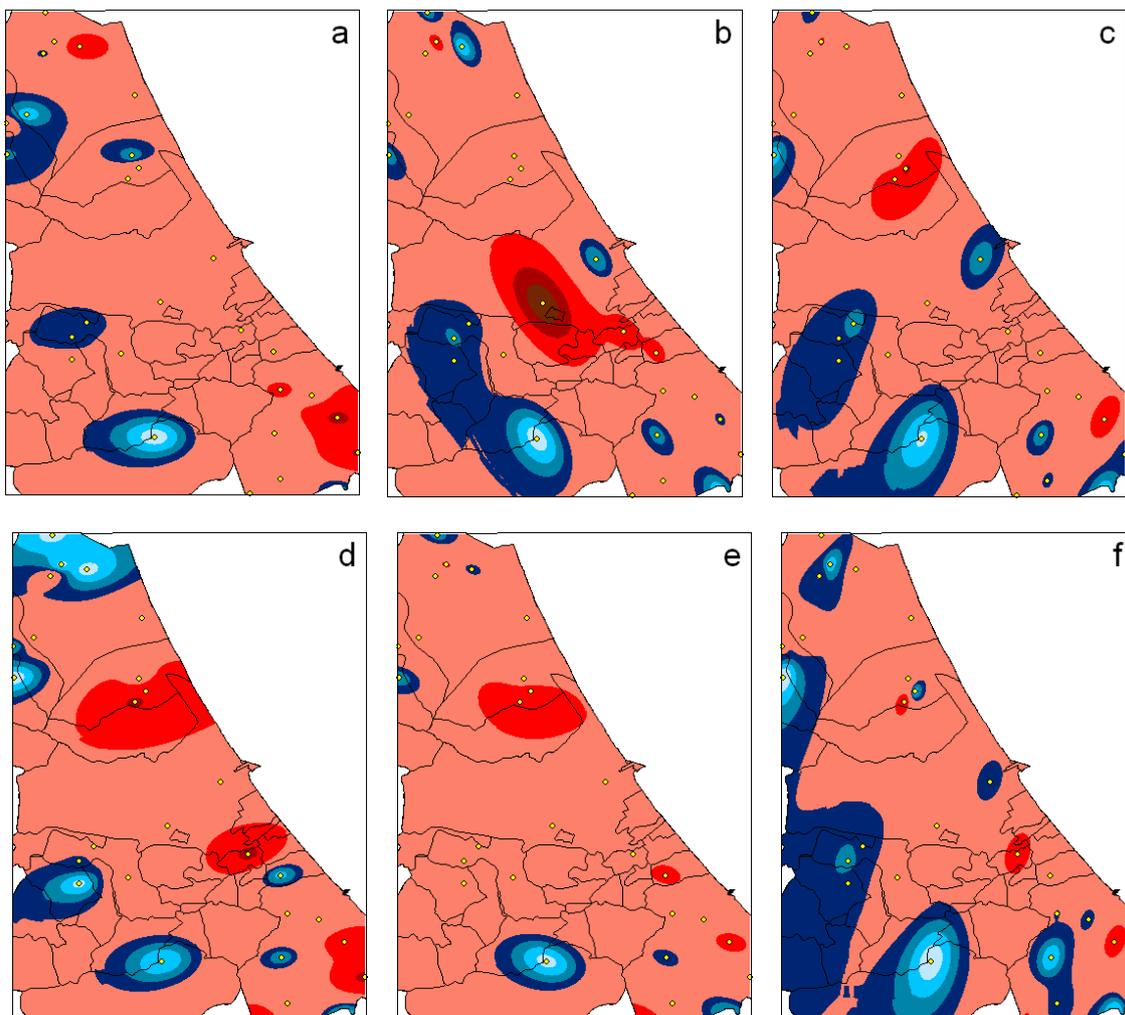
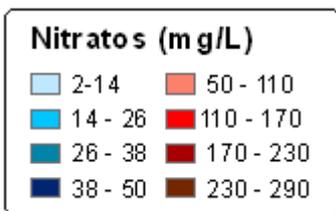


Figura 21: Superficies de distribución de los nitratos entre los años 2005-2010. (a: año 2005, b: año 2006, c: año 2007, d: año 2008, e: año 2009 y f: año 2010).



Al observarse las imágenes de distribución de nitratos (figuras 21a-f) se observa que las aguas subterráneas presentan una elevada concentración de éstos en gran parte de la comarca.

Los nitratos en el año 2005 (figura 21a) registran su máxima concentración en una pequeña zona de Oliva que oscila entre 170 y 230 mg/L. Una concentración entre 110 y 170 mg/L se registran en el norte de Tavernes de la Valldigna y en el sur-litoral de Oliva. En el resto de la comarca la concentración supera los 50 mg/L marcado por la UE. Las únicas zonas donde los nitratos registran valores inferiores a los 50 mg/L en el año 2005 (figura 21a) se localizan al sur de Tavernes de la Valldigna, en la zona más oriental de Simat y Benifairó de la Valldigna y en una pequeñas zona de Xeraco, Ròtova, Palma de Gandia, Ador y Villalonga. En este caso la menor concentración de nitratos en 2005 (figura 21a), entre 2 y 14 mg/L, se localiza en una pequeña zona de Ador y Villalonga.

La concentración de nitratos en el año 2006 (figura 21b) destaca por registrar una elevada concentración en el núcleo de Gandia y alrededores. La máxima concentración, entre 230 y 290 mg/L, se localiza en el núcleo de Gandia, una concentración entre 170 y 230 mg/L se localiza a los alrededores del núcleo de Gandia y una pequeña zona del Real de Gandia y una concentración entre 110 y 170 mg/L se localiza en gran parte de Gandia, el Real de Gandia, Almoines, Bellreguard, Palmera y una pequeña zona de Miramar. En el resto de la comarca la concentración registrada oscila entre 50 y 110 mg/L, por lo que se considera contaminada. En las únicas zonas del 2006 (figura 21b) donde la concentración es inferior a los 50 mg/L se localizan en puntos de Tavernes de la Valldigna, Simat, litoral de Gandia y Oliva. Además destaca una gran zona al interior de la comarca donde la concentración es inferior al valor límite, representada por Palma de Gandia, Ròtova, Alfuir, Ador, Castellonet de la Conquesta y Villalonga.

Los nitratos en el año 2007 (figura 21c) registran la máxima concentración, entre 110 y 170 mg/L, en zonas de Xeraco, Xeresa y Gandia. En el resto de la comarca la concentración supera el límite establecido por la UE, entre 50 y 110 mg/L, excepto, en puntos de Simat de la Valldigna, Gandia, Palma de Gandia, Ròtova, Alfuir, Almiserà, Llocnou de Sant Jeroni, Castellonet de la Conquesta, Ador, Potries, Villalonga y Oliva. La mínima concentración, entre 2 y 14 mg/L, en el año 2007 (figura 21c) se localiza en una pequeña zona al norte de Villalonga.

