



INFORME DE RESULTADOS EN VIRTUD DEL CONVENIO ESPECÍFICO DE COLABORACIÓN ENTRE LA EMPRESA MUNICIPAL DE AIGÜES I CLAVEGUERAM S.A. DE PALMA DE MALLORCA Y EL INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA PARA EL ESTUDIO CIENTÍFICO-TÉCNICO DE LAS INUNDACIONES EN EL PLÁ DE SANT JORDI (PALMA DE MALLORCA, BALEARES)

(TOMO I)

(En Palma de Mallorca, enero de 2016)





EQUIPO DE TRABAJO DEL IGME

Coordinador del Proyecto

Pedro A. Robledo Ardila

Investigadores y Técnicos

Luis Moreno Merino

Andrés Díez-Herrero

Carolina Guardiola Albert

Eulogio Pardo Iguzquiza

José M^a López García

Ana Sevillano Matilla

Manuel Bernat Rebolat

Almudena de la Rosa Román

M^a Ángeles Perucha Atienza

Ana Cabrera Ferrero

Pedro Ibarra Torre

José Luis. Cantón Ávila

Esperanza Palmer Gómez

Becarios de Grado y Máster

Cristina Morello Martín

Virginia Díaz de la Cruz

Iván Juliá Blas

Rafael Gonzalez Cañellas

COLABORADORES EXTERNOS

Néstor Hernando Rodríguez

Carlos Manzanares Román

Leticia Portuondo Seijo

José Francisco Martín Duque



ÍNDICE

PARTE 1. Introducción y Agradecimientos

PARTE 2. Realización de trabajos de cartografía a escala 1/1.000 del Pla de Sant Jordi, Palma de Mallorca y levantamiento topográfico de precisión en zonas de interés para el estudio.

PARTE 3. Caracterización hidrogeológica de la Masa de Agua Subterránea del Pla de Sant Jordi (1814.m2) para el estudio de las inundaciones en el Pla.

PARTE 4. Evolución piezométrica del acuífero Pliocuaternario del Pla de Sant Jordi (1814m2) para el estudio de las inundaciones en el Pla.

PARTE 5. Simulación hidrogeológica con un modelo matemático de flujo para el estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi.

PARTE 6. Informe sobre los ensayos de infiltración en suelos mediante infiltrometría de anillo simple en el Pla de Sant Jordi, Mallorca.

PARTE 7. Estudio de la peligrosidad por inundaciones en el Pla de Sant Jordi (Mallorca, Islas Baleares) y propuesta para la renaturalización hidromorfológica estable de su drenaje superficial.

PARTE 8. Análisis de sistemas geomorfológicos mediante técnicas morfométricas en el Pla de Sant Jordi.

PARTE 9. Conclusiones.

PARTE 10. Recomendaciones.



MINISTERIO
DE ECONOMÍA
Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico
y Minero de España

PARTE 1

INTRODUCCIÓN



Para la consecución de todos los objetivos y trabajos en relación al estudio derivado de la problemática de las inundaciones en el Pla de Sant Jordi propuesto en este proyecto, la Empresa Municipal de Aguas y Alcantarillado de Palma de Mallorca (EMAYA) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) firmaron un convenio de colaboración en 2013. Las investigaciones en el marco de este proyecto denominado con el acrónimo POSEIDÓN, se han centrado en evaluar un conjunto DE procesos y variables desde diferentes áreas de investigación en Ciencias de la Tierra. En el han participado un gran número de investigadores y técnicos del IGME, así como otros organismos públicos y colaboradores externos. El fin último era realizar un diagnóstico en relación a las causas y los procesos ligados al fenómeno intermitente de las inundaciones en el Pla y proponer una serie de soluciones sostenibles en un entorno enormemente complejo.

La zona de estudio, se ubica en el centro de la cuenca de Palma, dentro de su propio término municipal. El área total del Llano de Palma comprende 350 km² de superficie aunque la zona objeto de estudio está en torno a los 25 km². Se trata de una zona llana con un drenaje al mar a través del cauce de Sa Siquia al este, y del Torrent Gros al oeste, junto con una red de acequias antiguas, arquetas de captación, bombeos y conducción de agua a las Estaciones de Aguas Depuradas (EDAR). En este marco general se ubica un acuífero detrítico libre que abarca toda la cuenca, hidráulicamente complejo cuya descarga natural se produce de forma difusa al mar (SGOP 1968 y 1972) y que juega un rol determinante en la problemática de zonas inundadas.

Algunos estudios habían puesto de manifiesto la posible influencia en las inundaciones que periódicamente experimenta esta zona de eventos de precipitaciones extremas y las oscilaciones del nivel freático del acuífero del Llano de Palma, con los consiguientes problemas sobre los habitantes (De la O y Gil, 1996; Estiu, 2007). Sin embargo, estos trabajos no habían determinado las relaciones entre las oscilaciones del nivel piezométrico del acuífero y los momentos de inundación, así como tampoco estaban bajo el soporte de una cartografía de detalle de la zona susceptible de inundarse que permitiera un estudio preciso de la topografía del terreno y, con ello, un cálculo de la superficie inundada en eventos pretéritos o potencialmente inundable, con estimaciones del volumen aproximado de agua estancada. La revisión previa de esta problemática sugería que las inundaciones podían ser debidas a múltiples causas: desde que los niveles limo-arcillosos se saturaran de agua después de un evento de precipitaciones intensas e impidieran la infiltración del agua de lluvia hacia la zona freática del acuífero, avenidas causadas por eventos de precipitación extrema o el afloramiento de la lámina de agua freática por encima de la superficie del terreno, entre otras causas. Por ello y dadas estas relaciones geológicas y geomorfológicas, se abordó este trabajo en dos grandes vertientes estableciendo las interrelaciones plausibles. Por un lado, la



posibilidad de que una subida del nivel piezométrico del acuífero pueda superar el umbral de la superficie del terreno; o la probabilidad de que después de un evento de precipitaciones intensas el sistema hidrológico de la cuenca drenaje se viera desbordado debido a un sistema de drenaje para las aguas superficiales insuficiente o poco efectivo. Esta hipótesis inicial se mostró integradora pero, el desarrollo de los trabajos en el marco del proyecto ha puesto de relieve un problemática mucho más compleja en la que intervienen otros muchos factores. Para ello, se han llevado a cabo investigaciones geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas, geomorfológicas, cartográficas, morfométricas, geomatemáticas, de geofísica y tratamiento digital de imágenes satélite, entre otros trabajos, reforzado todo ello, por un importante volumen de mapas temáticos que apoyan cada una de las conclusiones obtenidas. Entre estos, destacan un exhaustivo análisis hidrológico y su relación con las inundaciones y un análisis hidrogeológico de la masa de agua subterránea 18.14M2 Sant Jordi, para lo que se elaboró de una red específica en al Pla para determinar la calidad y la pizometría (denominada red POSEIDÓN) con más de 40 puntos de muestreo y un seguimiento mensual. Esto, junto con la elaboración de un modelo matemático del acuífero, nos ha permitido dirimir la posible influencia del comportamiento del acuífero en las inundaciones y qué papel juegan otros aportes hídricos naturales o no a la cuenca, en algunos casos pocos conocidos hasta el momento, como el agua que procede de las surgencias naturales al norte de la zona de estudio en los denominados “ullals”. Ha sido necesario también, conocer la superficie inundada real, la superficie inundable, la topografía de detalle, la cuenca de drenaje natural y la actual red de drenaje antrópica con los tributarios asociados, cuya eficiencia en el drenaje del agua, parece jugar un rol también importante. A la vez, se ha analizado mediante la elaboración y delineación automática de depresiones y novedosos métodos morfométricos, como influye la compleja topografía del terreno que deriva de un antiguo humedal desecado (Roselló i Verger, 1959; Robledo *et al* 2013).

El presente trabajo ha cumplido con todos los objetivos generales y concretos planteados al inicio, y ha puesto de manifiesto qué procesos dan lugar a las inundaciones en el Pla de Sant Jordi su variabilidad espacio-temporal en el área de estudio. Se ha realizado un diagnóstico general de la zona, dando una respuesta técnica a la pauta global de eventos extremos y áreas inundadas. El desarrollo de la hipótesis de partida ha puesto de relieve, entre otras cosas, una deficiente red de drenaje superficial, el importante peso específico que juega el acuífero Pliocuaternario en las inundaciones debido a las oscilaciones de los niveles piezométricos y la necesidad de mejorar la gestión y planificación del territorio y de los recursos hídricos del Pla. Además, se ha podido constatar que el antiguo humedal desecado de Sant Jordi, aunque es un sistema



residual, intenta reinstituirse de forma natural cuando la presión humana cambia o disminuye en el espacio y en el tiempo.

Por último, cabe apuntar que si bien, los estudios derivados de este proyecto necesitan de una continuidad para tener todas las herramientas necesarias para una correcta gestión y planificación de los recursos hídricos del Pla de Sant Jordi, se ha mejorado considerablemente el conocimiento del área definiendo, causas y umbrales espacio-temporales de procesos ligados a las inundaciones y, estableciendo las relaciones existentes entre los factores analizados.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar y como coordinador de este proyecto quiero agradecer el gran trabajo realizado a todos los miembros del IGME que han participado en la consecución de este convenio de colaboración. Este agradecimiento lo hago extensivo a la intensa y estrecha colaboración con el personal de EMAYA, sin el cual no hubiera sido posible la finalización de los trabajos planteados. Tanto la dirección de EMAYA, con la que se acordó los términos del convenio, como los jefes de Proyecto, Pera Marc, Juanjo Pieras, Guillermo Martínez, técnicos de campo y de gabinete, se han volcado en que este trabajo sea hoy una realidad. En el mismo sentido, al personal de la Direcció General de Recursos Hídrics, Conselleria de Medi Ambient, Govern de les Illes Balears, por su ayuda en el acceso a la documentación los datos de sus redes de muestreo. También, al personal de AENA del aeropuerto de Son San Joan, por facilitarnos el acceso a las zonas de trabajo y proporcionarnos vehículos de transporte; especialmente a Diego Llorca Crespí, Jefe de División de Gabinete en Dirección. Al Ejército del Aire, Base Aérea de Son Sant Joan (Sector Aéreo de Baleares), con especial énfasis a la Capitana Eva Marín y al Coronel Jefe Julio Ayuso, por su interés y colaboración en la búsqueda de datos y acceso a las instalaciones militares. A la AEMET, por suministrar los datos meteorológicos en virtud del convenio de intercambio de información con que tiene suscrito con el IGME. Y a con un sentir espacial, a todos los propietarios de fincas particulares de Sant Jordi, que han colaborado desinteresadamente en muchos trabajos, a veces aportando datos e información que han sido claves para las conclusiones de muchos de los trabajos que aquí se presentan. Entre este elenco de personas, ha sido clave la colaboración del Sr. Tolo Pons y el propietario de la de la Finca de Son Mir. Don Pedro Pons que, desgraciadamente, nos dejó el año pasado. Vaya por delante nuestro más profundo agradecimiento y nuestro recuerdo.

REFERENCIAS

DE LA O, A. y I GIL, I. (1996): Drenaje del Pla de Sant Jordi (Palma de Mallorca). Ministerio de Agricultura i Conselleria d'Agricultura. Mallorca, 97 pp.

ESTUDIO DE INGENIERÍA Y URBANISMO –ESTIU- (2007): Estudio de soluciones para el drenaje del tramo final del Torrent de Sa Siquia en la playa de Palma.



ROBLEDO, P.A.; DíEZ-HERRERO, A.; PERUCHA, M.A.; BERNAT REBOLLAL, M.; MARTÍN-DUQUE, J.F.; LÓPEZ, J.M.; SEVILLANO, A.; GUARDIOLA-ALBERT, C.; PARDO-IGÚZQUIZA, E.; MORENO, L.; PALMER, E. Y CANTÓN, J.L. (2014): Aspectos hidrogeomorfológicos en el estudio de las inundaciones en el Pla de Sant Jordi (Mallorca). En: S. Schnabel y Á. Gómez Gutiérrez (Eds.), Avances de la Geomorfología en España 2012-2014, pp. 60-63, XIII Reunión Nacional de Geomorfología, Universidad de Extremadura y Sociedad Española de Geomorfología, Cáceres.

ROSELLÓ I VERGER, V. M. (1959): El Prat de Sant Jordi y su desecación. Boletín de la Cámara de Comercio, Industria y Navegación de Palma de Mallorca. 622, 1-10 pp.

SGOP (1968): Estudio Hidrogeológico del Llano de Palma. Director Angel García Yagüe. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.

SGOP (1972): Informe Hidrogeológico del Llano de Palma. Ramón Llamas. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.



PARTE 2

REALIZACIÓN DE TRABAJOS DE CARTOGRAFÍA A ESCALA 1/1.000 DEL PLA DE SANT JORDI, PALMA DE MALLORCA Y LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DE PRECISIÓN EN ZONAS DE INTERÉS PARA EL ESTUDIO

Equipo de Trabajo

Pedro A. Robledo Ardila
Montserrat Martínez
Gregorio Alonso

INDICE

1.- OBJETO DEL TRABAJO	3
2.- MARCO DE REFERENCIA	3
2.1.- SISTEMA DE REFERENCIA	3
2.2.- SISTEMA GEODESICO	3
2.3.- SISTEMA CARTOGRAFICO DE REPRESENTACIÓN	3
3.- DESARROLLO DEL PROYECTO: TAREAS A REALIZAR	4
3.1.- VUELO FOTOGRAFICO DIGITAL	4
3.1.1.- PLANIFICACIÓN DEL VUELO	5
3.1.2.- EJECUCIÓN DEL VUELO FOTOGRAFICO	6
3.2.- APOYO FOTOGRAFICO	8
3.3.- AEROTRIANGULACIÓN DIGITAL/ORIENTACIÓN DE MODELOS	11
3.3.1.- DATOS DE ENTRADA	12
3.3.2.- GENERACIÓN DE LAS IMÁGENES PIRAMIDALES	12
3.3.3.- DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE AEROTRIANGULACIÓN	13
3.3.4.- ORIENTACIONES INTERNAS	14
3.3.5.- VISUALIZACIÓN DEL BLOQUE Y VERIFICACIÓN DE SOLAPES	15
3.3.6.- MEDIDA MONOSCÓPICA DE APOYO MÍNIMO	16
3.3.7.- EXTRACCIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE PASO	16
3.3.8.- MEDIDA MANUAL DE PUNTOS DE APOYO Y DE CONTROL	18
3.3.9.- ANÁLISIS PUNTOS DE APOYO RECHAZADOS (PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA) → ORIENTACIÓN EXTERNA	20
3.3.10.- ESTADÍSTICAS DEL PROCESO DE AEROTRIANGULACIÓN	22
3.3.11.- EXPORTAR RESULTADOS	22
3.4.- RESTITUCIÓN DIGITAL 1:1.000	23
3.4.1.- EQUIPOS DE RESTITUCIÓN	23
3.4.2.- AJUSTE DE MODELOS	24
3.4.3.- CRITERIOS PARA LA RESTITUCIÓN FOTOGRAFICA	26
3.5.- GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES: MDT Y MDE	27
3.5.1.- ELEMENTOS QUE DEFINEN LA ALTIMETRÍA	27
3.5.2.- CONTROL DE CALIDAD ENTIDADES 3-DT	28
3.5.4.- TRIANGULACIÓN – GENERACIÓN DEL MDE	34

1. Objeto del trabajo

El objeto del trabajo es la “Realización de Trabajos de Cartografía a escala 1/1.000 de “El Pla de Sant Jordi”, Palma de Mallorca y Levantamiento Topográfico de Precisión en zonas de interés para el estudio”.

La zona de estudio, El Pla de San Jordi, cuenta con una extensión de 2.500 Has. Para ello completaremos y describiremos a continuación, las tareas ejecutadas para un desarrollo óptimo del proyecto:

- Realización de un vuelo digital
- Apoyo topográfico, con levantamiento topográfico en zonas de detalle
- Aerotriangulación
- Restitución digital a escala 1/1.000
- Generación de Modelos digitales del Terreno (MDT) y Modelos digitales de Elevación (MDE)

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1.- SISTEMA DE REFERENCIA

Se adoptó el Sistema de Referencia denominado ETRS89 (Sistema de referencia Europeo), constituido por:

- Elipsoide WGS84
- Parámetros: Semieje mayor $a = 6.378.137$ m
Aplanamiento = $1:298,257222101$
- Coordenadas Geodésicas con latitudes referidas al Ecuador y positivas hacia el Norte, y longitudes referidas al meridiano de Greenwich y consideradas positivas al Este de dicho meridiano, y negativas al Oeste.

2.2.- SISTEMA GEODESICO

Se ha empleado el sistema geodésico, oficial, de referencia: ETRS89. El sistema geodésico de referencia está constituido por la Red Regente y en su caso, la adaptación al ETRS89 de otros vértices geodésicos (ROI) de la Red Geodésica Nacional.

Las altitudes geodésicas de los vértices que conforman dicha red, están referidas al nivel medio del mar definido por el mareógrafo fundamental de Alicante para el territorio peninsular.

Las transformaciones de altitudes elipsoidales a ortométricas, se han realizado con el Modelo de Geoide existente en el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

2.3.- SISTEMA CARTOGRÁFICO DE REPRESENTACIÓN

Para la cartografía se ha utilizado la Proyección *Universal Transversa de Mercator* (U.T.M.), en el huso 31.