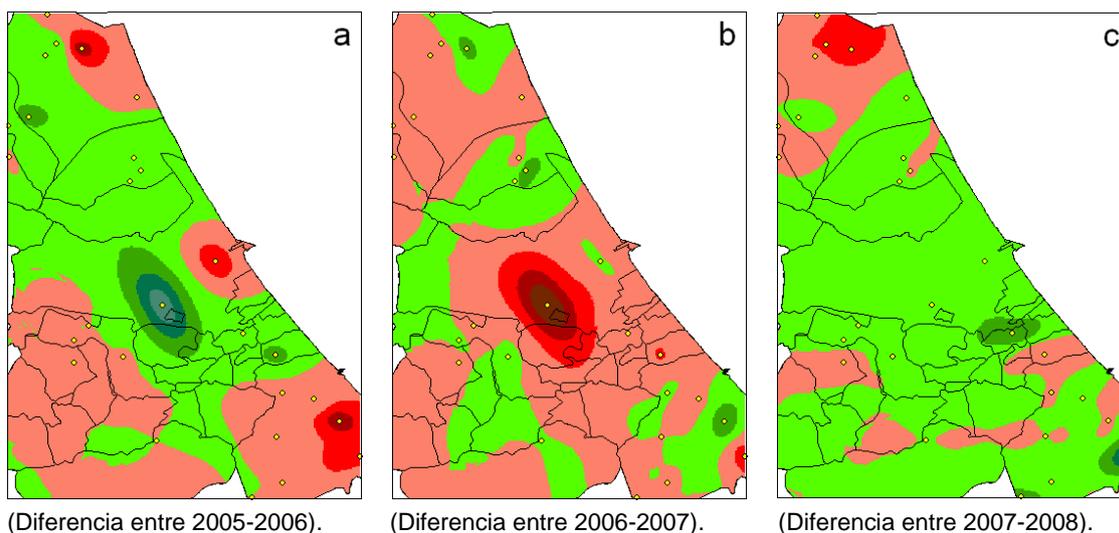
Los nitratos en el año 2008 (figura 21d) registran su máxima concentración, entre 170 y 230 mg/L, en pequeños puntos de Xeraco, Bellreguard y Oliva. Una concentración menor se localiza en los alrededores de los anteriores, concentración entre 110 y 170 mg/L, que se localiza en Xeraco, Xeresa, Gandia, Almoines, Guardamar de la Safor, Piles y Oliva. En el resto de la comarca la concentración sigue superando los 50 mg/L, entre 50 y 110 mg/L, marcados por la UE, excepto en una gran zona al norte de

Tavernes de la Valldigna, zonas de Simat y Benifairó de la Valldigna, la totalidad de Ròtova y pequeñas zonas de Alimserà, Alfauir, Ador, Villalonga, Potries, Miramar y Oliva, donde se registra una concentración inferior a los 50 mg/L. En este año 2008 (figura 21d) la mínima concentración, entre 2 y 14 mg/L, se localiza en pequeñas zonas en Tavernes y Simat de la Valldigna.

En el año 2009 (figura 21e) los nitratos registran su máxima concentración, entre 110 y 170 mg/L, en amplias zonas de Xeraco y Xeresa y pequeñas zonas de Gandia, Miramar y Oliva. En el resto de la comarca la concentración de nitratos en 2008 (figura 21e) es superior al límite, entre 50 y 110 mg/L, menos en pequeñas zonas localizadas en Tavernes de la Valldigna, Simat, Oliva, Villalonga y Ador. En este 2008 (figura 21e) la mínima concentración de nitratos, entre 2 y 14 mg/L, se localiza en una pequeña zona de Villalonga.

La distribución de nitratos en el año 2010 (figura 21f) representa el mapa de distribución con mayor cantidad de superficie donde la concentración de nitratos cumple el límite estipulado por la UE. Las zonas donde se detectan concentraciones inferiores a 50 mg/L en 2010 (figura 21f) son en puntos de Tavernes de la Valldigna, en Xeraco, en zonas orientales de Simat y Benifairó de la Valldigna, en puntos de Barx y Gandia, en la totalidad de Ròtova, Almiserà y Llocnou de Sant Jeroni, en amplias zonas de Ador, Palma de Gandia, Castellonet de la Conquesta, Potries y Villalonga, y en pequeñas zonas de Alfauir, Beniarjó y Oliva. En este caso la menor concentración, entre 2 y 14 mg/L, se registra en puntos de Ador, Villalonga y Simat de la Valldigna. En el resto de la comarca se sigue superando la concentración de límite, entre 50 y 110 mg/L, destacando pequeñas zonas de Xeraco, Xeresa, Bellreguard, Guardamar de la Safor y Oliva donde la concentración oscila entre 110 y 170 mg/L.

De igual modo que los cloruros, las siguientes figuras analizan la evolución de la concentración de los nitratos año a año.



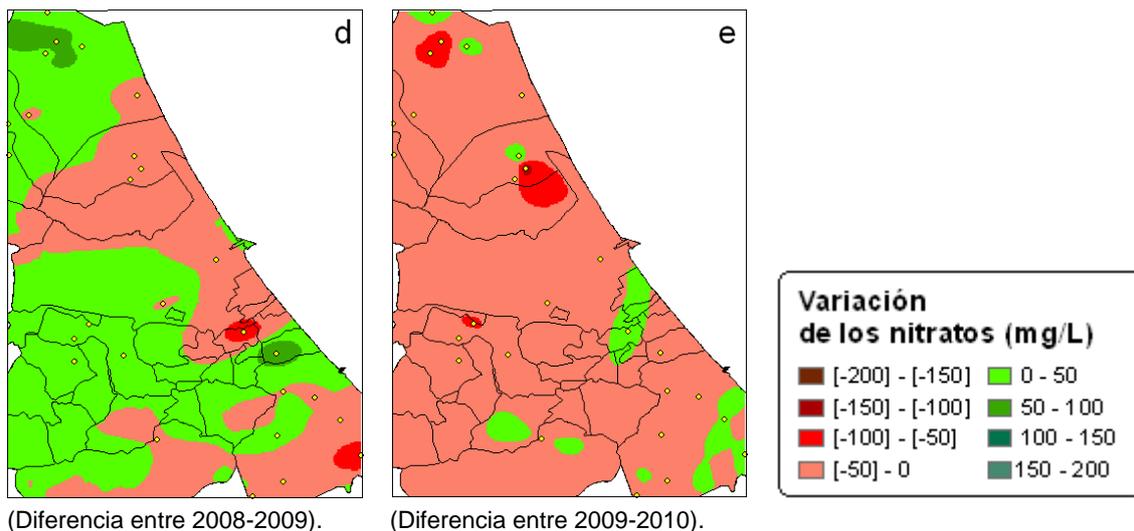


Figura 22: Mapas de evolución de los nitratos entre los años 2005-2010.

La máxima diferencia positiva de concentración de los nitratos entre los años 2005 y 2006 (figura 22a) se registra en el núcleo urbano de Gandia y alrededores, incremento entre 150 y 200 mg/L en el núcleo y entre 50 y 150 mg/L en los alrededores. Un incremento entre 50 y 100 mg/L también se registra en pequeñas zonas de Tavernes y Miramar. El menor incremento, entre 0 y 50 mg/L, registrado entre los años 2005 y 2006 (figura 22a) se localiza en la totalidad de los municipios de Xeraco, Xeresa, Simat y Benifarió de la Valldigna, en la totalidad de los municipios costeros al sur de Gandia excepto Daimús, en la totalidad de los municipios de la zona centro excepto La Font d'en Carròs, en gran parte de los municipios de Tavernes y Gandia, y en pequeñas zonas de Palma de Gandia, Ador, Villalonga y Oliva. Por otro lado, donde disminuye la concentración de nitratos entre 2005 y 2006 (figura 22a) es al norte-litoral de Tavernes, al sur-litoral de Gandia, en la totalidad de los municipios de la zona interior, en Villalonga y Oliva. En este caso, el máximo decremento, entre 100 y 150 mg/L, se localiza en pequeñas zonas de Tavernes y Oliva, un decremento entre 50 y 100 mg/L se localiza en pequeñas zonas de Tavernes, Gandia y Oliva. En el resto de zonas el decremento oscila entre 0 y 50 mg/L.

La diferencia de concentración registrada entre los años 2006 y 2007 (figura 22b) tiende a disminuir. La principal disminución se registra en el núcleo urbano de Gandia y sus alrededores, donde los nitratos disminuyen entre 50 y 200 mg/L. El descenso mayoritario, entre 0 y 50 mg/L, se localiza en gran parte de Tavernes de la Valldigna, en Simat y Benifairó de la Valldigna, en la mayor parte de Gandia, en la totalidad de los municipios costeros al sur de Gandia y la zona centro, en los municipios de Ròtova, Almiserà y Llocnou de Sant Jeroni, y en gran parte de Villalonga y Oliva. Las únicas zonas donde se incrementan los nitratos entre 2006 y 2007 (figura 2b) se localizan al norte de Tavernes, en Xeraco, Xeresa y Barx, en gran parte de Ador, Alfauir y Castellonet de la Conquesta y en pequeñas zonas de La Font d'en Carròs, Gandia y Oliva. Este incremento oscila entre 0 y 50 mg/L, excepto en pequeñas zonas de Tavernes, Xeraco y Oliva donde éste oscila entre 50 y 100 mg/L.

La diferencia de concentración de los nitratos entre los años 2007 y 2008 (figura 22c) tiende a incrementarse, entre 0 y 50 mg/L, en la mayor parte de la comarca. Un incremento superior entre 50 y 100 mg/L se registra en Bellreguard, Miramar y Oliva.

El máximo incremento, entre 100 y 150 mg/L, se localiza al sur de Oliva. Por otro lado, se registra una disminución, entre 50 y 100 mg/L al norte de Tavernes de la Valldigna y una disminución entre 0 y 50 mg/L en gran parte de Tavernes de la Valldigna, Ròtova, Almiserà y Miramar, en la zona oriental de Benifairó de la Valldigna, en la mitad meridional de Ador y en pequeñas zonas de Xeraco, l'Alqueria de la Comtessa, Villalonga y Oliva (figura 22c).

Los nitratos entre 2008 y 2009 (figura 22d) registran su máxima diferencia positiva, entre 50 y 100 mg/L, en zonas de Tavernes y Miramar. Un incremento menor, entre 0 y 50 mg/L, se localiza en gran parte de Tavernes de la Valldigna, Gandia, el Real de Gandia, Ador y La Font d'en Carròs, en las zonas meridionales de Simat y Benifairó de la Valldigna, en la totalidad de los municipios de la zona interior de la comarca, Potries, l'Alqueria de la Comtessa y Miramar, y en pequeñas zonas de Villalonga y Oliva. En cambio entre 2008 y 2009 (figura 22d), la máxima disminución de concentración, entre 50 y 100 mg/L, se localiza en zonas de Bellreguard y Oliva. Un decremento menor, entre 0 y 50 mg/L, se localiza en la totalidad de Xeraco, Xeresa, Daimús, Bellreguard, Guardamar de la Safor, Piles y Almoines, y en gran parte de Barx, Villalonga y Oliva.

La diferencia de los nitratos entre 2009 y 2010 (figura 22e) tiende a la disminución en la mayor parte de la comarca. La máxima disminución, entre 50 y 100 mg/L, se localiza en pequeñas zonas de Tavernes de la Valldigna, Xeraco, Xeresa y Palma de Gandia. Una disminución entre 0 y 50 mg/L se registra en el resto de la comarca, excepto, en pequeñas zonas de Tavernes de la Valldigna, Xeraco, Daimús, Bellreguard, Ador, Villalonga y Oliva donde entre 2009 y 2010 (figura 22e) se registra un incremento entre 0 y 50 mg/L.

## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Al estudiar la cartografía de distribución se detectan las zonas críticas, las zonas óptimas, las zonas que cumplen la normativa, etc. y al estudiarse la evolución de las variables se han detectado las zonas más robustas y las zonas más sensibles a la variación. En el caso de los cloruros se ha detectado que las zonas más afectadas corresponden al norte-litoral y al sur-litoral, registrándose valores superiores a los 250 mg/L en ambas zonas mencionadas. En el caso de los nitratos, en prácticamente la totalidad de la comarca la concentración incumple con la concentración límite. Sin embargo, en ambos casos, tanto en los cloruros como en los nitratos, se puede decir que las zonas con concentraciones más elevadas corresponden a la zona más litoral y que las concentraciones más bajas se asocian a la zona más interior de la comarca.

### 5.1. La intrusión marina

En primer lugar se va a estudiar qué acuíferos están afectados por la intrusión marina durante el periodo 2005-2010. La concentración límite marcada por la Unión Europea es de 250 mgCl<sup>-</sup>/L, por lo que, en cualquier punto del acuífero donde los cloruros superen el límite establecido se considera que está contaminado.