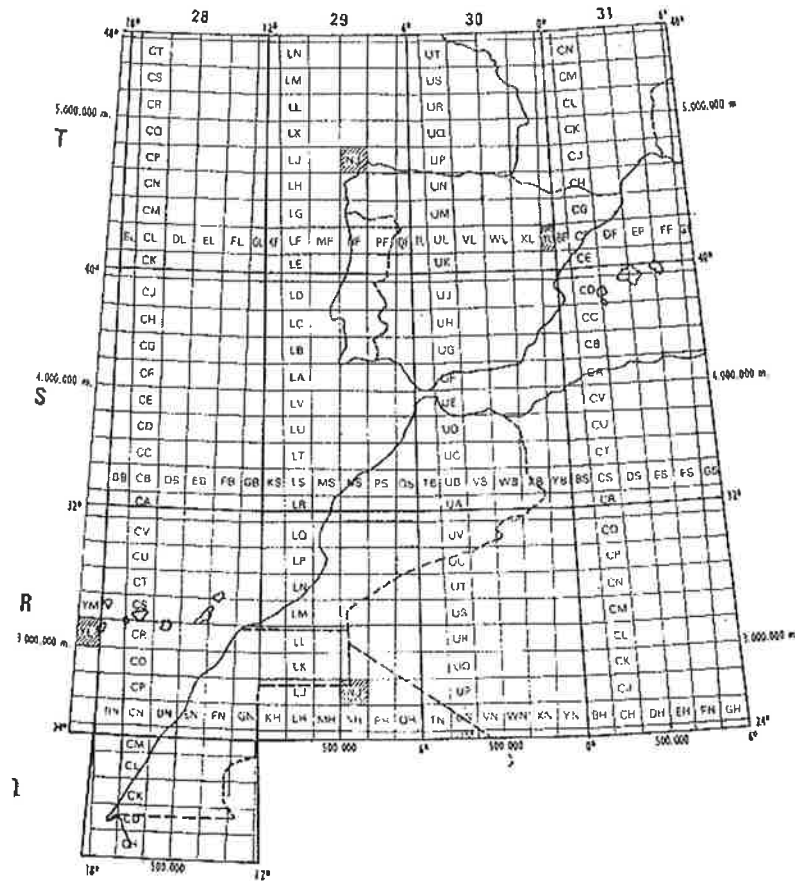


Figura 1. Esquema Proyección Universal Transversa de Mercator

3.- DESARROLLO DEL PROYECTO: TAREAS A REALIZAR

Las fases implícitas en el desarrollo del proyecto, se estructuran en:

- Vuelo fotogramétrico digital
- Apoyo topográfico, con levantamiento topográfico en zonas de detalle
- Aerotriangulación
- Restitución digital a escala 1/1.000
- Generación de Modelos digitales del Terreno (MDT) y Modelos digitales de Elevación (MDE)

3.1.- VUELO FOTOGRAMÉTRICO DIGITAL

El vuelo fotogramétrico tiene por objeto la obtención de imágenes fotográficas con recubrimiento estereoscópico de la zona a cartografiar.

Partiendo de un vuelo color con cámara digital, con un tamaño máximo del píxel de 10 cm, se realizó la restitución numérica para la obtención de los mapas de escala 1: 1.000, en el sistema geodésico de referencia ETRS89.



Figura 2. Vuelo fotogramétrico

3.1.1.- PLANIFICACIÓN DEL VUELO

La planificación del vuelo fotogramétrico se realizó teniendo presente las condiciones geométricas siguientes: escala fotográfica, recubrimientos longitudinales y transversales, dirección de las pasadas, longitud focal de la cámara empleada y horario idóneo para realizar la toma fotográfica.

A continuación, se extraen las alturas de vuelo medias para cada una de las pasadas a partir de una intersección de las huellas de los fotogramas sobre un DTM de resolución adecuada.

Después, se detalla la información marginal que aparecerá en el borde lateral de cada uno de los fotogramas.

Y finalmente, se obtienen las coordenadas de los centros de proyección quedando almacenados en un fichero con formato de Base de Datos que será transferido a la unidad de vuelo o sistema de navegación de cada avión.



Figura 3. Planificación de vuelo para “El Pla de Sant Jordi”

3.1.2.- EJECUCIÓN DEL VUELO FOTOGRAMÉTRICO

La realización del vuelo se llevó a cabo previa instalación del fichero de coordenadas con formato mdb en el sistema de navegación. Estas coordenadas de planificación de los centros de proyección, se emplean para ir cotejándolas con las que se obtienen en tiempo real vía satélite y que permiten a la cámara efectuar los disparos.

Desde que se conectan los motores del avión hasta que se apagan en el aeropuerto de llegada, se dispone de un receptor GPS aerotransportado que permite grabar observaciones y eventos de disparo de la cámara. De esta forma se obtienen coordenadas precisas de los centros de proyección en postproceso.

El producto final de la ejecución del vuelo son las imágenes digitales, fichero de observaciones GPS y fichero final de la trayectoria seguida por el avión.

3.1.2.1.- PROYECTO DE LEVANTAMIENTO CINEMÁTICO

Introducción

Con el fin de aumentar la eficacia en la ejecución del vuelo, así como de la aerotriangulación, se utilizó la técnica de APOYO AEREO CINEMÁTICO. Es decir, se determinan las posiciones de la cámara en el momento de la exposición mediante registro de datos GPS y utilización de las mismas como observaciones adicionales durante el cálculo y ajuste de la aerotriangulación a través del software MATCH - AT.

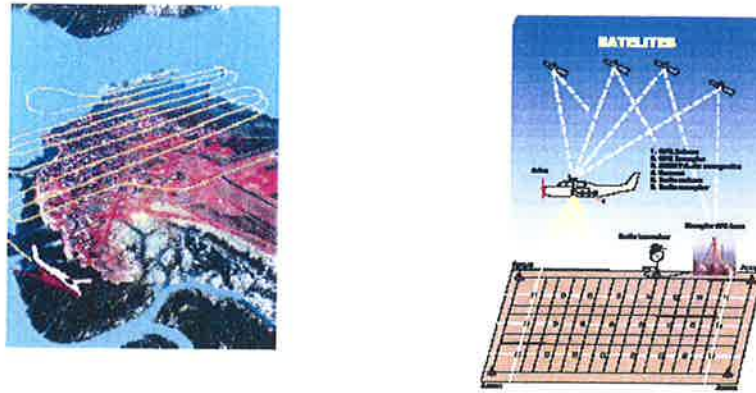


Figura 4. Planificación de vuelo para “El Pla de Sant Jordi”

Metodología

Para la determinación de las coordenadas de la trayectoria del avión y finalmente las coordenadas de los centros de proyección, se aplica el método relativo para la observación, que consiste en situar un receptor GPS en el avión y otro establecido en una estación base de coordenadas conocidas. Se efectúa observaciones de fase y el cálculo se realiza en post-proceso con efemérides precisas.

Se obtienen observaciones GPS de fase por segundo, durante el tiempo que dure la misión, desde el despegue hasta el aterrizaje. El receptor GPS aerotransportado lleva un registro de observaciones constante mientras que las exposiciones de la cámara se realizan en un instante de tiempo diferente. Por tanto, una vez calculada la trayectoria seguida por el avión y definida por las posiciones calculadas del registro secuencial GPS, se procede a la interpolación de las posiciones de la cámara en cada momento de exposición entre los registros secuenciales. Las cámaras modernas producen un impulso eléctrico, justo en el momento de la exposición de la cámara, que se graba en los datos de observación GPS como una marca de tiempo.

De esta manera los tiempos de exposición de la cámara y los de observación de GPS se producen en una misma escala de tiempo, por lo que las posiciones de cada centro de proyección pueden ser interpoladas entre las posiciones de la trayectoria. El receptor GPS tiene una alta frecuencia en el registro de datos (1 segundo) de manera que permite mejorar la precisión en la interpolación.

La antena GPS del receptor aerotransportado está situada sobre el centro de proyección de la cámara fotogramétrica, con unos pequeños desplazamientos que vienen dados por el vector excentricidad de la antena (offset), determinados previamente mediante certificado de calibración, y que se tienen en cuenta en la aerotriangulación para calcular las coordenadas del centro de proyección de cada fotografía.

Una vez finalizada la misión fotográfica, “rescatamos” los ficheros de registro de observaciones GPS del receptor aerotransportado y del receptor fijo de la estación de referencia.

Estos ficheros, nos permiten realizar el cálculo de cada una de las líneas base entre el receptor fijo y el móvil que describe la trayectoria del avión en la misión fotográfica. La distancia máxima entre ambos receptores no superará los 100km.

A partir de las coordenadas de la trayectoria y del registro del instante de toma fotográfica en cada momento de exposición, procedemos a interpolar las coordenadas de los centros de proyección en cada momento de disparo, obteniendo unas coordenadas geocéntricas del centro de fase de la antena del receptor móvil en el sistema ETRS-89, en el instante en que se ha tomado cada imagen.

La precisión en las coordenadas XYZ de los centros de proyección es 0,05 de EMC: precisión relativa dentro de cada perfil GPS.

3.1.2.2.- DOCUMENTACIÓN ENTREGADA

- **Memoria del vuelo:** avión, cámara utilizada, altura media de cada pasada, verticalidad, derivas, recubrimientos e incidencias.
- **Plan de vuelo:** en formato digital propio de la cámara junto con su documentación explicativa. En él, figuran las coordenadas de los centros de proyección, altura de vuelo, rumbo, cota, solapes, etc...
- **Gráficos de vuelo:** se entregan a escala 1:50.000 y en ellos se representarán los fotogramas de cada pasada con su numeración correspondiente.
En los gráficos también figuran, las alturas de vuelo medias sobre el nivel del mar y sobre el terreno así como los datos de la cámara, escala, fecha y nombre de la entidad contratante del vuelo.
El formato es digital georreferenciado.
- **Ficheros GPS del vuelo:**
Ficheros RINEX de la estación base de referencia GPS y del receptor conectado a la cámara, con el registro de eventos correspondiente y ficheros resultantes del procesado.
 - Sincronizados los tiempos de observación, con intervalo máximo de 1 segundo
 - Se suministra el vector de excentricidad de la antena del receptor con respecto a la cámara.
- **Certificados de calibración de las cámaras y objetivos empleados**
- **Imágenes:** se entregan en disco duro externo organizadas las siguientes colecciones:
 - **Imágenes en color RGB a máxima resolución.**
El formato de todas ellas es TIFF de 8 bits sin compresión y van acompañadas de un fichero TFW de geo-referenciación aproximada en el sistema ETRF89 con ayuda de los datos GPS de vuelo de los centros de proyección.

3.2.- APOYO FOTOGRAMÉTRICO

En este apartado se realizan todas aquellas tareas encaminadas a la obtención de coordenadas de Puntos de Apoyo de Campo del vuelo fotogramétrico.

Establecemos una serie de fases interrelacionadas entre sí, que estarán divididas en tres apartados fundamentales:

- Objetivo
- Condición de los Puntos de Apoyo.
- Descripción de la metodología GPS.

OBJETIVO

A partir del Apoyo Fotogramétrico se establecen una serie de puntos, repartidos a lo largo de todas las pasadas objeto de levantamiento, debidamente identificados y pinchados en las fotografías, y con coordenadas en el mismo marco de referencia que la Red Geodésica Nacional, permitiéndonos así la aerotriangulación de cada uno de los bloques.

CONDICIÓN DE LOS PUNTOS DE APOYO

Al realizar dos pasadas transversales que “cosen” el bloque, éstas son las únicas que se han apoyado en campo, situando los puntos de apoyo en los extremos del bloque. Los puntos de apoyo están distribuidos de la siguiente manera:

- puntos dobles en el inicio y final de cada pasada
- un punto por cada 5 modelos.

Los puntos de apoyo levantados están en la zona estereoscópica común de todos los pares necesarios para la restitución.

Los puntos de apoyo pinchados en los fotogramas responden a criterios de identificación inequívoca y puntual, no son puntos que puedan dar origen a interpretaciones objetivas (ejemplos de estos últimos son: centro de mata, centro de piedra, nivel de agua, límite de cultivo, etc.).

Los vértices que, estando dentro del vuelo, son visibles en los fotogramas, o sea posible desde ellos la radiación cercana (destacados) de elementos identificables, se han incorporado como Puntos de Apoyo Complementarios (PAC).

Cálculo

Los puntos de apoyo se calculan mediante un programa que pone de manifiesto las desorientaciones, el error medio de sus coordenadas, y su conjunto será homogéneo con la red de triangulación. Se utilizará, generalmente, las mismas correcciones y cuidados que se han usado en la fase de triangulación.

Precisiones

Planimetría: EMC $\leq 0,05$ metros en X e Y independientemente.
Altimetría: EMC $\leq 0,10$ metros.

DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA GPS

Se estaciona siempre un receptor fijo en la Red Básica observada (en un vértice REGENTE), pero con la variante de elegir siempre el vértice que más se aproxime a la zona objeto del trabajo. Con ello conseguimos distancias cortas para la medición.

Esto es algo imprescindible, ya que los tiempos de medición y la precisión dependen principalmente de la longitud de la línea base a medir. Además es un hecho constatado, que en términos de productividad y precisión, es preferible medir líneas base cortas (por ejemplo 5 Km) con diferentes estaciones o vértices de referencia, en vez de medir líneas base largas (por ejemplo 20 Km) desde un solo vértice.

Como norma general, no se supera nunca una distancia de 20 kilómetros entre el vértice de referencia y el punto de apoyo, garantizándose así las precisiones finales requeridas.

Una vez elegidos los vértices a utilizar de referencia, se observan los puntos de apoyo más cercanos. Para los demás puntos de apoyo, se eligen nuevos vértices de referencia eligiendo siempre los más próximos a ellos.

Utilizamos el método estático relativo, con correcciones diferenciales vía GSM.

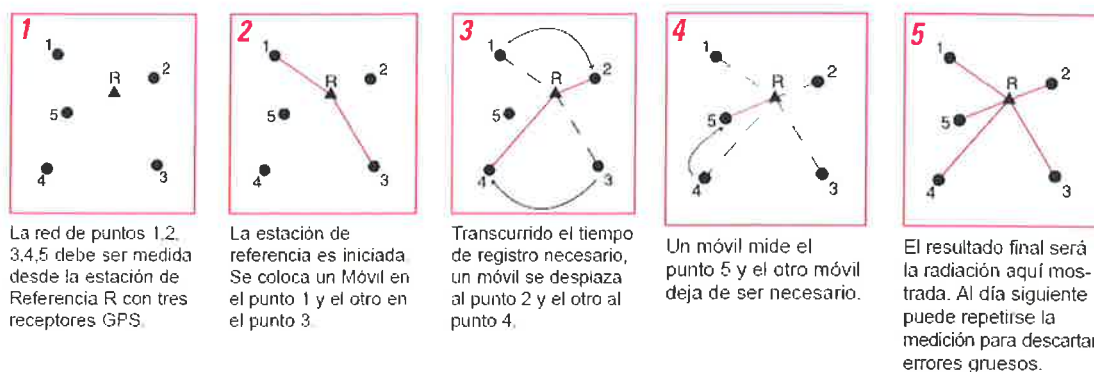


Figura 5. Método estático relativo con correcciones diferenciales vía GSM”

Ejemplo de observación GPS por el método estático relativo

El software de cálculo SKI-PRO, realiza el ajuste en coordenadas geográficas sobre la superficie del elipsoide de referencia, eliminando así el cambio de husos y las deformaciones de la proyección U.T.M. La técnica de estimación estadística utilizada es la de mínimos cuadrados, junto al modelo de ajuste por variación de coordenadas.

3.3.- AEROTRIANGULACIÓN DIGITAL/ORIENTACIÓN DE MODELOS

El objetivo de la aerotriangulación es obtener los parámetros de orientación externa de un conjunto de imágenes aéreas.

El fundamento matemático de la metodología de aerotriangulación que se expone a continuación, se basa en el método de haces y la aplicación de la condición de colinealidad para cada fotograma como ecuación de observación en el modelo de ajuste mínimo cuadrático. Los observables son las fotocoordenadas de los puntos de paso y puntos de apoyo, observaciones GPS de los centros de proyección y coordenadas terreno de los puntos de apoyo.

Método de Haces:

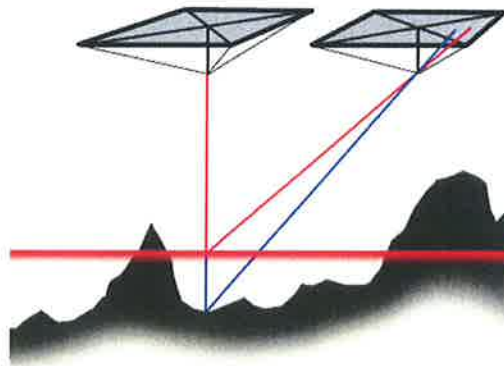


Figura 6. Método de Haces

Las coordenadas de los centros de proyección se obtienen por observaciones GPS cinemáticas y se calculan en postproceso, utilizando estaciones de referencia GPS en tierra cercanas a la zona de trabajo.

Estas coordenadas entran a formar parte del modelo de ecuaciones de observaciones introduciendo para cada pasada unos parámetros de traslación y deriva lineal, que permiten eliminar errores sistemáticos absolutos y aprovechar la alta precisión relativa de la posición de los centros.

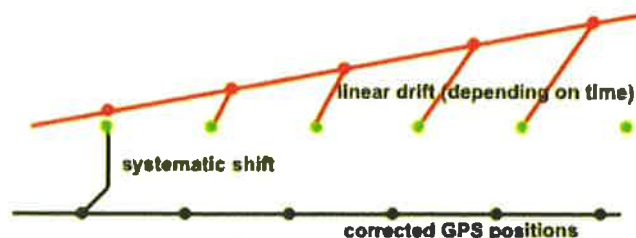


Figura 7. Corrección de las líneas de vuelo de traslación y deriva lineal

La medida de los puntos de paso y su transferencia entre fotogramas con recubrimiento común, se realiza de forma automática siguiendo algoritmos de correlación digital.



Figura 8. Correlaciones mínimo cuadrática y de entidades.

El programa informático de observación y ajuste de aerotriangulación digital, que utilizamos es el Match-AT

3.3.1.- DATOS DE ENTRADA

Antes de comenzar el proceso de aerotriangulación, realizamos una serie de comprobaciones del material y datos necesarios para que posteriormente se pueda abordar el proyecto en su conjunto sin discontinuidades e interrupciones.

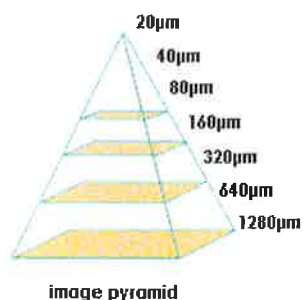
Los elementos que se verifican son los siguientes:

- Imágenes
- Observaciones GPS
- Observaciones INS (si están disponibles)
- Apoyo de campo
- Coordenadas puntos apoyo
- Coordenadas puntos control
- Croquis
- Fotogramas pinchados
- Gráfico de vuelo
- Gráfico del área de trabajo. Distribución de hojas del trabajo y perímetro del mismo.
- Certificado de calibración de la cámara.

3.3.2.- GENERACIÓN DE LAS IMÁGENES PIRAMIDALES

La metodología de trabajo requiere generar previamente una pirámide de imágenes de menor resolución de cada uno de los fotogramas del proyecto. Esa operación consiste en guardar para cada imagen un conjunto de imágenes de menor resolución obtenidas a partir de la primera.

n = number of points per tiepoint area



1280 µm = FBM $n \times 7$ tiepoints

640 µm = FBM $n \times 7$ tiepoints

320 µm = refine points from 640 µm with LSM

160 µm = create new tiepoint areas from all tiepoints

80 µm = FBM n tiepoints

40 µm = FBM n tiepoints

20 µm = refine points from 40 µm with LSM

Figura 9. Esquema de la generación de imágenes piramidales.

En cualquier fase donde intervenga la correlación automática digital (orientaciones internas automáticas, transferencia de puntos de paso...) se utilizan las imágenes piramidales permitiendo una identificación progresiva de las entidades homólogas en varias imágenes partiendo de las versiones de menor resolución hasta llegar a las de máxima resolución donde se realiza la medida de las fotocoordenadas.

Este proceso, dependiendo del número de imágenes, puede durar algunas horas, por ello es necesario ejecutarlo en primer lugar.

3.3.3.- DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE AEROTRIANGULACIÓN

Introducimos en el programa los datos necesarios:

- Importar imágenes
- Importar datos GPS/INS
- Definir la cámara
- Importar puntos de apoyo y control
- Definir pasadas
- Definir sub-bloques

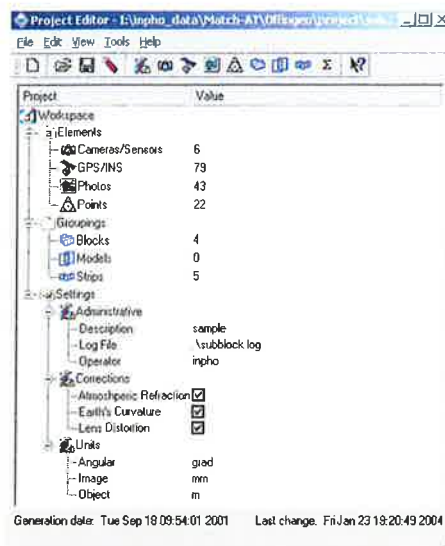


Figura 10. Editor del proyecto

3.3.4.- ORIENTACIONES INTERNAS

En este caso, al haber utilizado cámara digital con sistema GPS/INS, entre el material recibido se encuentra el fichero con las coordenadas precisas de los centros de proyección, así como de los tres giros, Omega, Phi y Kappa, de cada una de las fotografías. Además, hay que tener en cuenta que, en una cámara digital, tanto la focal como la placa de la cámara son fijas, por lo que la orientación interna únicamente será función de las distorsiones de ésta. Por estos motivos, para el cálculo de la aerotriangulación digital, no es necesario realizar la orientación interna clásica midiendo cada una de las marcas fiduciales con el ahorro de tiempo que esto supone.

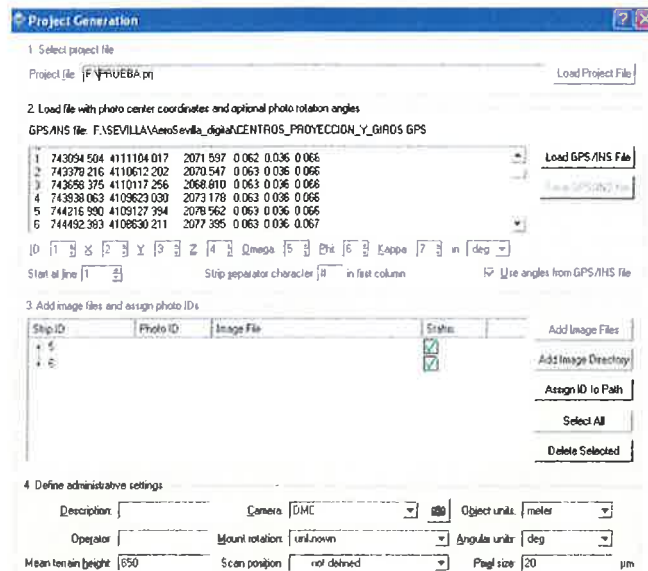


Figura 11. Editor del de orientaciones internas.

3.3.5.- VISUALIZACIÓN DEL BLOQUE Y VERIFICACIÓN DE SOLAPES

Mediante esta comprobación, garantizamos que la definición del bloque es correcta. Para ello se visualiza el bloque analizando los solapes longitudinales y transversales de los fotogramas.

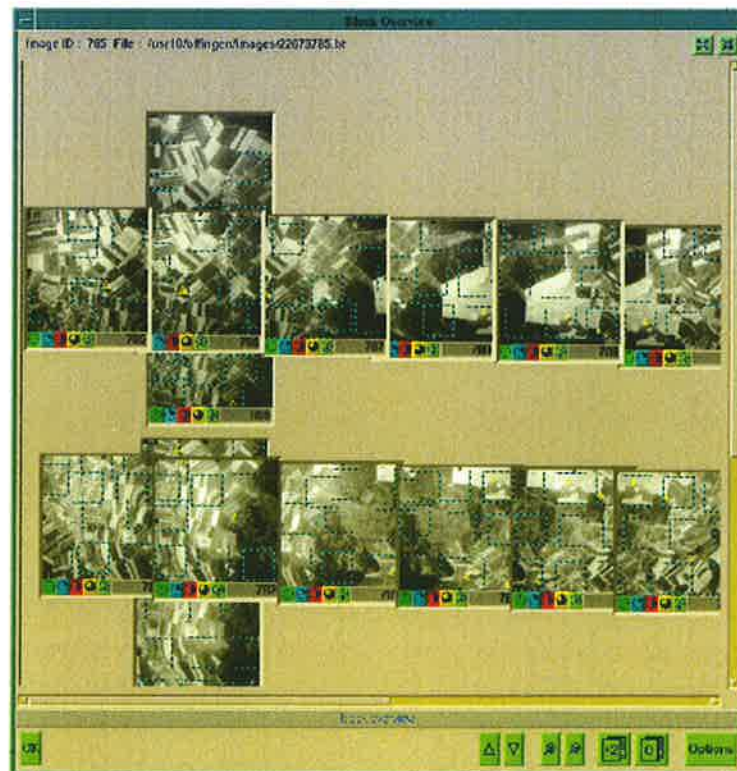


Figura 12. Vista global de bloque de aerotriangulación

En el caso de observar alguna anomalía, ésta puede ser debida a:

- Definición incorrecta de los fotogramas que forman la pasada.
- Definición incorrecta del sentido de la pasada.
- Datos erróneos en la asignación de las coordenadas de los centros de proyección.
- Asignación incorrecta del ángulo kappa de cada fotograma.
- Orientación interna incorrecta. La orientación del sistema fiducial está mal definida; en nuestro caso, ésta no se da debido a que no hemos medido marcas fiduciales.

3.3.6.- MEDIDA MONOSCÓPICA DE APOYO MÍNIMO

El proceso de extracción automática de puntos de paso se podría ejecutar sin realizar las medidas de los puntos de apoyo, debido a que se conocen las coordenadas de los centros de proyección con precisión y este hecho hace que se pueda formar el bloque fotogramétrico, aunque inicialmente no se encuentre en coordenadas absolutas.

Aún así, se miden inicialmente 4 puntos de apoyo en los extremos del bloque de manera que el datum absoluto del proyecto quede definido por la información que aportan las coordenadas de dichos puntos y se pueda determinar a su vez los parámetros de traslación y deriva de las líneas de vuelo definidas por los centros GPS.

3.3.7.- EXTRACCIÓN AUTOMÁTICA DE PUNTOS DE PASO

Los pasos previos a la ejecución de la correlación automática son:

- Definición a priori de desviaciones estándar (apoyo, GPS, INS, fotocoordenadas).
- Definición de estrategia de correlación.
- Definición de la utilización de datos GPS/INS (cálculo absoluto o con correcciones de deriva).
- Ejecutar el proceso de inicialización y visualizar previamente las áreas donde se van a medir automáticamente los puntos de paso.

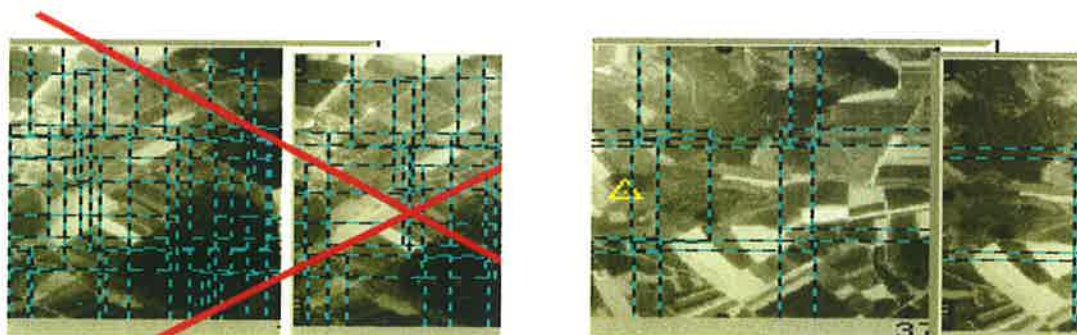
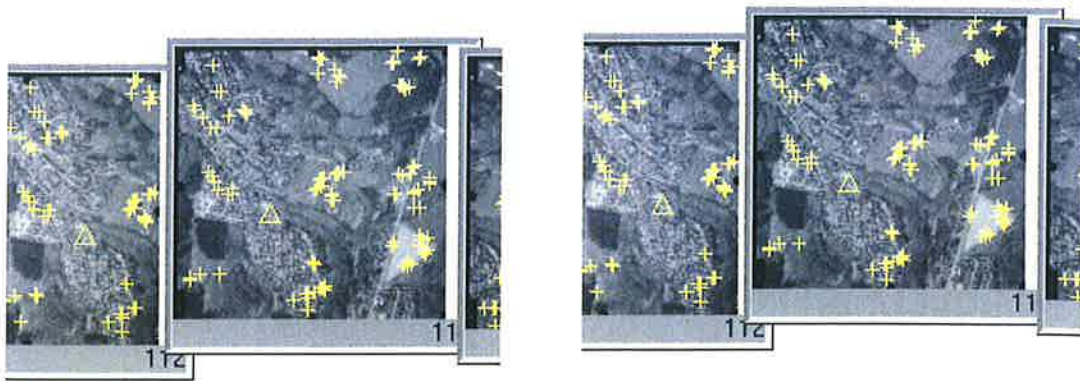


Figura 13. Extracción automática de puntos de paso.

En zonas donde el terreno es montañoso, se puede utilizar un modelo digital de elevaciones disponible o se puede generar un modelo aproximado a partir de la información de los puntos de apoyo. Con ello se mejorará el proceso de inicialización de las zonas de los puntos de paso.

- Ejecutar la correlación.

- Análisis de resultados de la correlación de puntos de paso
- Visualización del bloque de correlación con las imágenes.



- Analizar avisos de déficit de puntos de paso en zonas Von-Gruber de imágenes.
- Analizar la densidad de puntos de paso por imagen y su conectividad con otras.

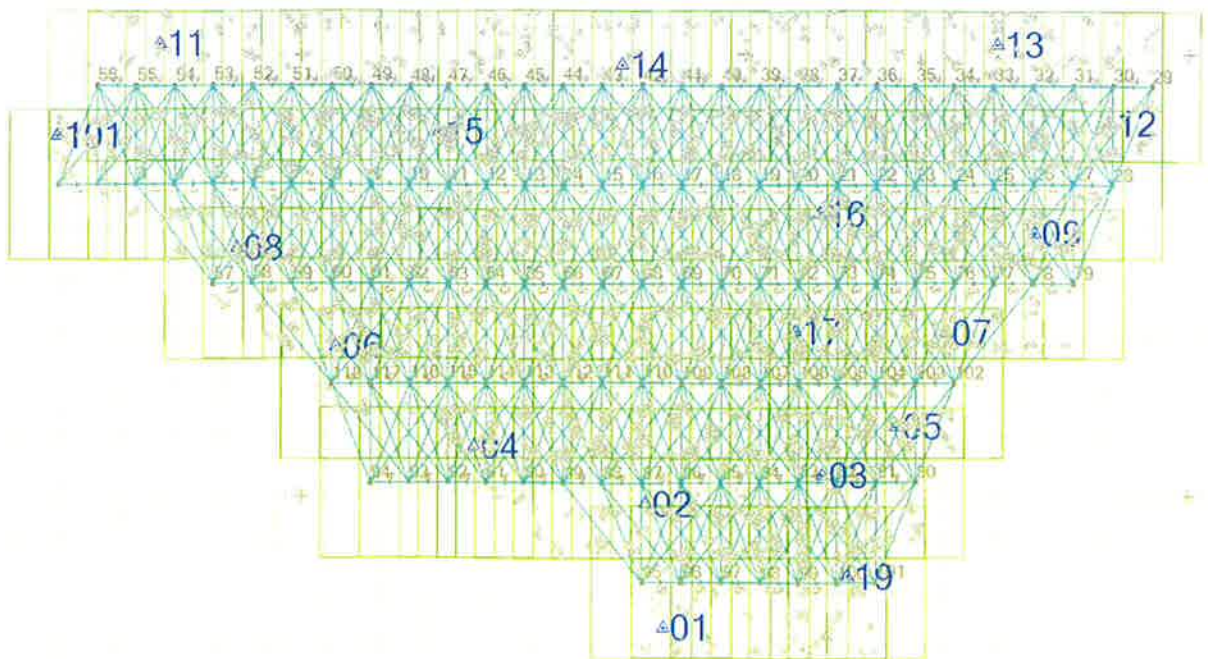


Figura 13. Conectividad bloques adyacentes en “El Pla de Sant Jordi”

- Si hay déficit: medir puntos manualmente y/o lanzar correlación en sub-bloque afectado.

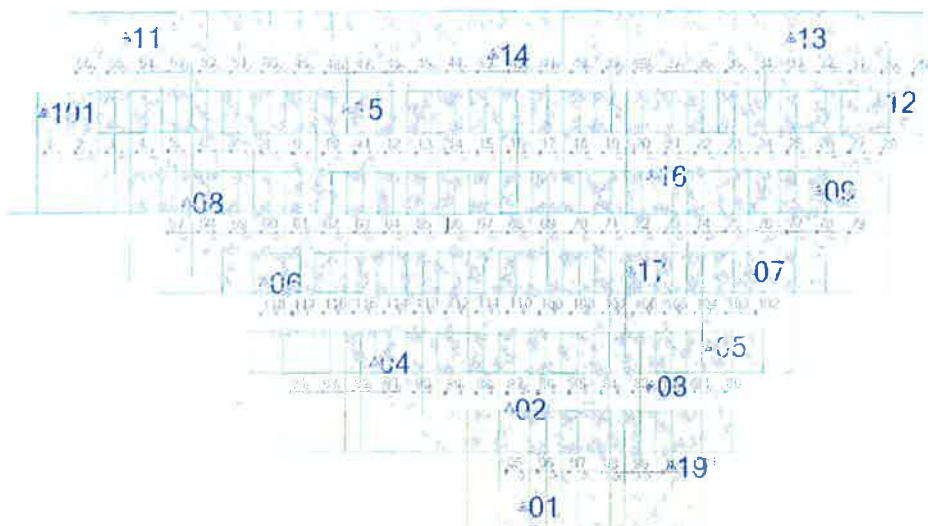


Figura 15. Informe AT_ Puntos de Paso para El Pla de Sant Jordi

3.3.8.- MEDIDA MANUAL DE PUNTOS DE APOYO Y DE CONTROL

Monoscópicamente:

Aquellos puntos de apoyo que se hayan tomado en detalles situados en zonas llanas y despejadas con cota terreno, se pueden medir con fiabilidad en múltiples imágenes de forma monoscópica ayudándose de herramientas de correlación automática interactiva para evitar paralajes residuales.