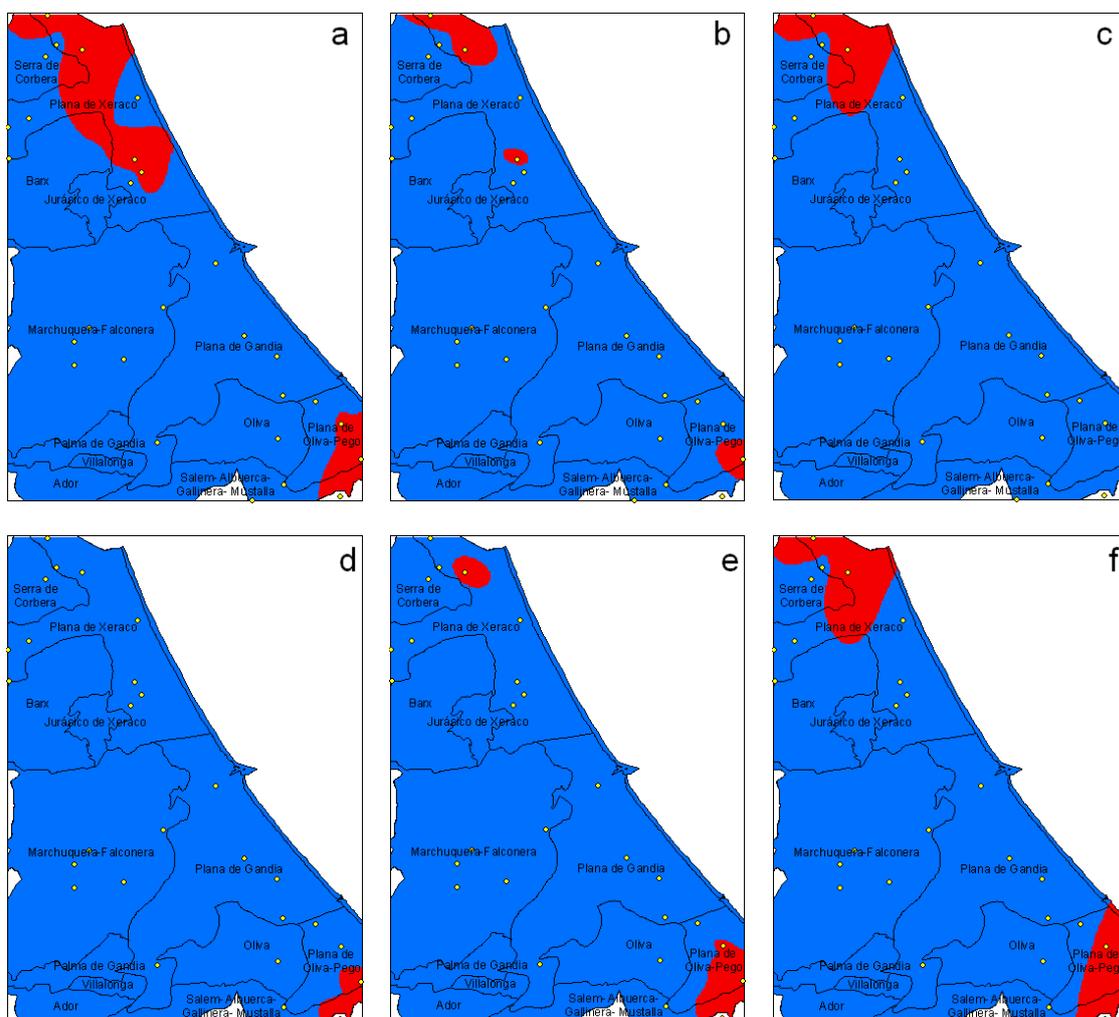
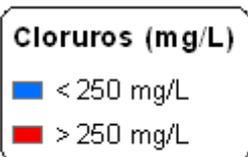


Figura 23: Acuíferos contaminados por intrusión marina entre los años 2005-2010. (a: año 2005, b: año 2006, c: año 2007, d: año 2008, e: año 2009 y f: año 2010).



En el año 2005 (figura 23a) los 4 acuíferos principales de la zona se encuentran contaminados en alguno de sus puntos. El acuífero más contaminado en 2005 (figura 23a) es el acuífero litoral, en concreto, en la zona de Tavernes de la Valldigna y al sur de éste. La Serra de Corbera registra pequeñas zonas donde los cloruros superan los 250 mg/L, en concreto, en sus extremos más litorales y en contacto con el acuífero litoral. De igual modo ocurre en el acuífero Serra Grossa donde las concentraciones superiores a los 250 mg/L se detectan en el extremo más litoral del acuífero de Barx. Por último, el Benicadell-Almirall-Gallinera registra concentraciones superiores al límite en su extremo más cercano a la costa, en concreto, en el extremo del acuífero Salem-Albuerca-Gallinera-Mustalla.

En el año 2006 (figura 23b) la situación de los cloruros mejora, únicamente detectándose concentraciones superiores a 250 mg/L en pequeñas zonas de algunos acuíferos. En la Serra de Corbera éstas se localizan en el extremo más septentrional, en el acuífero litoral éstas se localizan en la zona de Tavernes de la Valldigna, en la zona de Xeraco y en la zona sur, por último, el Benicadell-Almirall-Gallinera supera los 250 mg/L en una pequeña zona litoral de Oliva en contacto con el acuífero litoral.

En el año 2007 (figura 23c) los únicos acuíferos que se consideran contaminados por detectarse en alguno de sus puntos concentraciones superiores a los 250 mg/L son el acuífero litoral y la Serra de Corbera. En la Serra de Corbera estos puntos se localizan en el extremo septentrional y oriental de éste y en el acuífero litoral se detectan en la zona de Tavernes de la Valldigna.

En el año 2008 (figura 23d) los acuíferos que registran concentraciones superiores a los 250 mg/L se localizan en la zona sur de la comarca, en concreto, en el municipio de Oliva, siendo éstos, el acuífero litoral y el Benicadell-Almirall-Gallinera.

La situación en el año 2009 (figura 23e) empeora con respecto al año 2008 (figura 23d). Aumenta la zona del donde se registran concentraciones superiores a los 250 mg/L en el acuífero Benicadell-Almirall-Gallinera y de igual manera sucede en el acuífero litoral, donde aparece una zona en Tavernes de la Valldigna y en Oliva la zona que había en 2008 (figura 23d) se incrementa.

Por último el año 2010 (figura 23f) es muy similar al año 2005 (figura 23a). En todos los acuíferos se detectan zonas contaminadas al superarse la concentración de 250 mg/L. En el acuífero litoral la contaminación se registra en Tavernes de la Valldigna y Oliva, en la Serra de Corbera la contaminación se localiza en los extremos orientales de éste, en la Serra Grossa la zona que supera los 250 mg/L se localiza en el acuífero de Barx y en Benicadell-Almirall-Gallinera la concentración se registra en la zona más litoral el acuífero Salem-Albuerca-Gallinera-Mustalla, en concreto, en Oliva.

La concentración de los cloruros en los acuíferos puede variar debido a la precipitación de la zona y a la presión humana sobre los recursos hídricos de la zona. La información referida a la presión humana de los recursos hídricos actualmente es difícil

de encontrar y seguramente no tenga un alto grado de fiabilidad. Sin embargo, la información referida a la precipitación es una información fácilmente conocida y fiable.