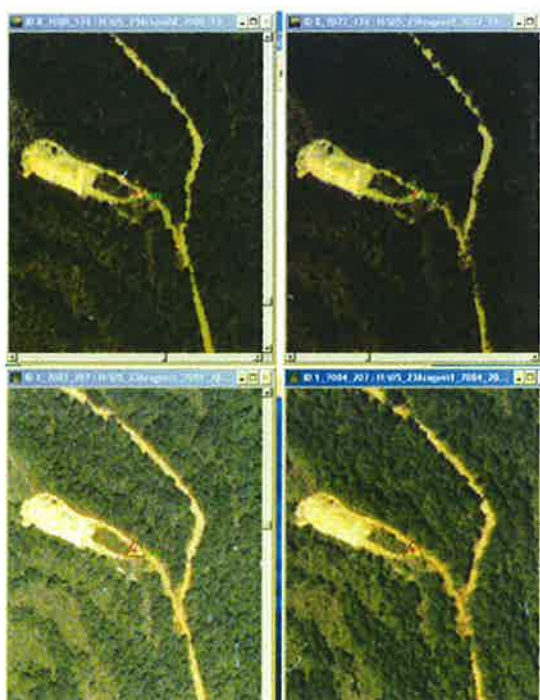


Figura 16. Correlación automática interactiva

Estereoscópicamente:

Para conseguir una mejor fiabilidad en la identificación de aquellos puntos definidos en esquinas de elementos con cota abajo.

Los puntos de control se miden igual que los puntos de apoyo, pero sus coordenadas terreno no se utilizan en el ajuste mínimo cuadrático, de manera que por el cálculo obtenemos unas coordenadas de los mismos, las cuales son comparadas con sus coordenadas conocidas por observación en campo, obteniendo así una estimación de la precisión absoluta del bloque fotogramétrico.

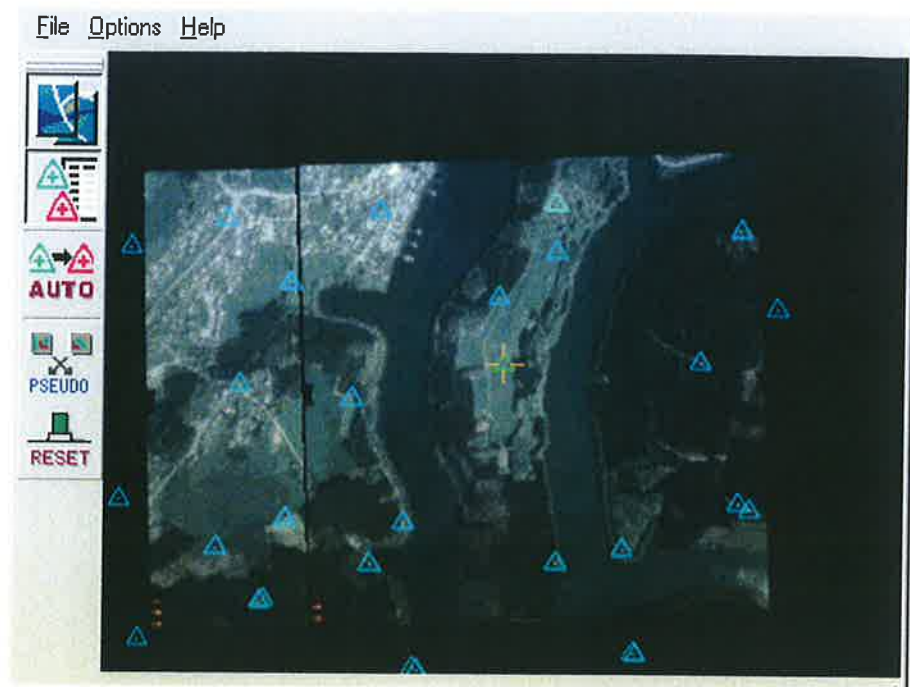


Figura 17. Imagen de puntos de control sin el ajuste mínimo cuadrático

- Postproceso y cálculo de ajuste mm.cc de la aerotriangulación
- Cálculo con detección de errores groseros
- Análisis de la precisión interna del bloque ($\sigma_{naught} \leq 1/3$ tamaño de pixel)

total of 33111 measurements in 118 photos are used for adjustment

sigma naught 1.0 micron (22:34:52)

sigma naught 0.8 micron (22:34:53)

Precisión interna del bloque para "El Pla de Sant Jordi"

3.3.9.- ANÁLISIS PUNTOS DE APOYO RECHAZADOS (PLANIMETRÍA Y ALTIMETRÍA) → ORIENTACIÓN EXTERNA

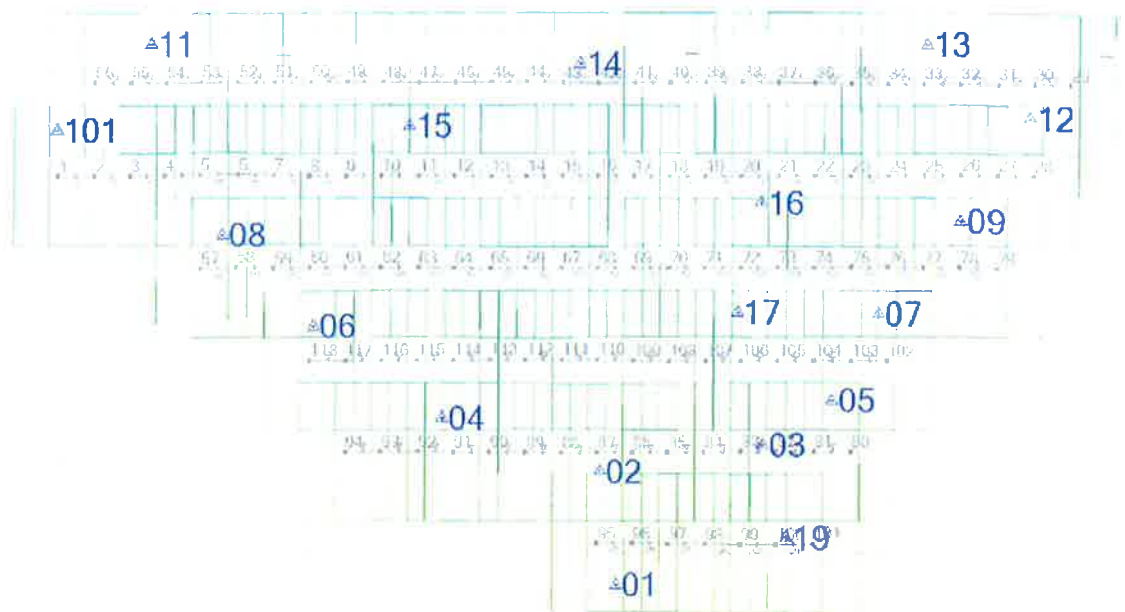


Figura 17 AT_Puntos de Apoyo “El Pla de Sant Jordi”

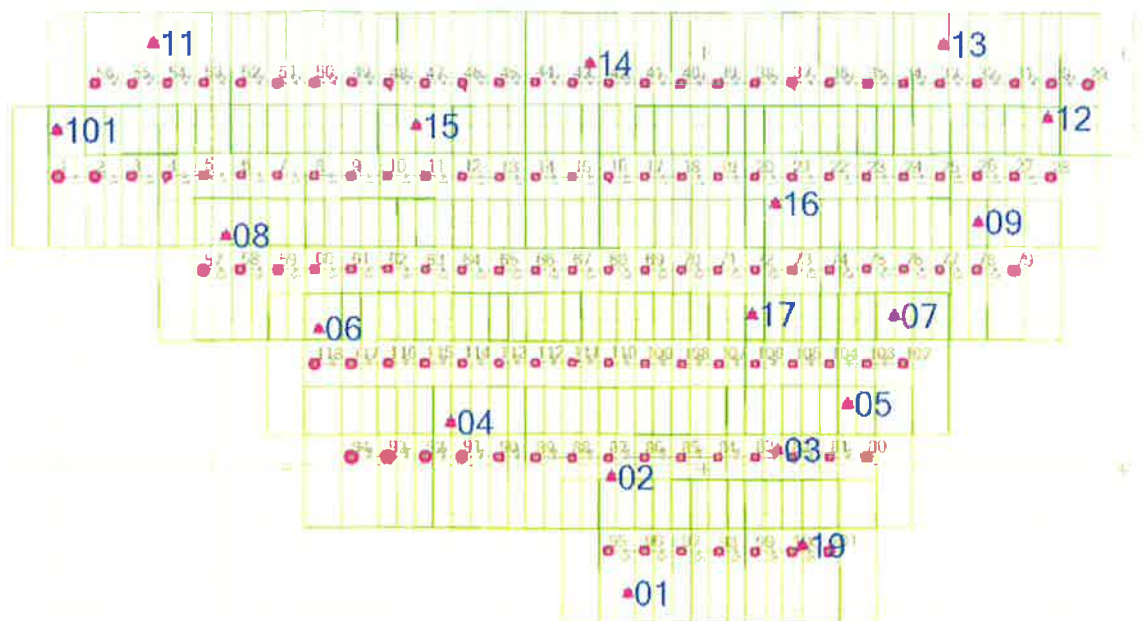


Figura 18 AT_Elipses de Error “El Pla de Sant Jordi”

- Análisis de residuos de observaciones GPS/INS.

residuals GPS observations in [meter]

photo ID	rx	ry	rz
GPS drift parameter for profile 1			
constant part in [meter]	X	-0.012	Y -0.002 Z -0.266
linear part in [meter]	X	-0.000	Y 0.000 Z 0.000
1	-0.010	-0.031	0.040
2	-0.021	-0.032	0.040
3	0.003	0.013	0.020
56	0.011	-0.027	-0.030
4	-0.004	0.003	0.015
55	-0.003	0.017	-0.023.....

Residuos observaciones GPS para "El Pla de Sant Jordi"

- Remedir puntos de apoyo rechazados
- Modificar desviaciones estándar a priori de las observaciones acorde con los resultados a posteriori.
- Análisis de residuos de los puntos de control.

RMS GPS observations

x	0.045 [meter]
y	0.022 [meter]
z	0.021 [meter]

Residuos puntos de control para "El Pla de Sant Jordi"

- Ajuste final sin detección automática de errores.
- Generación de documentación de salida
- Orientaciones externas en formato estándar

**exterior orientation parameters (px, py, pz in [meter] omega,phi,kappa in [grd])
rotations from terrain to photo (rotated axes)**

photo ID	px	py	pz	omega	phi	kappa
1	472233.820	4378520.695	1197.334	-0.0672	-0.1961	0.1283
10	476199.604	4378530.480	1203.670	0.1513	-0.1389	0.2418
100	481050.298	4374012.820	1202.525	0.0331	-0.2014	0.2734
101	481490.790	4374017.519	1201.982	0.2309	-0.1629	0.3733
102	482376.120	4376272.307	1200.344	-0.0086	0.2960	-
199.9112						
103	481939.905	4376270.968	1196.063	-0.0900	0.1566	-
199.7711.....						

Orientaciones externas para "El Pla de Sant Jordi"

- Gráfico de Solape para "El Pla de Sant Jordi".

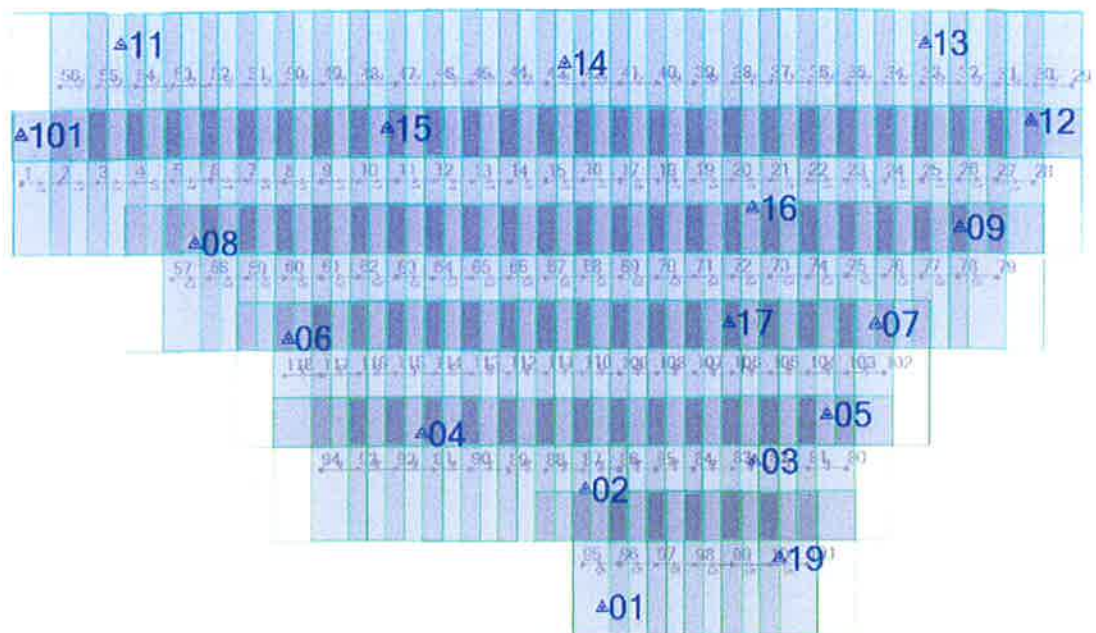


Figura 19. Gráfico de Solape para “El Pla de Sant Jordi

3.3.10.- ESTADÍSTICAS DEL PROCESO DE AEROTRIANGULACIÓN

mean standard deviations of rotations

omega 0.3 [grd/1000]
phi 0.3 [grd/1000]
kappa 0.1 [grd/1000]

max standard deviations of rotations

omega 0.6 [grd/1000] at photo 94
phi 0.6 [grd/1000] at photo 94
kappa 0.7 [grd/1000] at photo 94

mean standard deviations of translations

x 0.007 [meter]
y 0.006 [meter]
z 0.002 [meter]

max standard deviations of translations

x 0.014 [meter] at photo 94
y 0.013 [meter] at photo 94
z 0.012 [meter] at photo 94

Errores máximos y mínimos de las orientaciones externas para “El Pla de Sant Jordi”

3.3.11.- EXPORTAR RESULTADOS

Los resultados de la aerotriangulación, se exportan en ficheros con formato PAT-B para su correcta lectura en los equipos de restitución.

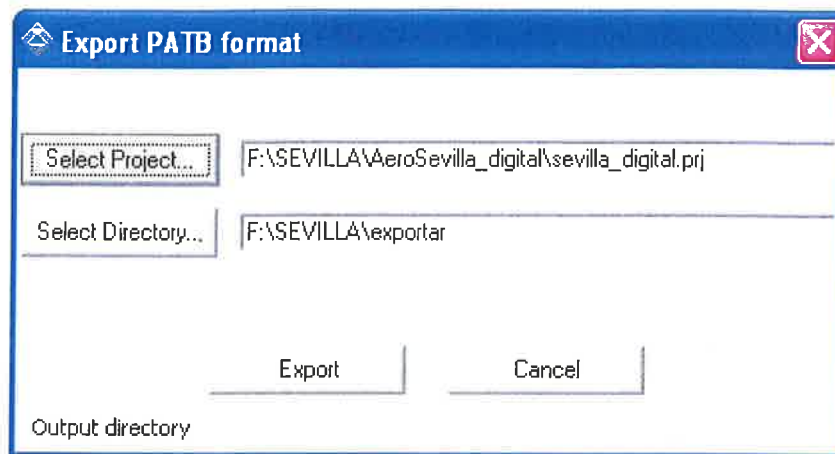


Figura 20. Ficheros tipo del formato EXPORT.

Match-AT genera 4 ficheros en la exportación:

- Adj.pat: contiene las coordenadas ajustadas de los puntos de control, los puntos de chequeo y los puntos de enlace.
- Cont.pat: contiene los datos de los puntos de control.
- Image.pat: contiene las coordenadas imagen de los puntos medidos.
- Ori.pat: contiene los datos de las orientaciones.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
pat adj.pat	04/05/2014 22:49	AutoCAD Hatch Plot	267 KB
bingc4_geoin.dat	04/05/2014 22:50	Archivo DAT	4 KB
bingc4_itera.dat	04/05/2014 22:50	Archivo DAT	596 KB
bingc5_geoin.dat	04/05/2014 22:50	Archivo DAT	4 KB
bingc5_itera.dat	04/05/2014 22:50	Archivo DAT	654 KB
pat cont.pat	04/05/2014 22:49	AutoCAD Hatch Plot	2 KB
image.dat	04/05/2014 22:50	Archivo DAT	350 KB
pat image.pat	04/05/2014 22:49	AutoCAD Hatch Plot	1,189 KB
pat ori.pat	04/05/2014 22:49	AutoCAD Hatch Plot	27 KB

Figura 21. Generación de ficheros de exportación.

3.4.- RESTITUCIÓN DIGITAL 1:1.000

3.4.1.- EQUIPOS DE RESTITUCIÓN

Para la fase de restitución fotogramétrica de la zona de afección se han empleado restituidores digitales DPS DELTA con precisión en posado de tres micras.

El software utilizado para la restitución digital es DIGI3D combinado con DPS Delta con las siguientes aplicaciones:

Restitución fotogramétrica digita

- o Sobreimpresión de vectores sobre imágenes raster.
- o Codificación, estructuración datos.
- o Generador de símbolos.
- o Actualización cartográfica ficheros 3D.
- o Fotointerpretación y análisis de imágenes en 3 dimensiones.

Software fotogramétrico

- Orientación interna.
- Orientación relativa (correlación de imágenes).
- Orientación absoluta.

Software de captura de datos

- Codificación de datos-tabla códigos.
- Asignación de niveles de información.
- Asignación de símbolos-tabla símbolo.
- Generador de símbolos.
- Activación y desactivación de niveles de información.
- Traductor a DXF.
- Traductor a DGN.

Software de visualización de imágenes

Software de exportación imágenes a formatos TIF

Salida de datos interactiva para los sistemas gráficos KORK y DIGI

Software para creación de ortoimágenes a partir de un fichero ASCII de puntos

3.4.2.- AJUSTE DE MODELOS

ORIENTACIÓN EXTERNA

Una vez reconstruido el haz perspectivo de cada imagen, realizamos la orientación externa de los pares estereoscópicos, importando los parámetros resultantes de la aerotriangulación digital realizada en la fase anterior de los trabajos.

Con la orientación interna lo que se consigue es realizar el proceso inverso de la perspectiva, es decir obtener las coordenadas terreno de los puntos medidos en los fotogramas que componen el par estereoscópico.

Con la orientación externa conseguimos en un solo paso la correcta posición relativa entre las perspectivas de fotogramas consecutivos (orientación relativa) y que a su vez, mediante la aplicación de las formulaciones de colinealidad y coplanariedad, la intersección de rayos homólogos se produzca en el punto a restituir con coordenadas terreno.

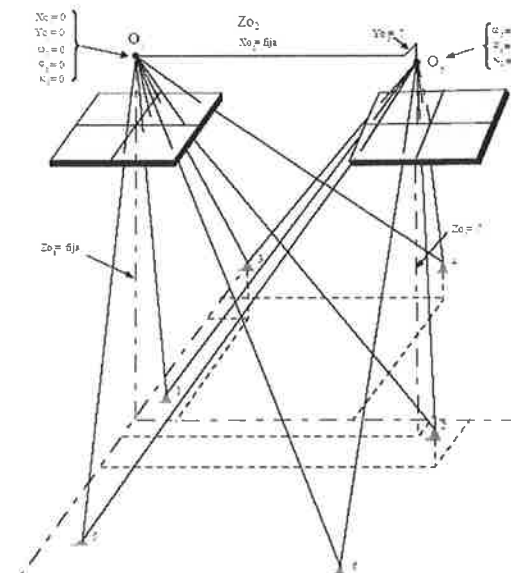


Figura 22. Ajuste de modelos.

La orientación de los pares estereoscópicos se realiza mediante Digi3D, definiendo un proyecto e importando las orientaciones externas.

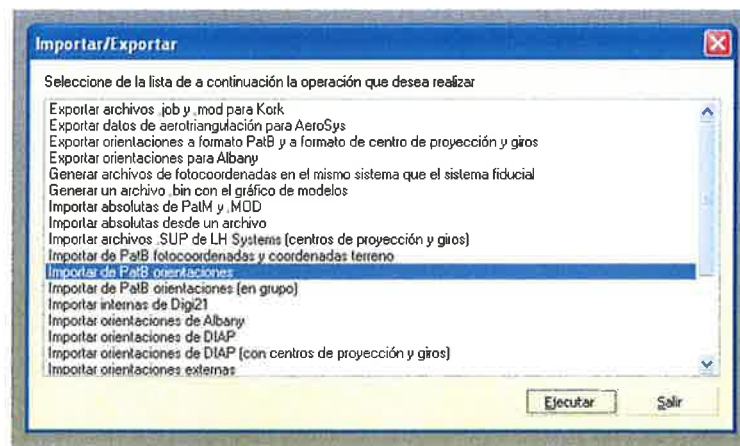


Figura 23. Definición de un proyecto importando las orientaciones externas.

3.4.3.- CRITERIOS PARA LA RESTITUCIÓN FOTOGRAMÉTRICA

La restitución es numérica y su codificación es la establecida por la dirección técnica del proyecto.

La restitución se ha realizado por capas, utilizando los códigos necesarios para poder obtener por separado los distintos elementos a representar para la escala de trabajo.

La captura de datos planimétricos, se efectúa punto a punto de forma que los elementos digitalizados se registren con la máxima precisión posible. En las líneas poligonales el operador se posiciona en cada uno de los puntos de inflexión de la misma y en ese momento se registran sus coordenadas, asignando el código numérico correspondiente al elemento a que pertenezca. Para las líneas curvas, el registro se efectúa punto a punto o automáticamente mediante el modelo de análisis direccional asegurando que la máxima desviación para cada par de puntos grabados, entre el arco y la cuerda es de 20 cm.

El sistema de restitución asegura:

- o La continuidad numérica de todas las líneas o entidades que pertenecen a dos o más pares estereoscópicos colindantes.
- o El cierre analítico de las figuras cerradas.
- o El perfecto arranque de las líneas que se apoyan en otras ya existentes.
- o Un punto del que arranquen varias líneas, si dicho punto pertenece a varios objetos, siempre tendrá idénticas coordenadas.
- o Obtener figuras geométricas sencillas “on line“ (rectángulos, cuadrados, etc.), pero siempre con un método en que la validación definitiva la dé el operador.

La **información planimétrica** restituida, refleja todos los detalles identificables en su exacta posición y verdadera forma, con dimensión mínima de 1 mm a la escala del plano, otros elementos de interés con dimensión menor a 1mm, en el plano se representan mediante símbolos.

En la planimetría se representan las alineaciones exteriores e interiores, patios interiores, linderos que afecten a las delimitaciones de manzanas, parcelas y subparcelas, líneas de aceras, zonas verdes, zonas deportivas, líneas eléctricas y telefónicas, mobiliario urbano, pozos de registro con su identificación, y todos aquellos detalles identificables a partir del vuelo, en su exacta posición y verdadera forma (a escala).

La **información altimétrica** queda representada gráficamente mediante curvas de nivel con equidistancia de 1 m, y curvas maestras cada 5 m, para la escala 1:1.000, asignando cota a todos los puntos singulares. Para garantizar la representación fiel de la altimetría se incluyen puntos de cota de los vértices geodésicos, señales de nivelación, vértices topográficos, puntos de apoyo, estaciones de F.F.C.C., pasos a diferente nivel (arriba y abajo), plazas, cruces de calles, cambios de pendientes de calles, caminos y carreteras, y en las tapas de registro y cualquier otro detalle significativo del terreno que sea necesario reflejar.

Todos los elementos planimétricos están definidos en tres dimensiones, de tal manera que su geometría se ajuste tanto planimétrica como altimétricamente a la realidad. Una vez restituida la cartografía, se somete a unos controles de calidad, con el fin de detectar cualquier error existente.

El producto elaborado en esta fase posee un alto grado de depuración y está estructurado en ficheros independientes por par estereoscópico, que posteriormente se enlazan a nivel lógico, (a nivel físico se ha garantizado la continuidad en el proceso de restitución), generando ficheros por zonas.

Las coordenadas U.T.M. de todos los puntos se obtienen directamente del modelo estereoscópico durante el proceso de restitución.

Tanto la captura de datos como la edición de los mismos se realizarán por medio del software DIGI 3D.

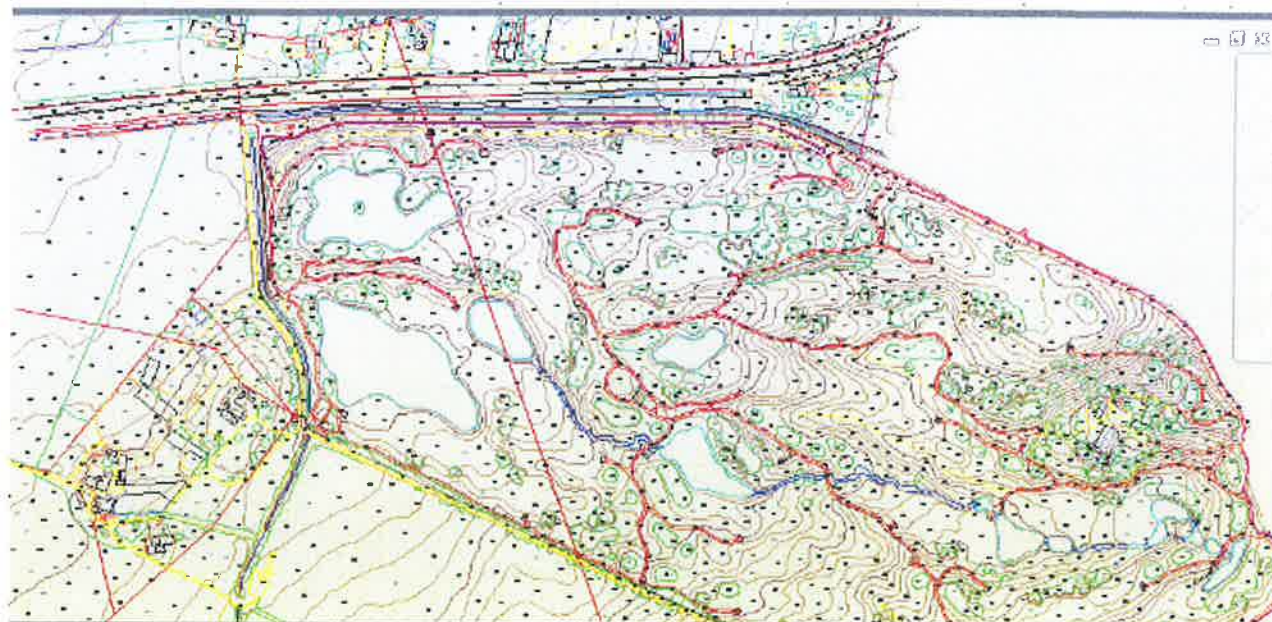


Figura 24. Ejemplo de una zona de "El Pla de Sant Jordi"

➤ PRECISIONES

- **EMC:** menor o igual a 0,2 metros en cada coordenada X,Y,Z y 0,25 metros en coordenada Z.

3.5.- GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES: MDT Y MDE

3.5.1.- ELEMENTOS QUE DEFINEN LA ALTIMETRÍA

Los elementos que definen con precisión la altimetría en cartografía serán aquellos cuya coordenada Z sea fiel al terreno, coherente con las curvas de nivel y cotas terreno.

Atendiendo al modelo de datos de producción y más en concreto al punto específico en el que se tratan las "Especificaciones de Valor de Z", los elementos que servirán de base de generación de los MDE serán aquellos catalogados como Elementos 3-DT.

Previo al empleo de este tipo de entidades para la generación del MDE, se pasará sobre las mismas un control de calidad altimétrico riguroso.

De cada grupo homogéneo de entidades geográficas, se catalogan aquellas que deban ser base para generación del MDE, extrayéndolas de forma selectiva y automática a ficheros DGN denominados Entidades_3dt.DGN, a partir de los cuales se procederá al paso de controles de calidad altimétricos y generación de la triangulación.

Listado de entidades 3-DT:

GRUPO: RELIEVE Y ALTIMETRÍA

- Curvas de nivel finas y directoras
- Curvas de depresión finas y directoras
- Puntos de cota terreno y complementarios MDT
- Líneas Hipsográficas – Taludes, Escarpados, Acantilados, Zanjás, etc.

GRUPO: HIDROGRAFIA

- Cauces Lineales y Superficiales ya sean permanentes o estacionales
- Láminas de agua: Pantanos, Embalses, Lagunas, Lagos, Charcas, etc.

GRUPO: CONSTRUCCIONES

- Obras de contención
- Bancales
- Túneles

GRUPO: VIAS DE COMUNICACIÓN

- Líneas propias de la definición de Carreteras, Ferrocarriles (Balasto), Pistas, Caminos, Sendas, Calles, etc...

La extracción de estas entidades se realiza a partir de la cartografía 1 / 1.000.

3.5.2.- CONTROL DE CALIDAD ENTIDADES 3-DT

• Control de digitalización de curvado

Este control de calidad garantiza la correcta representación del curvado teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Horizontalidad y cumplimiento de equidistancia
- Intersección entre curvas (Excepción – Curvas no vistas)

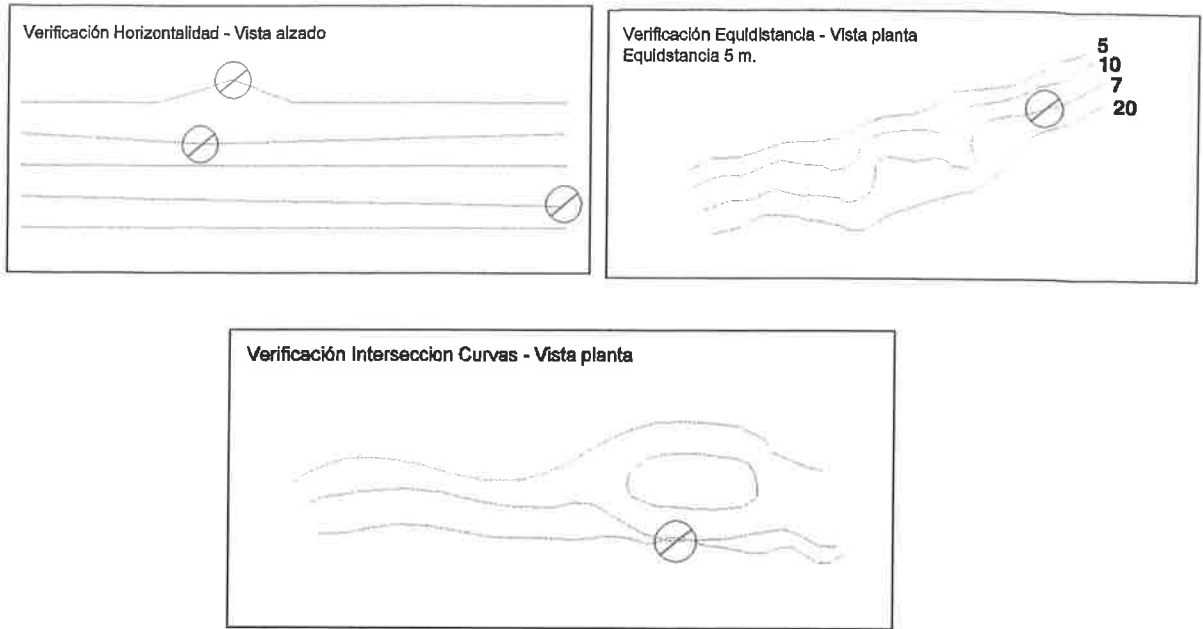


Figura 25. Control de digitalización del curvado.

- **Control de cotas altimétricas**

Comprueba la coherencia de puntos de cota terreno respecto al curvado.

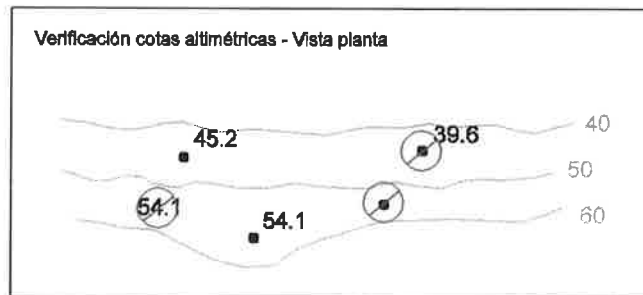


Figura 26. Control de cotas altimétricas.

- **Control altimétrico sobre MDT**

Enfrenta la totalidad de elementos contra la malla de triángulos definida en los Modelos Digitales Terreno, para determinar la coherencia altimétrica con el mismo, siendo la tolerancia derivada de la escala de trabajo.

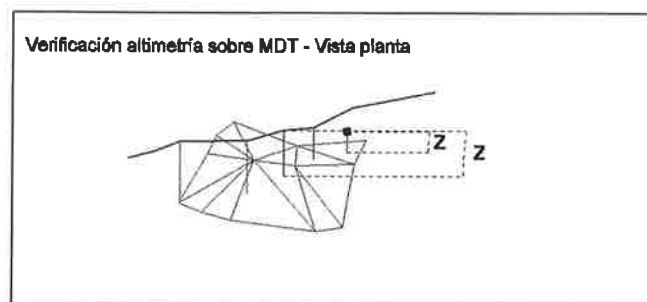


Figura 27. Control altimétrico sobre el MDT.

- **Control de cruce espacial de entidades**

Comprueba el rango de Z en los cruces espaciales de entidades lineales según tolerancia. Detecta igualmente si en el cruce espacial debería existir relación topológica (nodo) 2D o 3D, y en el caso de que exista, si el corte requerido es correcto.