En este caso, se va a relacionar la variación de los cloruros entre 2005 y 2010 con respecto a la precipitación en la zona. Una mayor precipitación hace aumentar la tasa de recarga natural de los acuíferos, a mayor nivel freático la presión del agua dulce sobre el agua salada aumenta, por tanto, el equilibrio se desplaza hacia el mar y como consecuencia disminuye la concentración de cloruros en el propio acuífero.

De manera resumida se puede afirmar que la evolución de las concentraciones de cloruros entre 2005 y 2010 se caracteriza por un incremento en toda la comarca excepto en gran parte de Tavernes de la Valldigna y en la totalidad de Xeraco y Xeresa.

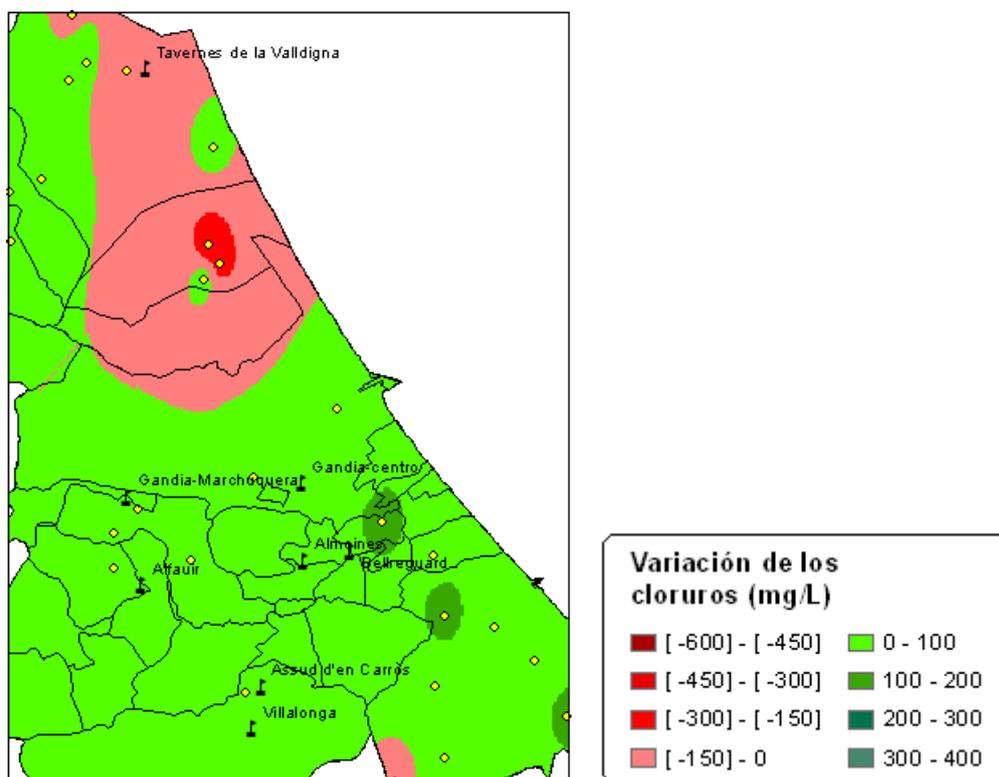


Figura 24: Diferencia cloruros entre los años 2005-2010.

Tabla 5: Valores de precipitación en la comarca de La Safor.

Estación meteorológica	Precipitación [2004-2005] (mm)	Precipitación [2009-2010] (mm)	Variación [2004-2005]-[2009-2010] (mm)
Tavernes de la Valldigna	624,4	1099,5	+475,1
Gandia-Marchuquera	1524,5	1191,4	-333,1
Gandia-centro	*1524,5	1465,0	-59,5
Almoines	*1524,5	1078,1	-446,4
Bellreguard	*1524,5	1406,4	-118,1
La Font d'en Carròs	*1724,4	1460,6	-263,8
Alfauir	*1524,5	1265,0	-259,5
Villalonga	1724,4	1480,1	-244,3

(\* Valores no reales. Tomados de las estaciones meteorológicas más cercanas).

Fuente: Elaborado a partir de los datos de Avamet, Meteoclimatic y Riegos-ivia.

Para analizar si la precipitación es un factor que puede explicar la evolución de los cloruros ha sido necesario la recolección de los datos de precipitación en las principales estaciones meteorológicas de la comarca. Tal como se observa en la tabla 4, no ha sido posible recolectar todos los datos, sobre todo, en los años 2004 y 2005, pero se considera que los datos reales de las estaciones más cercanas pueden ser útiles, considerándose una buena aproximación a la realidad.

Al comparar la imagen (figura 24) y la tabla 5 es evidente la relación existente entre precipitación y concentración de cloruros. Los años con mayor precipitación corresponden con concentraciones de cloruros más bajas en el acuífero. Este resultado se puede observar en la zona norte de la comarca representada por los municipios de Tavernes de la Valldigna, Xeraco y Xeresa. Las precipitaciones aumentaron de manera relevante en el año 2009-2010 (+475,1mm) mientras que los valores de los cloruros disminuyeron de manera importante llegándose a detectar, en algunos puntos de la zona, variaciones negativas próximas a los 300 mg/L.

En cuanto al resto de la comarca, en todas las estaciones meteorológicas la precipitación de los años 2009-2010 es inferior a la de 2004-2005 lo que podría explicar el aumento de la concentración de cloruros, en este caso un aumento moderado entre 0 y 100 mg/L.

Estos resultados podrían indicar que la precipitación es un factor que tiene un cierto peso en la variación registrada en los cloruros.

## 5.2. Contaminación por nitratos

La concentración límite marcada por la Unión Europea para considerar un acuífero no contaminado en el caso de los nitratos es de 50 mg/L. Si en cualquier punto del acuífero esta concentración es superada se puede decir que el acuífero está contaminado. A continuación se muestra el grado de contaminación de los acuíferos de La Safor con respecto a la concentración de nitratos.