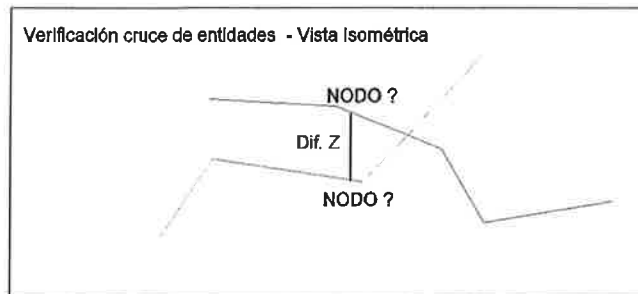


Figura 28. Control de cruce de entidades.

- **Control de detección de puntos dobles**

Detección de pares de vértices consecutivos con coordenadas X e Y exactas dentro de elementos de tipo lineales y superficiales.

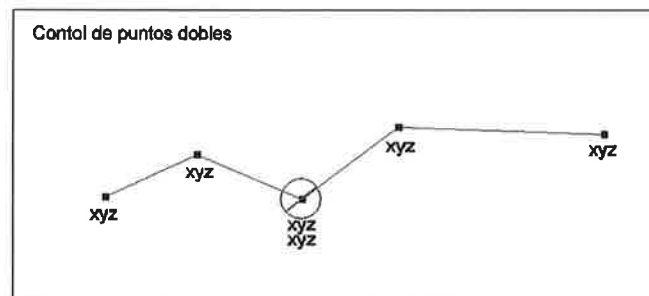


Figura 29. Control de detección de puntos dobles.

- **Control de detección de duplicados y solapados**

Comprueba duplicidades totales o parciales en geometrías puntuales, lineales, textuales y superficiales y tramos solapados en entidades lineales.

Tipo de duplicidades contempladas:

- Duplicado total – coincidencia total de coordenadas, simbología y enlace a base de datos.
- Duplicado parcial – coincidencia total de coordenadas pero no de simbología o atributos de base de datos.
- Solapados – coincidencia parcial de pares de coordenadas en entidades lineales.

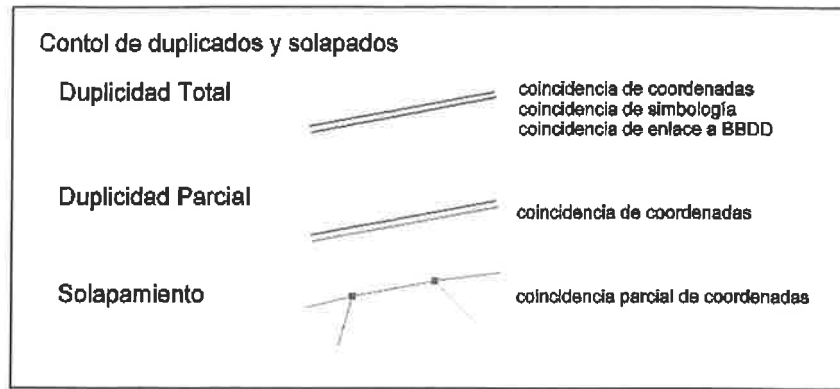


Figura 30. Control de detección de duplicados y solapados.

- **Control de detección de lazos**

Detección de intersección o cruce espacial de entidades lineales consigo mismas.

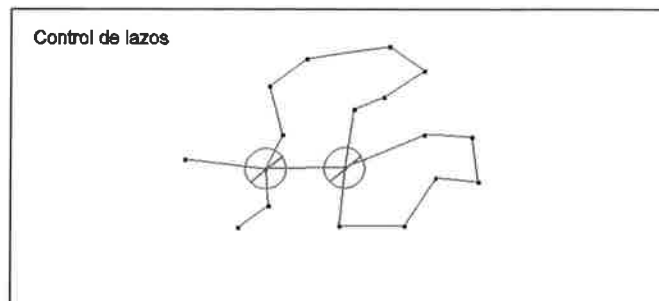


Figura 31. Control de detección de lazos.

- **Control de detección de zetas**

Detección de vértices situados dentro de elementos lineales que generan ángulos excesivamente agudos concatenados simulando una geometría similar a una Z.

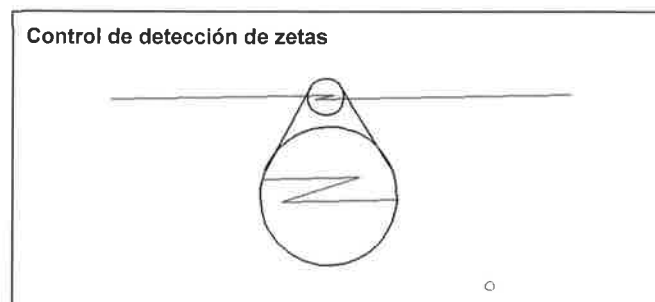
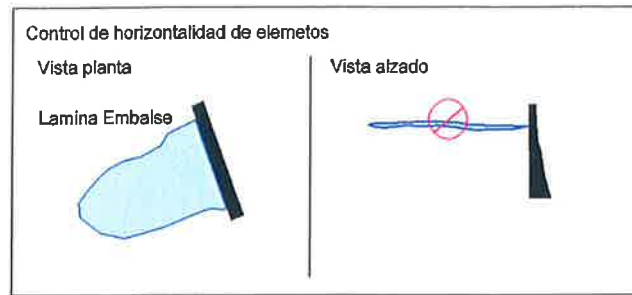


Figura 32. Control de detección de zetas.

- **Control de horizontalidad de entidades**

Detecta el cumplimiento de horizontalidad de elementos que lo requieran debido a su naturaleza, por ejemplo curvas de nivel o láminas de agua contenida de forma artificial o natural.



Se realiza un chequeo posterior a la generación de los MDE consistente en:

- ✓ **Chequeo visual** en pantalla, empleando las diferentes vistas del gestor de Microstation para ver el modelado del terreno generado.
- ✓ **Chequeo analítico** vía Mdl que recorrerá secuencialmente la totalidad de vértices de los elementos 3dt y los contrastará con la coincidencia de algún vértice de la malla irregular de triángulos generados.

Figura 33. Ejemplos de MDS.

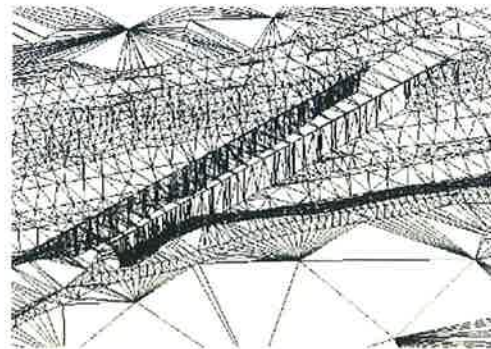
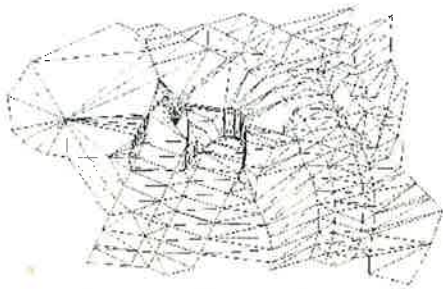


Figura 34. Ejemplos de MDE.



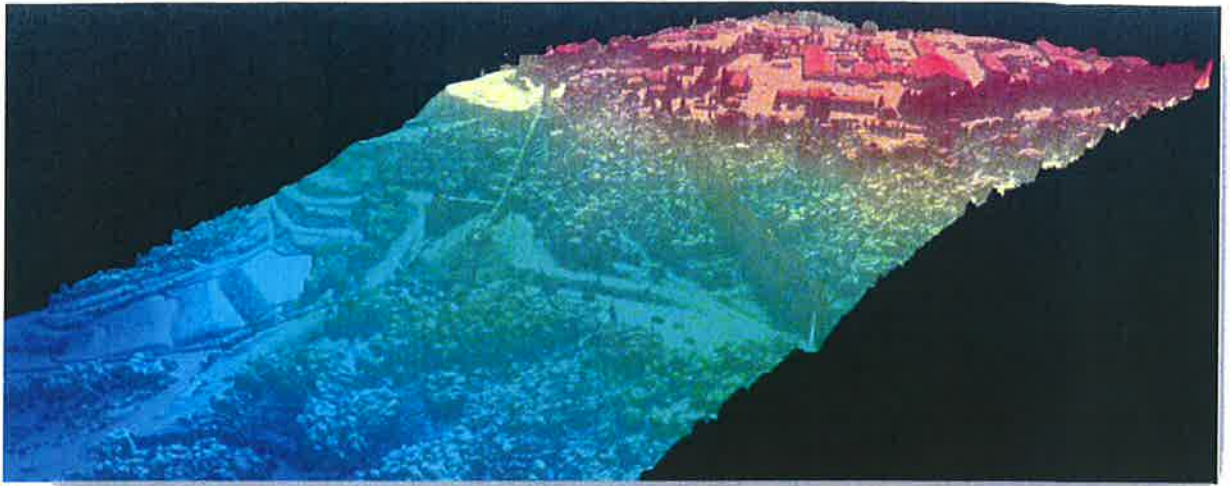
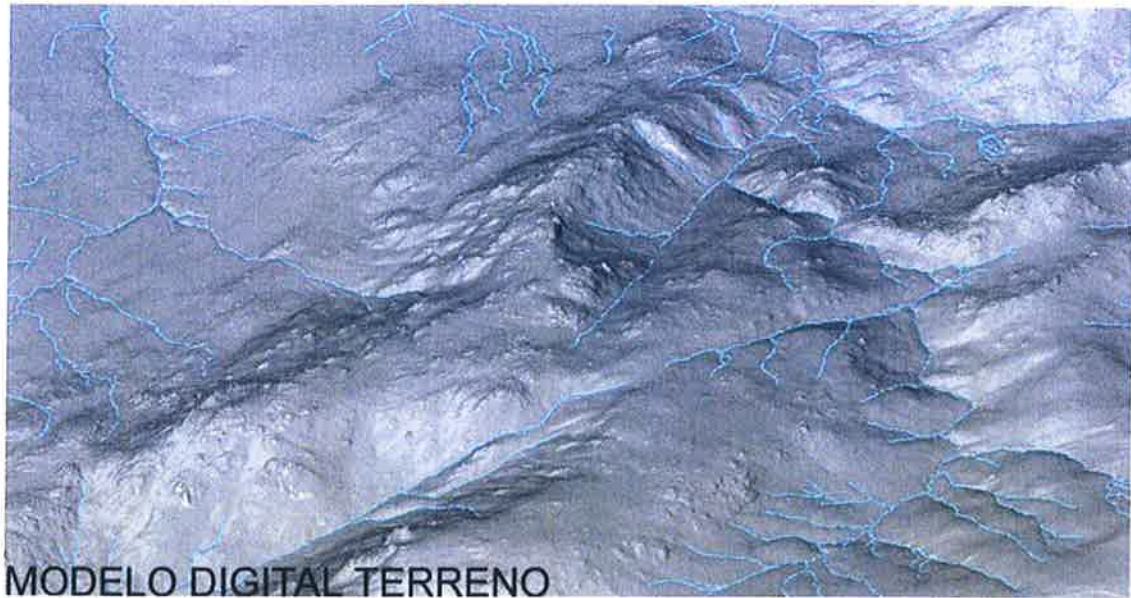


Figura 35. Ejemplos de MDE;



Figura 36. Ejemplos MDT – Modelo Digital del Terreno –



3.5.4.- TRIANGULACIÓN – GENERACIÓN DEL MDE

La densidad de puntos, junto con el modelado aportado por las curvas de nivel, líneas de ruptura y elementos cerrados que definan el terreno, son la base de generación del MDE, no obstante realizaremos una configuración previa de las Stroking Options, de manera que se añadan vértices interpolados que mejoren la distribución de vértices usados en los algoritmos de triangulación posteriores.

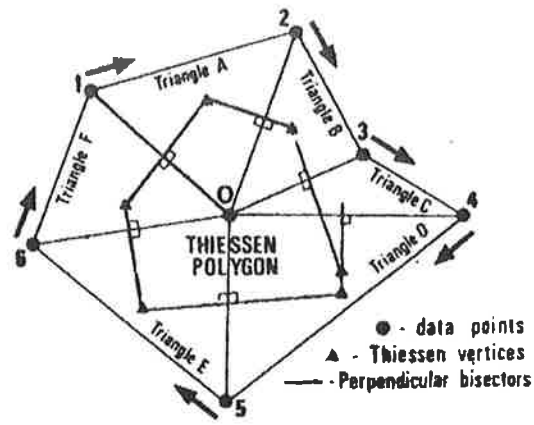
El algoritmo de triangulación empleado por la herramienta Geoterrain es la “**Triangulación de Delaunay**”, asociado a la búsqueda de vértices por “**Polígonos Thiessen o Polígonos Boronoi**”.

Las principales características de la triangulación son:

- Todos los puntos están conectados entre sí y forman el mayor número de triángulos posibles sin que se crucen sus aristas.
- Los triángulos se definen de forma que los puntos más próximos estén conectados entre sí por una arista
- Esto implica que los triángulos formados sean lo más regulares posible, es decir, que se maximicen sus ángulos menores y se minimice la longitud de sus lados

El cálculo de los Polígonos Thiessen o de Boronoi es un método de interpolación basado en distancias euclídeas.

Figura ejemplo de polígonos Thiessen o Boronoi:



Polígono Thiessen

Figura 38. Ejemplo de polígonos Thiessen o Boronoi

Los polígonos se crean al unir los puntos de las entidades 3-DT entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. La intersección de las mediatrices, determinan una serie de polígonos en dos dimensiones, de manera que el perímetro de los mismos es equidistante de los “puntos vecinos”, determinando por otra parte el área de influencia de los mismos.

Los “puntos vecinos” son aquellos cuyas mediatrices son lados de los triángulos generados desde el punto central.



PARTE 3

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL PLA DE SANT JORDI (1814.M2) PARA EL ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES EN EL PLA

Equipo de trabajo

José M^a López García

Índice

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL PLA DE SANT JORDI (1814.M2)	3
SÍNTESIS GEOLÓGICA DEL LLANO DE PALMA	3
Mioceno superior postorogénico (M45, M51, M52 y M53).....	7
Plioceno inferior (PL1)	7
Plioceno superior (PL2)	8
Cuaternario (Q)	8
SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DEL LLANO DE PALMA	8
Sustrato impermeable (Figura 4 A).....	9
Acuífero inferior mioceno (Figura 4 B, C y D)	9
Impermeable Plioceno inferior (PL1) (Figura 4 E).....	12
Acuífero superior Plio-Cuaternario (PL2, Q) (Figura 4 F y G)	12
MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL PLA DE SANT JORDI	15
REFERENCIAS	16
ANEXO 1	18
MAPA GEOLÓGICO	18
MAPA DE PERMEABILIDAD	18
ANEXO 2	20
MAPAS DE SUBSUELO	20

CARACTERIZACIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LA MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL PLA DE SANT JORDI (1814.M2)

El presente documento constituye una síntesis del conocimiento de la geología e hidrogeología de la cubeta de Palma, cuya extensión corresponde a la antigua Unidad Hidrogeológica del Llano de Palma y alberga a lo que hoy en día corresponde a cuatro Masas de Agua Subterránea, incluyendo a la masa del Pla de Sant Jordi y las que limitan con ella. Se engloba dentro del proyecto POSEIDON para el “Estudio científico-técnico de las inundaciones en Es Pla de Sant Jordi, Palma de Mallorca, Islas Baleares, España”, dentro del convenio de colaboración suscrito entre la Empresa Municipal d’Aigües i Clavegeram (EMAYA) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

SÍNTESIS GEOLÓGICA DEL LLANO DE PALMA

La isla de Mallorca forma parte del archipiélago Balear, la parte emergida del umbral submarino denominado Promontorio Balear el cual constituye la prolongación hacia el NE de las zonas externas de la Cordillera Bética. La estructuración del archipiélago es el resultado, en primer lugar, de un importante acortamiento y engrosamiento cortical llevado a cabo mediante el desarrollo de un sistema de cabalgamientos que alcanzó su máxima intensidad durante el Mioceno inferior-medio y, en segundo lugar, de una posterior extensión a partir del Mioceno medio-superior. Así, la actual arquitectura de la isla de Mallorca es el resultado de la actuación de un conjunto de fallas extensivas que han dado lugar a la formación de bloques elevados (Sierras de Tramuntana, Llevant, Randa) y hundidos (Llanos) que constituyen un sistema de *horsts* y *grabens* de directriz NE-SW. Este sistema se formó con posterioridad al Langhiense (Mioceno medio), tras la finalización del régimen compresivo que supuso la orogenia alpina.

El Llano de Palma forma parte de uno de estos *grabens*, una cuenca subsidente delimitada por fracturas de origen tectónico que se ha ido colmatando con sedimentos postorogénicos desde el Mioceno superior (post-Serravalliense) hasta el Cuaternario, llegando a alcanzar en algunos puntos potencias de hasta 450m (figura 1). Estos materiales presentan una elevada complejidad estratigráfica, ligada a la presencia de frecuentes cambios de facies asociados a los distintos ambientes sedimentarios que se han ido sucediendo en los 11 millones de años de historia del relleno postorogénico de la cuenca.