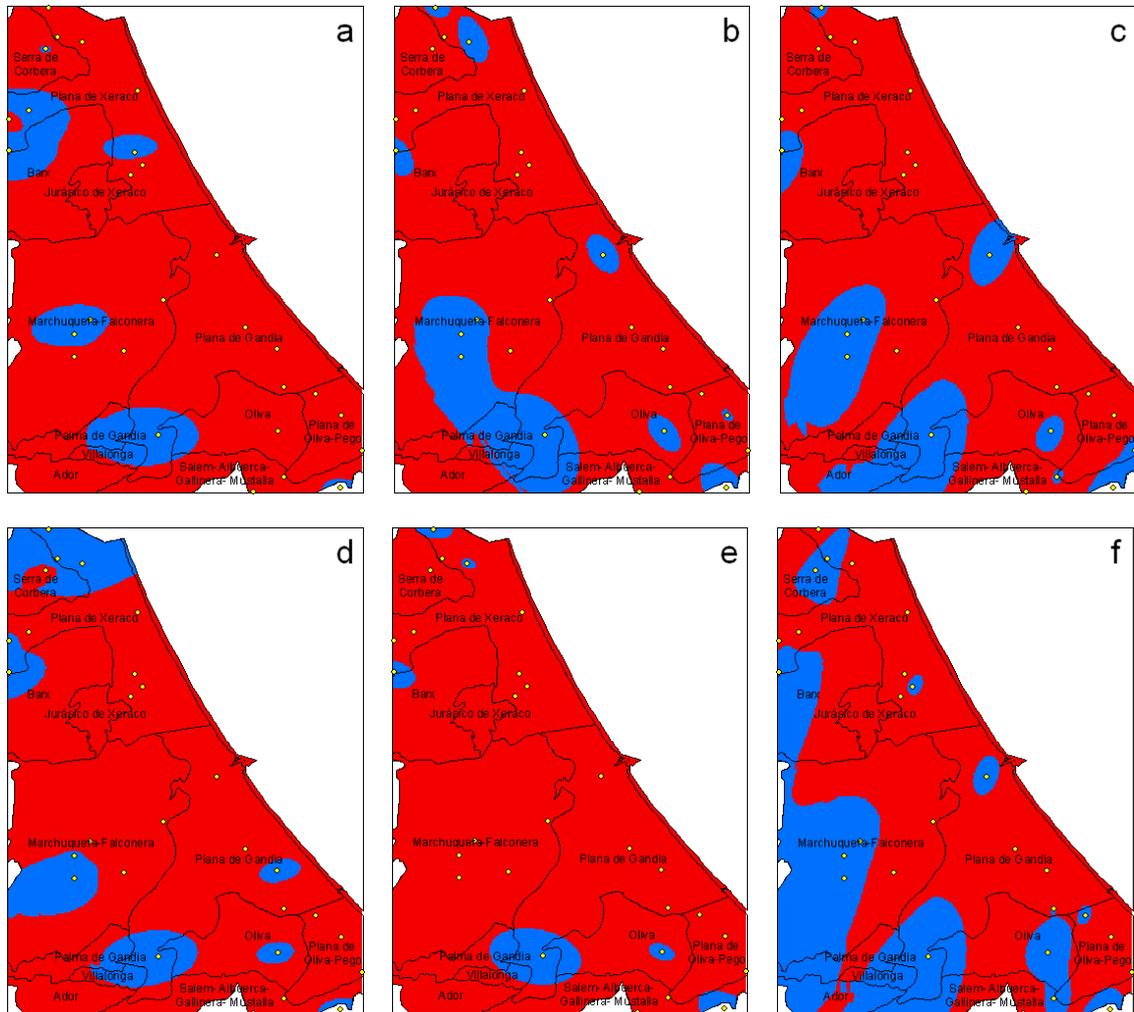
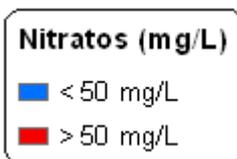


Figura 25: Acuíferos contaminados por nitratos entre los años 2005-2010.  
(a: año 2005, b: año 2006, c: año 2007, d: año 2008, e: año 2009 y f: año 2010).



En las imágenes (figuras 25a-f) se observa claramente el elevado grado de contaminación que sufren los acuíferos con respecto a los nitratos. En ningún año existe acuífero alguno que respete la concentración límite marcada por la Unión Europea en su totalidad. Al observarse las imágenes se puede intuir que las aguas subterráneas más interiores seguramente presenten mejor estado que las aguas más litorales. En este caso la proximidad al mar no supone ninguna relación con la concentración de nitratos, es una cuestión de donde se localiza la superficie agrícola

de la zona. La mayoría de las áreas que respetan la concentración límite coincide con comunidades vegetales, en cambio, las zonas que incumplen la normativa están estrechamente ligadas a superficies agrícolas y núcleos urbanos. Anexo mapas: Anexo 3.

La contaminación registrada en el año 2005 (figura 25a) es global en todos los acuíferos de la comarca. Únicamente las aguas subterráneas que presentan concentraciones inferiores a 50 mg/L se localizan en 3 puntos del acuífero litoral, en 2 puntos del acuífero Serra Grossa y en 3 puntos del acuífero Benicadell-Almirall-Gallinera. Puntos situados en el sur-interior de Tavernes y alrededores, en Xeraco, en Palma de Gandia, y en Villalonga, Ador y Oliva.

La contaminación registrada en el año 2006 (figura 25b) afecta a gran parte de los acuíferos de la zona. En este año 2006 el acuífero litoral registra concentraciones inferiores a 50 mg/L en puntos de Tavernes de la Vallidigna, Simat, Gandia, Ador, Villalonga y Oliva. El acuífero Serra Grossa registra éstas en la zona de Simat y en la zona de Palma de Gandia, Ròtova, Castellonet de la Conquesta y Alfuir. Por último, el acuífero Benicadell-Almirall-Gallinera registra valores inferiores a 50 mg/L en puntos de Oliva, Villalonga y Ador.

En el año 2007 (figura 25c) los acuíferos de la zona siguen contaminados en su gran mayoría. Las zonas donde la concentración es inferior a 50 mg/L se localiza en Tavernes, Simat, Gandia, Ador, Villalonga y Oliva, en el acuífero litoral. En Simat, Gandia, Palma de Gandia, Ròtova, Alfuir, Almiserà, Llocnou de Sant Jeroni y Castellonet de la Conquesta en el acuífero Serra Grossa. Y por último en Ador, Potries, Villalonga y Oliva en el acuífero Benicadell-Almirall-Gallinera.

La gran parte de los acuíferos de La Safor presentan concentraciones superiores a los 50 mg/L en el año 2008 (figura 25d). Las únicas zonas donde esta concentración es menor se localizan al zona norte de Tavernes de la Vallidigna, en una pequeña zona al este de Simat y Benifairó de la Vallidigna, en zonas de Ròtova y Almiserà, en Miramar, en zonas de Ador y Villalonga y en pequeñas zonas de Potries y Oliva. En el año 2008 (figura 25d) todos los acuíferos de La Safor registran zonas o pequeñas zonas con valores de concentración inferior al límite de la UE.

La concentración de nitratos en los acuíferos de la zona empeora en el año 2009 (figura 25e) con respecto a los años anteriores. En el acuífero litoral únicamente se localizan concentraciones inferiores a 50 mg/L en pequeños puntos de Tavernes, Benifairó, Ador y Villalonga. En Serra Grossa, éstos únicamente se localizan en pequeñas zonas de Benifairó y Simat de la Vallidigna. En el Benicadell-Almirall-Gallinera éstos se localizan en pequeñas zonas de Ador, Villalonga y Oliva.

En el año 2010 (figura 25f) la situación de los acuíferos de la zona con respecto a la concentración de nitratos mejora, de tal manera, que el año 2010 puede ser considerado el año con mayor superficie donde los nitratos son inferiores a 50 mg/L. Aunque gran parte de los acuíferos están contaminados, en el año 2010 (figura 25f) los 4 principales acuíferos registran zonas donde los nitratos cumplen el límite marcada por la UE. En el acuífero de la Serra de Corbera- Les Agulles-Les Creus los nitratos son inferiores a 50 mg/L al norte de Tavernes de la Vallidigna. En el acuífero Serra Grossa los nitratos cumplen la concentración límite en amplias zonas de Simat,

Benifairó y Barx y en amplias zonas de Gandia, Palma de Gandia, Ròtova, Almiserà, Llocnou de Sant Jeroni y Castellonet de la Conquesta. En el acuífero Benicadell-Almirall-Gallinera los nitratos registran valores inferiores a 50 mg/L en amplias zonas de Ador, Villalonga, Llocnou de Sant Jeroni, Castellonet de la Conquesta y Oliva. Por último, en el acuífero litoral las zonas con nitratos inferiores a 50 mg/L se localizan en pequeñas zonas de Tavernes, Simat y Benifairó de la Valldigna, en Xeraco, Gandia y Oliva, y en Palma de Gandia, Ador, Potries y Villalonga.

Como se ha mencionado, la superficie agrícola es uno de los factores que influye en la concentración de los nitratos, sobre todo, a causa del abonado realizado en estas zonas. Una mayor superficie agrícola en la zona, seguramente corresponda con una mayor tasa de abonado y por tanto con una mayor concentración de nitratos en los acuíferos. En un principio, los fertilizantes de base nitrogenada se liberan al suelo, pero a causa de la gran cantidad liberada es imposible que la planta lo absorba en toda su totalidad. Debido al exceso de nitratos, que por tanto se almacenan en el suelo y debido al riego, los nitratos son lavados y lavados hasta que finalmente por infiltración contactan con los acuíferos. Por tanto, la concentración de los nitratos y su evolución se va a intentar relacionar de manera directamente proporcional con respecto a la superficie agrícola.

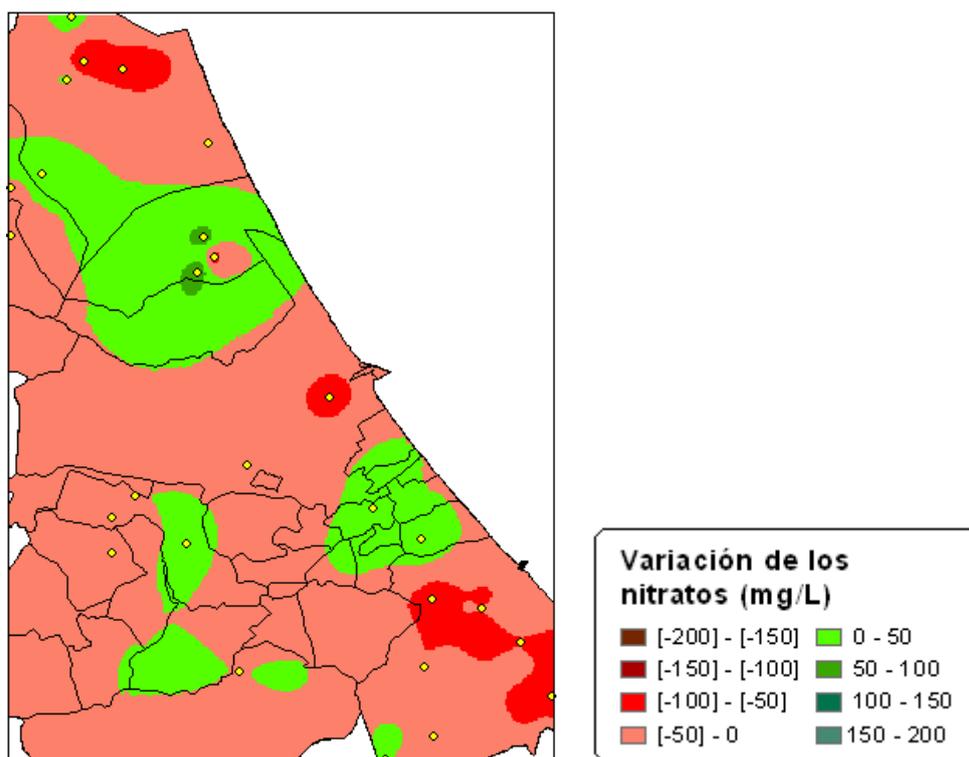


Figura 26: Diferencia nitratos entre los años 2005-2010.

Como se observa en la imagen (figura 26) se ha experimentado una disminución de la concentración de los nitratos, descenso moderado en la mayor parte de la comarca. Además, se detecta un descenso de mayor entidad, entre 50 y 100 mg/L, en algunas zonas de Tavernes de la Valldigna, Gandia y sobre todo en Oliva. Seguramente variación negativa directamente proporcional a la variación negativa de la superficie agrícola que experimentan los municipios de La Safor entre 2005 y 2010.

La principal causa de esta evolución favorable para los acuíferos de la zona es la pérdida y el abandono de superficie agrícola, principalmente de hortalizas y cítricos. Debido a este fenómeno los acuíferos de la zona están menos presionados por los nitratos y poco a poco, si la tendencia continúa, irá disminuyendo la concentración en ellos.

La unión de pequeños agricultores y ganaderos cifra que en la Comunitat Valenciana se han perdido 9652 explotaciones agrarias, principalmente cítricos, entre 2003 y 2006 (Las Provincias, 2007).

El porcentaje de desaparición de cultivos de cítricos en la Comunitat Valenciana ha aumentado del 4% al 8% en los últimos cinco años (El País, 2011), es decir, durante los años 2005 a 2010 se han duplicado las parcelas de cítricos abandonadas.

Si se interpolan estos datos a la comarca de La Safor se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 6: Abandono de cítricos en La Safor.

Comarca de La Safor		
ha cítricos 2005	abandono ha cítricos 2005 (-4%)	abandono ha cítricos 2010 (-8%)
13221	529	1015

Fuente: Elaborado a partir de los datos de Portal estadístico de la Generalitat (IVE).

Entre 2005 y 2010 la cantidad de hectáreas abandonadas en la comarca de La Safor se calcula aproximadamente en 1000ha, disminución que explica la evolución negativa de los nitratos.

Además del abandono también se registra una disminución de la superficie agraria en la comarca, como se observa la siguiente tabla:

Tabla 7: Evolución superficie agrícola.

Municipios	Variación superficie agrícola total (ha)
Benifairó de la Vall d'igna	-77
Barx	-16
Llocnou de Sant Jeroni	-20
Villalonga	-43

Fuente: Elaborado a partir de los datos del IVE.