Este relleno postorogénico se dispone de manera discordante sobre un sustrato mesozoico pre y sinorogénico formado por el conjunto de materiales depositados con anterioridad y simultáneamente a la orogenia alpina y por tanto estructurados en bloques plegados y fracturados los primeros, y bordeando a los mismos y en la base de las cuencas sedimentarias los segundos. Los bloques elevados (*horst*) constituyen las principales sierras de la isla, donde estos materiales afloran principalmente. Estos delimitan a su vez los bloques hundidos (*graben*) que constituyen así las principales cuencas sedimentarias, como es el caso del propio Llano de Palma, limitando a las mismas lateralmente y en profundidad.

SERIE POSTOROGÉNICA DEL LLANO DE PALMA

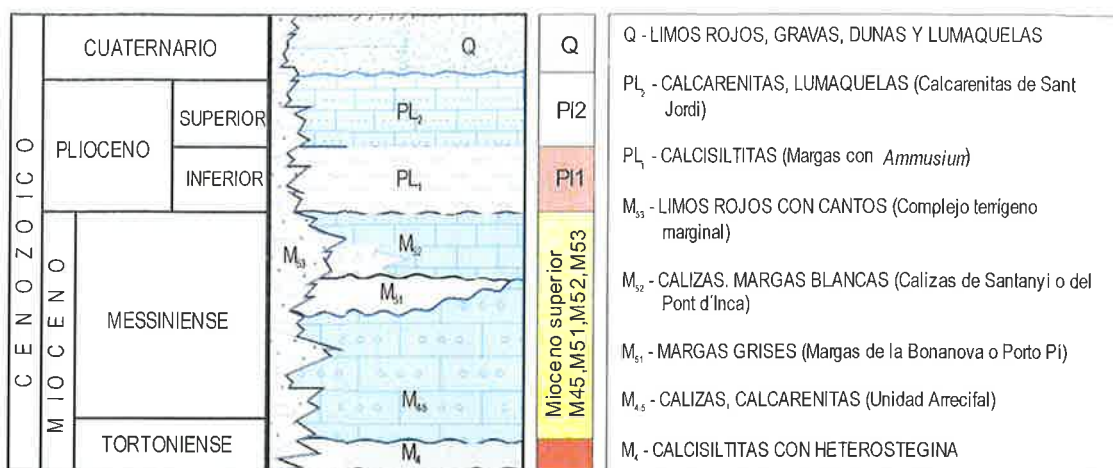


Figura 1. Serie estratigráfica sintética del relleno postorogénico de la cuenca de Palma (modificado de Barón 1987). Azul: principales unidades acuíferas; grises: unidades impermeables. Columna en color: equivalencia con unidades cartográficas de la Figura 2

Así, el conjunto pre y sinorogénico de materiales delimitan el contorno de la cuenca sedimentaria de Palma siendo reconocibles en afloramientos sobre el terreno (figura 2) y reconocibles en profundidad a través de sondeos lo que permite la reconstrucción de la arquitectura de la cuenca mediante cortes geológicos (figura 2).

A continuación se describen brevemente las principales características geológicas de las unidades postorogénicas que se pueden reconocer en el entorno del Llano de Palma.

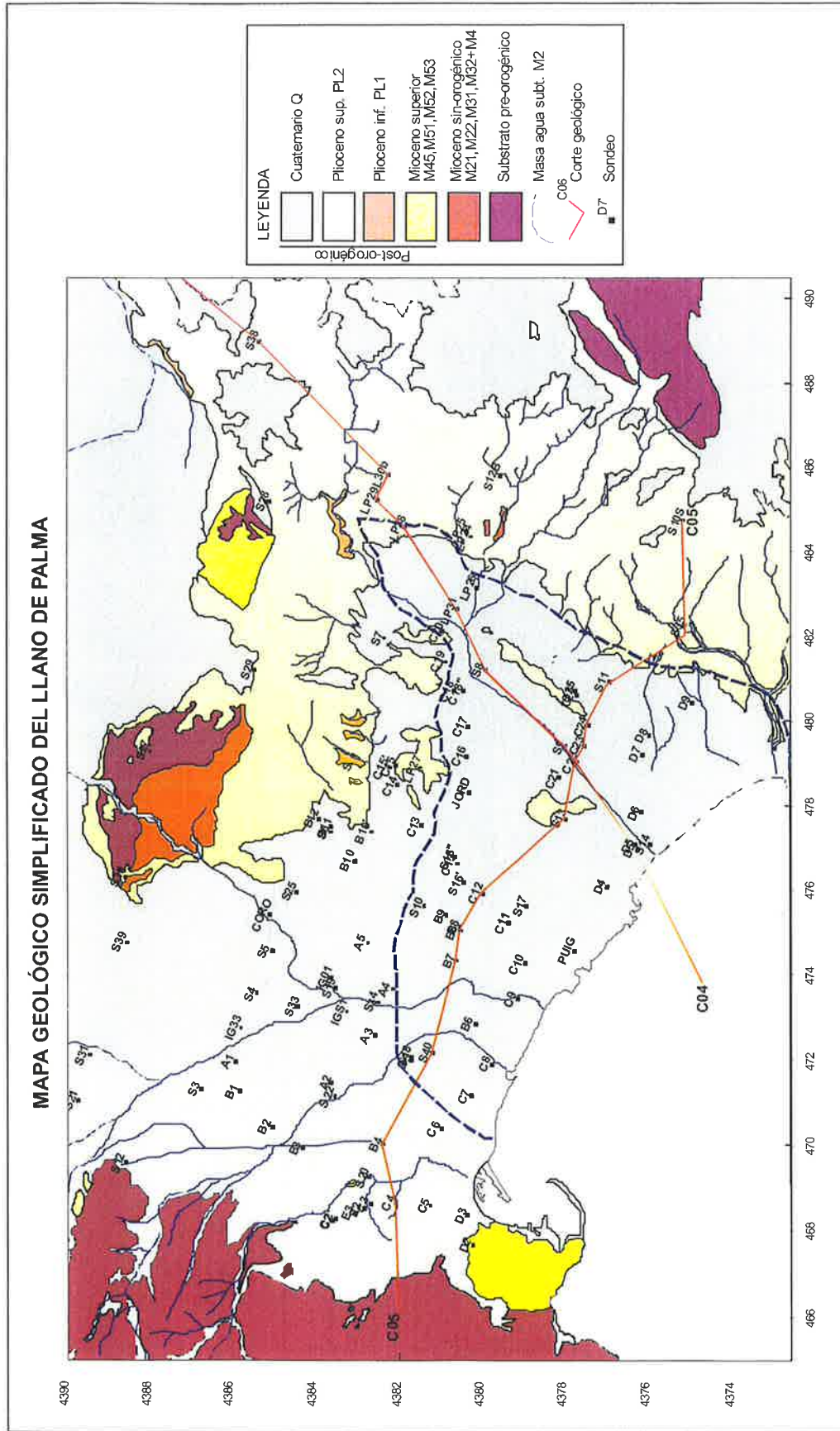


Figura 1. Mapa geológico sintético de la cuenca de Palma

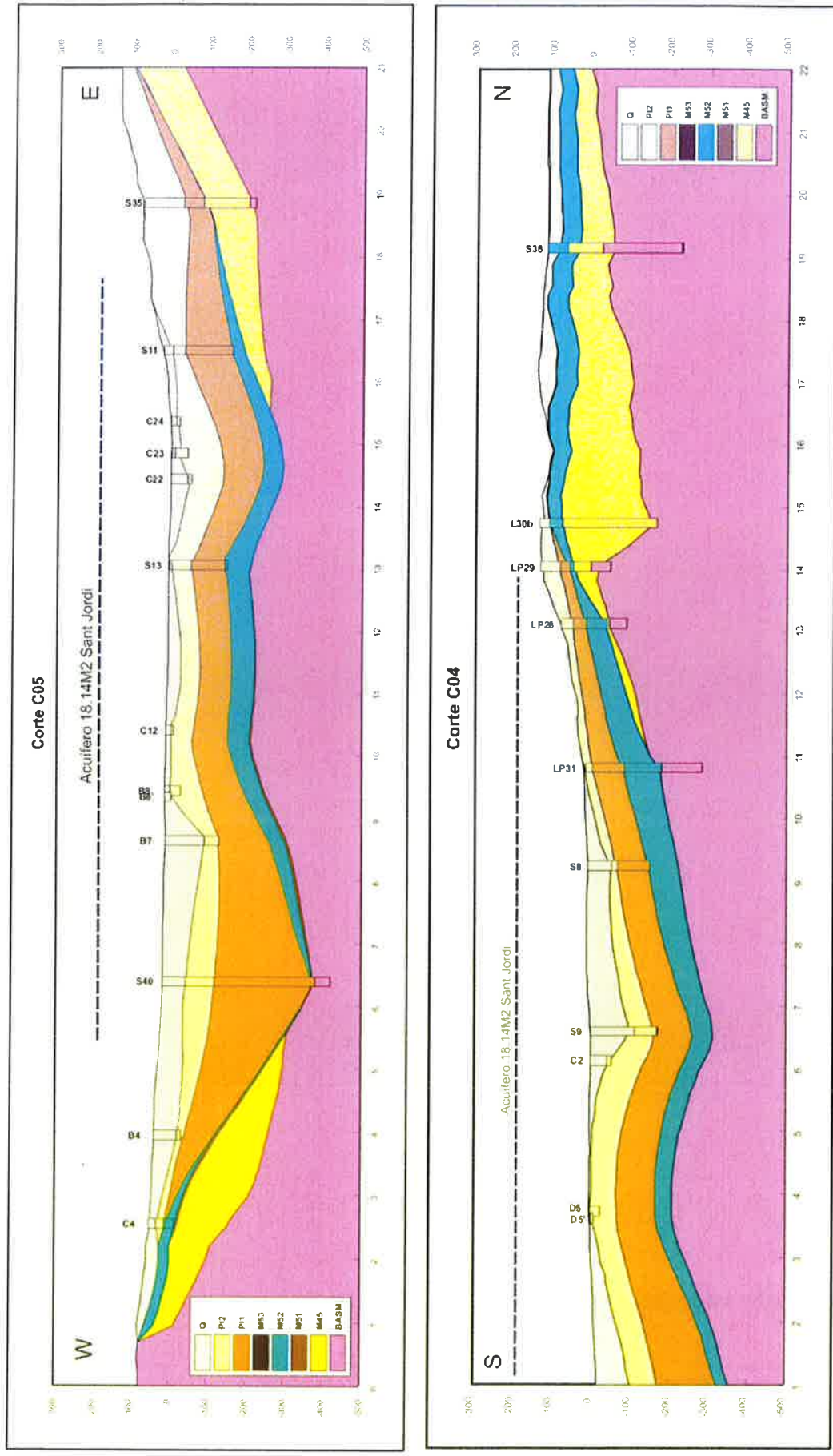


Figura 3. Cortes geológicos de la cuenca de Palma (nomenclatura de unidades en Figura 1 y situación de los cortes en el mapa de la Figura 2). Modificado de Courtois *et. al.*, 2000b. Elaborados a partir de la información de subsuelo (Anexo 2).

Mioceno superior postorogénico (M45, M51, M52 y M53)

Esta unidad cartográfica engloba a las siguientes unidades geológicas:

- Unidad Arrecifal (M45): dentro de la cuenca de Palma aflora únicamente entre las localidades de Algaida y Santa Eugenia, y en los alrededores de Porto Pí (ver mapa de Espesor del Complejo Arrecifal en Anexo 2), reconociéndose en otros sectores mediante sondeos bajo el Cuaternario (Q) y el Plioceno (PL2). Se dispone discordantemente sobre los depósitos terciarios inferiores. Está constituida por bioconstrucciones arrecifales en las que se reconocen tres asociaciones de facies principales: *lagoon*, arrecife coralino, y talud. Al entrar en el Llano propiamente dicho esta formación queda reducida a un talud arrecifal que se acuña hacia el W hasta desaparecer.
- Margas de la Bonanova o Margas de Porto Pí (M51): esta secuencia se dispone discordantemente sobre la unidad arrecifal, y solamente ha sido reconocida en afloramientos en el borde noroccidental de la bahía de Palma, donde su potencia rebasa los 35 m (ver mapa de espesor de las Margas de Porto Pí en Anexo 2). Está constituida por margas y calizas margosas amarillentas con fauna (ostréidos, cerítidos, pectínidos y algún porites) que verticalmente evolucionan a margas ocreas con limos rojos y conglomerados que responden a un medio sedimentario de tipo *aluvial fan*.
- Calizas de Santanyí o Calizas del Pont d’Inca (M52): está constituida por calizas oolíticas con niveles estromatolíticos y depósitos de manglar, muy karstificadas y localmente muy recristalizadas. Su espesor oscila entre los 20 y los 80 m. Aflora en los alrededores del puerto de Palma (Porto Pí) y en un arco entre Puntiró y Son Gual por el este (ver mapa de espesor del Complejo Carbonatado Superior en Anexo 2). Presenta dos dominios con características diferentes. El área occidental está caracterizada por el afloramiento de Porto Pí en el que sobre las margas ocreas de la Bonanova (M51) se sitúan: un complejo estromatolítico, un arrecife de gusanos, una unidad oolítica fuertemente recristalizada y karstificada y una unidad superior de calizas dolomíticas muy recristalizadas y karstificadas. Por el contrario, en el sector oriental, en la zona de Sant Jordi, se produce un rápido cambio de las facies en la zona de Algaida – Santa Eugenia, a margas blanquecinas con restos de peces.
- Complejo Terrígeno Marginal (M53): está formado por un conjunto de sedimentos continentales de tipo *aluvial fan* que corresponden al cambio lateral de facies hacia los bordes de la cuenca del conjunto de las formaciones posteriores al Tortoniense (ver mapa de espesor del Complejo Terrígeno Marginal en anexo 2).

Plioceno inferior (PL1)

Corresponde a las denominadas Margas con Ammusium o también Calcisiltitas de Son Mir. Sobre las calizas de la unidad anterior, y de forma discordante, se dispone un conjunto de margas grises con ostrácodos y ammonias que lateralmente, hacia los bordes de la cuenca pueden presentar intercalaciones conglomeráticas, y que en la vertical evolucionan hacia niveles margosos y calcisiltíticos con foraminíferos piritizados. Sobre este nivel basal se desarrolla un paquete de margas y calcisiltitas grises con abundantes Ammusium y otra microfauna que, en el centro de la cuenca, puede alcanzar espesores del orden de los 300 m, acuniándose hacia los bordes. Sus afloramientos son muy reducidos, a modo de pequeñas islas entre los materiales suprayacentes, si bien se reconocen fácilmente en sondeos (ver mapa de espesor del Plioceno inferior en anexo 2).

Plioceno superior (PL2)

Se trata de la unidad de Calcarenitas de Sant Jordi, que aflora extensamente en el borde oriental del llano de Palma y que también ha sido reconocida ampliamente mediante sondeos. Su potencia es variable, alcanzando un máximo de 70 m en la cuenca de Palma (ver mapa de espesor del Plioceno superior en anexo 2). El límite inferior es un tránsito gradual y rápido con las Calcisiltitas de Son Mir del Plioceno inferior, mientras que el límite superior viene dado por una superficie erosiva. Está formada por unas calcarenitas ricas en foraminíferos y ostrácodos, muy porosas y karstificadas que evolucionan verticalmente a calcarenitas y lumaquelas con estratificación cruzada de gran escala, que se interpretan como depósitos litorales (*shoreface* y *foreshore*), que hacia el techo presentan depósitos atribuibles a dunas.

Cuaternario (Q)

Constituye una única unidad, denominada Limos Rojos de Palma, que engloba a un conjunto de sedimentos que representan la colmatación de la cuenca subsidente, con potencias variables que pueden oscilar desde inexistentes hasta más de 200 m, con una potencia media de 40 m, y que se disponen mediante una superficie erosiva sobre los materiales subyacentes. Cubre la mitad occidental y el centro de la cuenca con una extensión de los afloramientos de unos 180 km² (ver mapa de espesor del Cuaternario s.s. en anexo 2).

Litológicamente está constituida por limos rojos que intercalan niveles de conglomerados procedentes de abanicos aluviales (*aluvial fan*). En menor medida se intercalan depósitos de carbonatos y limos negros de tipo lagunar o lacustre. Hacia el techo y en los bordes de la cuenca aparecen intercalaciones de arenas litificadas (marés) que responden a depósitos de origen eólico relacionados con las fluctuaciones eustáticas del Tirreniense (Pleistoceno).

SÍNTESIS HIDROGEOLÓGICA DEL LLANO DE PALMA

A continuación se relacionan las características hidrogeológicas principales de cada una de las formaciones y unidades postorogénicas reflejadas en el esquema estratigráfico

(figura 1), y que constituyen la premisa para el establecimiento del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del sistema del Llano de Palma. Se describen a continuación las principales unidades con significado hidrogeológico, siguiendo el mismo orden de más antiguo a más moderno (figura 4 A a F) desde el sustrato de la cuenca hasta los sedimentos más recientes.

Los cortes hidrogeológicos de la figura 5 muestran los principales acuíferos presentes en la cubeta de Palma.

Sustrato impermeable (Figura 4 A)

Las formaciones de carácter sinorogénico presentan, en el dominio del Llano de Palma, un predominio de las facies margosas (Turbiditas de Banyalbufar M22 y Margas de Pina M32), así como de facies detríticas finas (Calcsiltitas con Heterosteginas M4) que pueden a efectos prácticos ser consideradas como impermeables, constituyendo el sustrato impermeable del conjunto de la cuenca de Palma.