Este es un ejemplo de como la superficie agrícola de la zona se ha visto disminuida durante estos 5 o 6 años. La pérdida de superficie agraria es sin duda otro factor en la evolución registrada en los nitratos.

Por último, en la única zona donde se rompe la tendencia de los nitratos y éstos aumentan, entre 50 y 100 mg/L, es en Xeraco y Xeresa. Este aumento podría ser explicado considerando las características geomorfológicas-litológicas asociadas a la formación montañosa del Mondúver. El Mondúver es un macizo cretácico donde destacan las potentes formas kársticas. Debido a la precipitación de la zona, la lámina de agua generada en lo alto de éste, arrastra los nitratos depositados de las zonas más elevadas a las más bajas, causando en ambos municipios que la concentración

de nitratos no disminuya sino que aumente. En Xeraco y Xeresa, por lo tanto, un factor importante con respecto a los nitratos, es la aportación sufrida por este arrastre.

## 6. CONCLUSIONES

En este estudio se han aplicado los Sistemas de Información Geográfica para analizar la calidad de las aguas subterráneas. La posibilidad de que esta tecnología permita la generación de mapas, análisis de evolución y generación de superficies predictivas a partir de técnicas de interpolación ha permitido un mejor análisis de las aguas permitiendo diagnosticar problemas ambientales como altas concentraciones de cloruros y nitratos y su evolución en el tiempo.

La aplicación de los SIG en las aguas subterráneas además puede ser una herramienta importante en las funciones de monitoreo para detectar problemas a corto plazo, anomalías, recuperaciones, etc.

En cuanto a las técnicas de interpolación se ha demostrado que el algoritmo que ha proporcionado mejores resultados en la generación de superficies de distribución de los cloruros y los nitratos ha sido la técnica *IDW (Inverse Distance Weighted)*. A pesar de ser una técnica que formula suposiciones generales y no contrastadas de la variable, lo realmente importante y que determina la mejor técnica es el error que se genera tras la interpolación.

La intrusión marina afecta a los acuíferos de La Safor debido principalmente a la sobreexplotación que se hace de los acuíferos. En el tiempo estudiado únicamente la afección recae sobre la zona litoral norte y la zona litoral sur, pero la evolución indica que en el resto de la comarca la concentración de cloruros está aumentando. Un factor importante que puede evitar un mayor avance de la intrusión en nuestros acuíferos son las precipitaciones de la zona, ayudando a elevar la tasa de recarga natural del acuífero en los años lluviosos.

El abandono agrícola sumado a la pérdida de superficie agraria en la zona evidencia una disminución de los nitratos en la comarca. Debido a la disminución del trabajo agrícola es innecesario la aplicación de fertilizantes, por lo que, la presión de los nitratos sobre las aguas subterráneas se reduce, consiguiéndose una mejoría con respecto a la calidad de los acuíferos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

AGUAYSIG. *Como escoger un modelo geoestadístico en ArcGis*.

<<http://www.aguaysig.com/2012/05/como-escoger-un-modelo-geoestadistico.html#more>> [Consulta: 25 de mayo de 2014]

ASSOCIACIÓ VALENCIANA D'AFICIONATS A LA METEOROLOGIA.

<<http://www.avamet.org/mxarxa.php>> [Consulta: 20 de mayo de 2015]

BOSQUE, J. (1992). *Sistemas de información geográfica*. Madrid: RIALP.

CENTRO RURAL DE INFORMACIÓN EUROPEA. *Contaminación de aguas subterráneas: Los nitratos*. <<http://www.crie.uji.es/agua/nitratos.html>> [Consulta: 21 de agosto de 2014]

DÍAZ, M.A. (2002). *Geoestadística aplicada*. Tesis. Cuba: Instituto de Geofísica y Astronomía (CITMA) e Instituto de Geofísica (UNAM).

DIRECCIÓ GENERAL DE SALUT PÚBLICA I CONSUM- GOVERN DE LES ILLES BALEARS.

*Preguntas y respuestas sobre los cloruros en el agua de consumo*.

<<http://salutambiental.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M1011100850266368098&lang=es&cont=26201>> [Consulta: 21 de agosto de 2014]

EL PAÍS. <[http://elpais.com/diario/2011/06/28/cvalenciana/1309288691\\_850215.html](http://elpais.com/diario/2011/06/28/cvalenciana/1309288691_850215.html)> [Consulta: 3 de junio del 2015]

FOLQUES, E. (2013). *Caracterización de Aguas mediante técnicas SIG en Pego (Alicante)*. Trabajo Final de Carrera. València: Escuela Superior Politécnica de Gandía (EPSG)

FORTEZA, J., RUBIO, J.L. y GIMENO, E. (1995). *CATALOGO DE SUELOS de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació.

HEREDIA, F. et. al. (1994). *Métodos oficiales de análisis (Tomo III)*. Madrid: Secretaría general técnica Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

HERNÁNDEZ, L. (2015). *Espacio Geográfico*. <<http://espacio-geografico.overblog.es/article-anisotropia-78917787.html>> [Consulta: 27 de mayo del 2015]

INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA. <<http://www.ive.es/>> [Consulta: 26 de agosto del 2014]

INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA. <<http://www.ive.es/>> [Consulta: 30 de agosto del 2014]

INSTITUTO VALENCIANO DE ESTADÍSTICA. <<http://www.ive.es/>> [Consulta: 18 de mayo del 2015]

JUAN, A.A., SEDANO, M., VILA, A. (2009). *Distribución normal*. Proyecto e-Math. Madrid: Secretaría de Estado de Educación y Universidades (MECD)

LAS PROVINCIAS.

<[http://www.lasprovincias.es/alicante/prensa/20070929/economia/atribuye-abandono-citricos-alto\\_20070929.html](http://www.lasprovincias.es/alicante/prensa/20070929/economia/atribuye-abandono-citricos-alto_20070929.html)> [Consulta: 3 de junio del 2015]

METEOCLIMATIC. <<http://www.meteoclimatic.net/mapinfo/ESPVA>> [Consulta: 20 de mayo de 2015]

MORENO JIMÉNEZ, A. et.al. (2007). *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica Manual de autoaprendizaje con ArcGis*. Madrid: Ra-Ma.

PULLIDO BOSCH, A., LÓPEZ GETA, J.A. Y RAMOS GONZALEZ, G. (2007). Los acuíferos costeros: retos y soluciones. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

SASTRE, J. Y MORERA, V. (2005). *Les fonts de la Safor. De les nimfes d'aigua a la sobreexplotació dels aqüífers*. Gandia: CEIC Alfons el Vell.

WORLDWIDE BIOCLIMATIC CLASSIFICATION SYSTEM.

<<http://pendientedemigracion.ucm.es/info/cif/plot/es-gandi.htm>> [Consulta: 9 de diciembre de 2014]

(© Esri, 1995-2012, tutorial: Geostatistical analyst)