Acuífero inferior mioceno (Figura 4 B, C y D)

Aunque en líneas generales constituye un único acuífero, denominado generalmente acuífero inferior o profundo de la cuenca de Palma, en detalle puede estar formado por dos unidades acuíferas independientes en determinados sectores de la cuenca, en función de las variaciones litológicas de las formaciones que lo constituyen:

Acuífero Arrecifal Tortoniense-Messiniense (M45) (Figura 4 B)

Esta formación compuesta por la Unidad Calizas Arrecifales M45 es considerada como acuífera. La unidad arrecifal se extiende, a modo de arco, bordeando el Llano de Palma por su mitad septentrional, terminando en la línea de costa en sus extremos oriental y occidental, llegando a ser aflorante en este último. En los sondeos realizados en el sector correspondiente a la masa del Pla de Sant Jordi no se reconoce esta unidad.

Impermeable Messiniense (M51+M53) (Figura 4 C)

Tanto la formación Margas grises de la Bonanova (M51) como la Unidad Terrígena Marginal (M53) formada fundamentalmente por conglomerados con matriz arcillosa y limos rojos presentan una porosidad y una permeabilidad muy baja, por lo que pueden ser consideradas como impermeables.

Su extensión no cubre toda la superficie de la cuenca. En algunas zonas de la cuenca donde están presentes, las formaciones M51 y M53 aíslan el acuífero Messiniense M52 del acuífero Tortoniense M45. Por el contrario, en aquellos sectores, sobre todo en la parte norte de la cuenca, donde las formaciones M51 y M53 no se han encontrado, los dos acuíferos miocenos M52 y M45 se encuentran así en contacto directo.

Acuífero de Pont d'Inca Tortoniense-Messiniense (M52) (Figura 4 D)

El conjunto de las Calizas del Pont d'Inca M52 presenta variaciones de facies que se distribuyen en dos dominios diferenciados: el conjunto predominantemente calizo, que se extiende principalmente en el sector occidental del Llano de Palma, presenta una fuerte recristalización y karstificación por lo que es considerado como acuífero. Por el contrario, en el

sector centro-oriental del Llano el rápido cambio de facies calizas a margas, entre Algaida y Santa Eugenia, y a yesos, en la zona de Sant Jordi, hacen que en este área la unidad se pueda considerar como impermeable. La porosidad es heterogénea: más baja en las margas y yeso, y mucho mayor en las calizas, donde los ensayos de bombeo proporcionan un coeficiente de almacenamiento de alrededor del 10%.

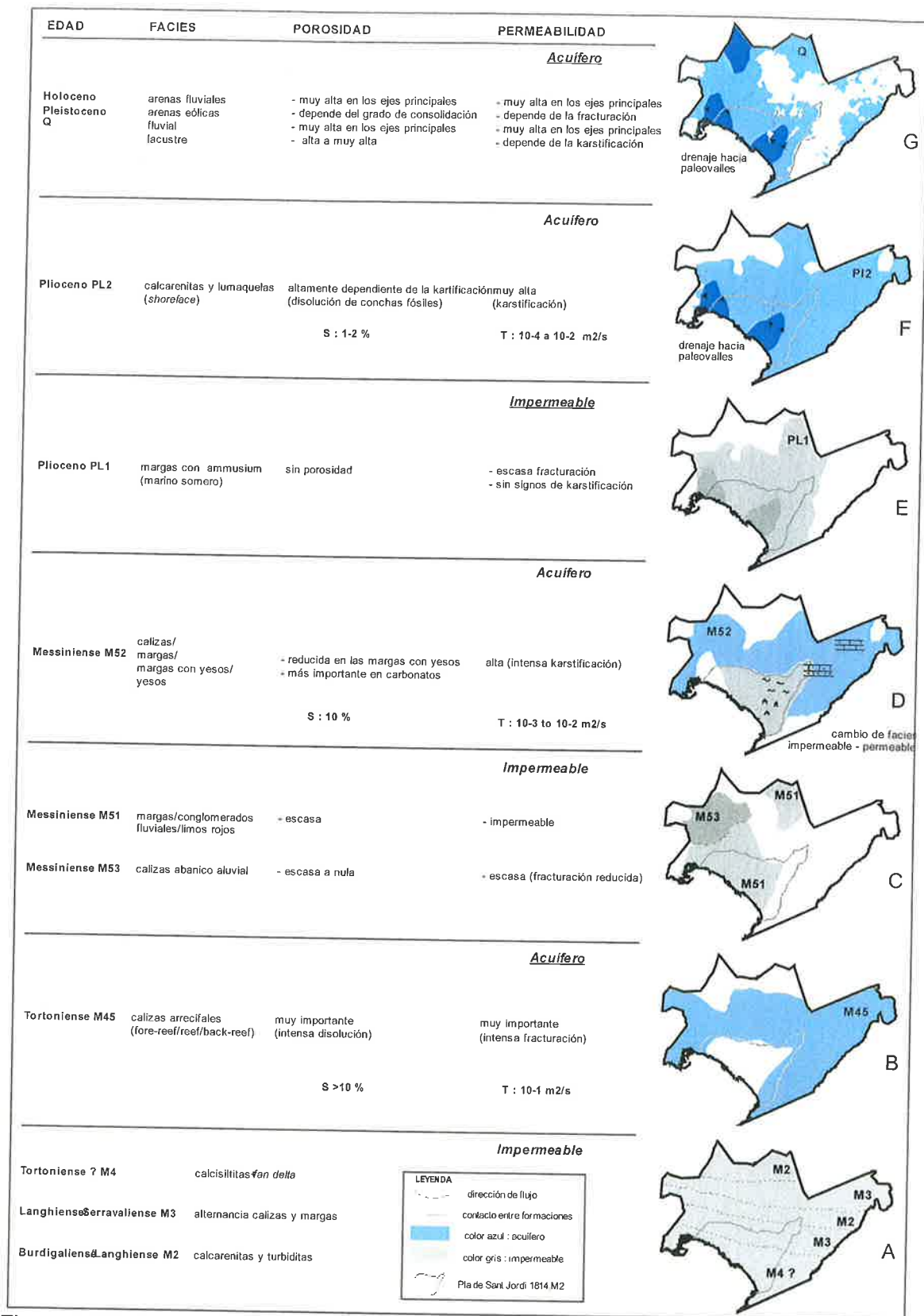


Figura 4. Características y distribución espacial de las principales unidades acuíferas presentes en el Pla de Sant Jordi 1814.M2 y su entorno. Modificado de Courtois et. al., 2000a). Esquema de distribución basado en la información de subsuelo (Anexo 2).

Impermeable Plioceno inferior (PL1) (Figura 4 E)

Esta formación, compuesta por los materiales de la unidad de Margas con Ammusium PL1, se considera una unidad impermeable debido a su reducida porosidad efectiva y a la casi nula fracturación y karstificación. Constituye el sustrato impermeable bajo la masa de agua subterránea del Pla de Sant Jordi.

Acuífero superior Plio-Cuaternario (PL2, Q) (Figura 4 F y G)

De acuerdo con la distribución espacial descrita hasta ahora (Figura 4), este conjunto de unidades litológicas constituye el único acuífero presente bajo el área que abarca el Pla de Sant Jordi y alberga a la masa de agua subterránea del mismo nombre. En detalle está formado por dos unidades geológicas conectadas hidráulicamente entre sí:

Acuífero superior Plioceno (PL2) (Figura 4 F)

El acuífero plioceno PL2 reposa mayoritariamente sobre la formación PL1 que actúa como impermeable de base del acuífero pliocuaternario. Es un importante acuífero, compuesto de calcarenitas y lumaquelas que han pasado por varias fases de karstificación durante las fluctuaciones eustáticas del nivel del mar del Plioceno y el Cuaternario. La porosidad es importante, debido a la disolución de las conchas, y a la karstificación que parece afectar a toda la formación (afloramientos karstificados visibles sobre el terreno) que con frecuencia también está fracturada favoreciéndose así la permeabilidad. Esta karstificación puede estar más desarrollada en relación con las áreas de incisión de los paleovalles favoreciendo así el flujo de agua subterránea en el entorno de los mismos. Los ensayos de bombeo realizados por el IGME en el acuífero Plio-Cuaternario arrojan coeficientes de almacenamiento del orden de 1 a 2% y una transmisividad entre 10^{-4} and 10^{-2} m²/s.

Acuífero superior Cuaternario (Q) (Figura 4 G)

Las formaciones cuaternarias (Q) presentan una gran diversidad litológica lo que da lugar a una gran heterogeneidad en sus parámetros hidráulicos, aunque a priori constituye mayoritariamente una unidad acuífera de comportamiento complejo (acuífero multicapa). La porosidad es muy variable: a partir de cero, en los limos de inundación, hasta buena en los canales fluviales. Podemos esperar una alta permeabilidad en los intersticios de los materiales de relleno de los paleo-valles, especialmente en los cauces fluviales compuestos de cantos gruesos. Los espesores reconocidos en sondeos para esta unidad marcan la presencia de los dos paleovalles ya identificados en el Plioceno.

El corte hidrogeológico de la figura 5 recoge la distribución en profundidad de las unidades acuíferas presentes bajo el Pla de Sant Jordi (modificado a partir de los cortes geológicos de la figura 3).

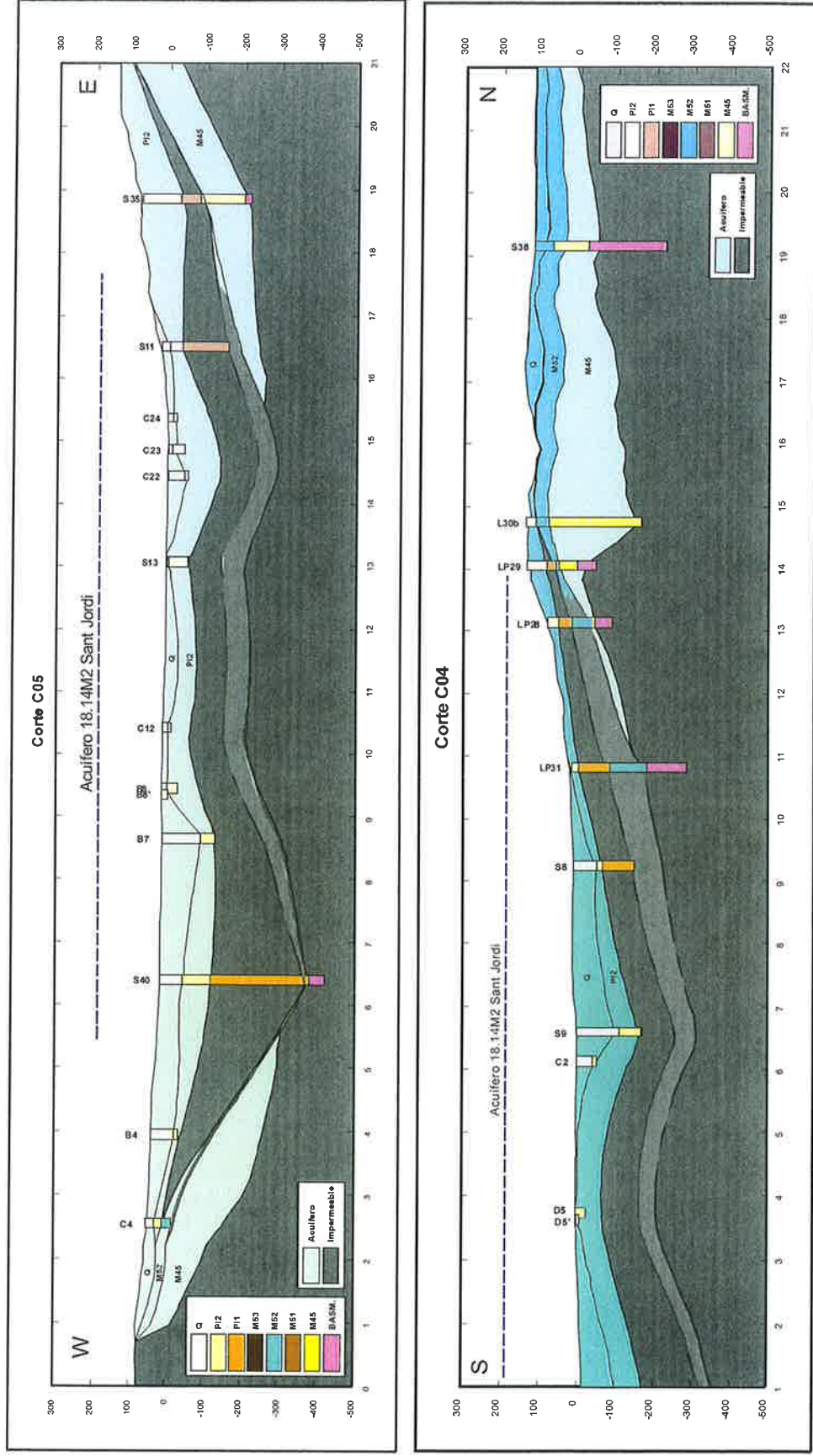


Figura 5. Cortes hidrogeológicos esquemáticos mostrando las principales unidades acuíferas del bajo el Pla de Sant Jordi. (Modificado de Courtois *et. al.*, 2000b). Basado en los datos de subsuelo recogidos en el Anexo 2.

MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA DEL PLA DE SANT JORDI

La masa de Sant Jordi (18.14 M2): constituye el sector central meridional del Llano de Palma, donde de acuerdo con los datos de los sondeos de investigación el acuífero formado por la unidad arrecifal en otros sectores de la cuenca de Palma está ausente (figura 4 B), y donde además la formación acuífera Calizas del Pont d’Inca (M52) presenta un cambio de facies a margas y yesos de carácter impermeable (figura 4 D). En todo este sector queda por tanto un único acuífero constituido por las Calcarenitas de Sant Jordi del Plioceno superior (PL2) y los sedimentos cuaternarios suprayacentes (Q). El conjunto constituye así un único acuífero Pliocuaternario PL2+Q cuya extensión define la masa de agua subterránea del Pla de Sant Jordi (figura 6). Este acuífero se encuentra abierto al mar a lo largo de toda la línea de costa comprendida entre la ciudad de Palma y la localidad de El Arenal, descargando al mar a lo largo de la Playa de Palma.

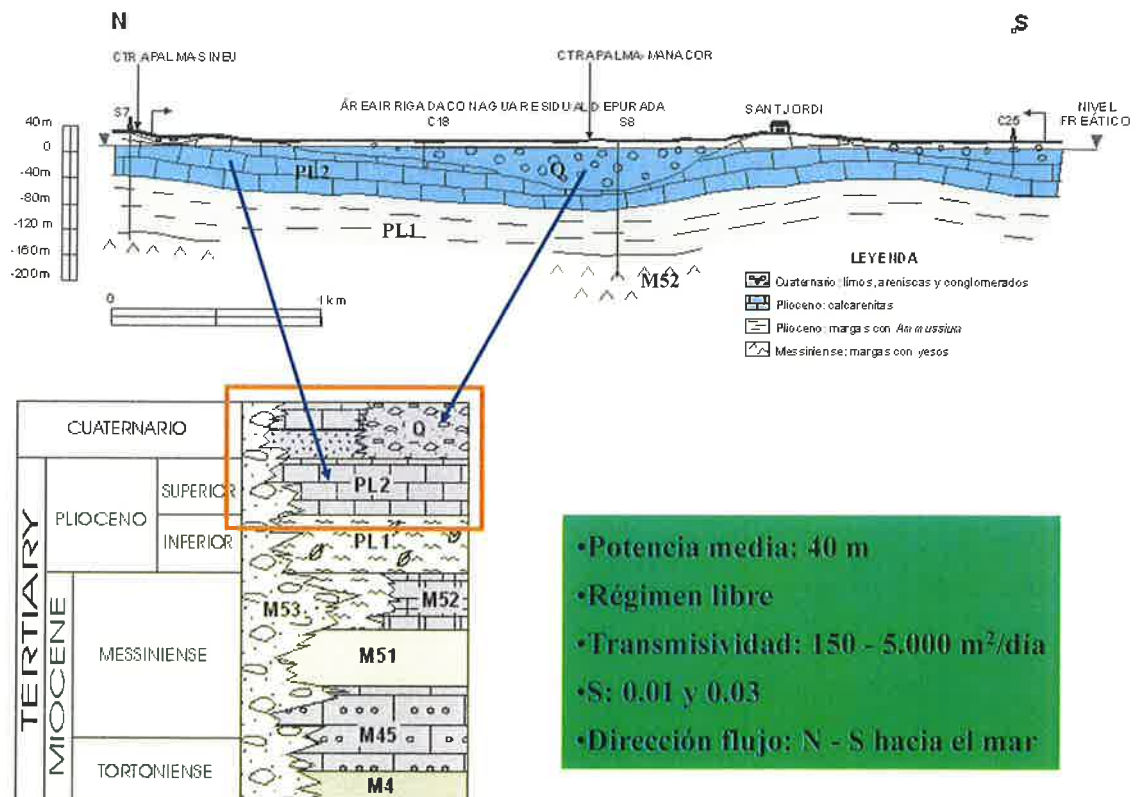


Figura 6. Caracterización hidrogeológica del acuífero pliocuaternario del Pla de Sant Jordi.

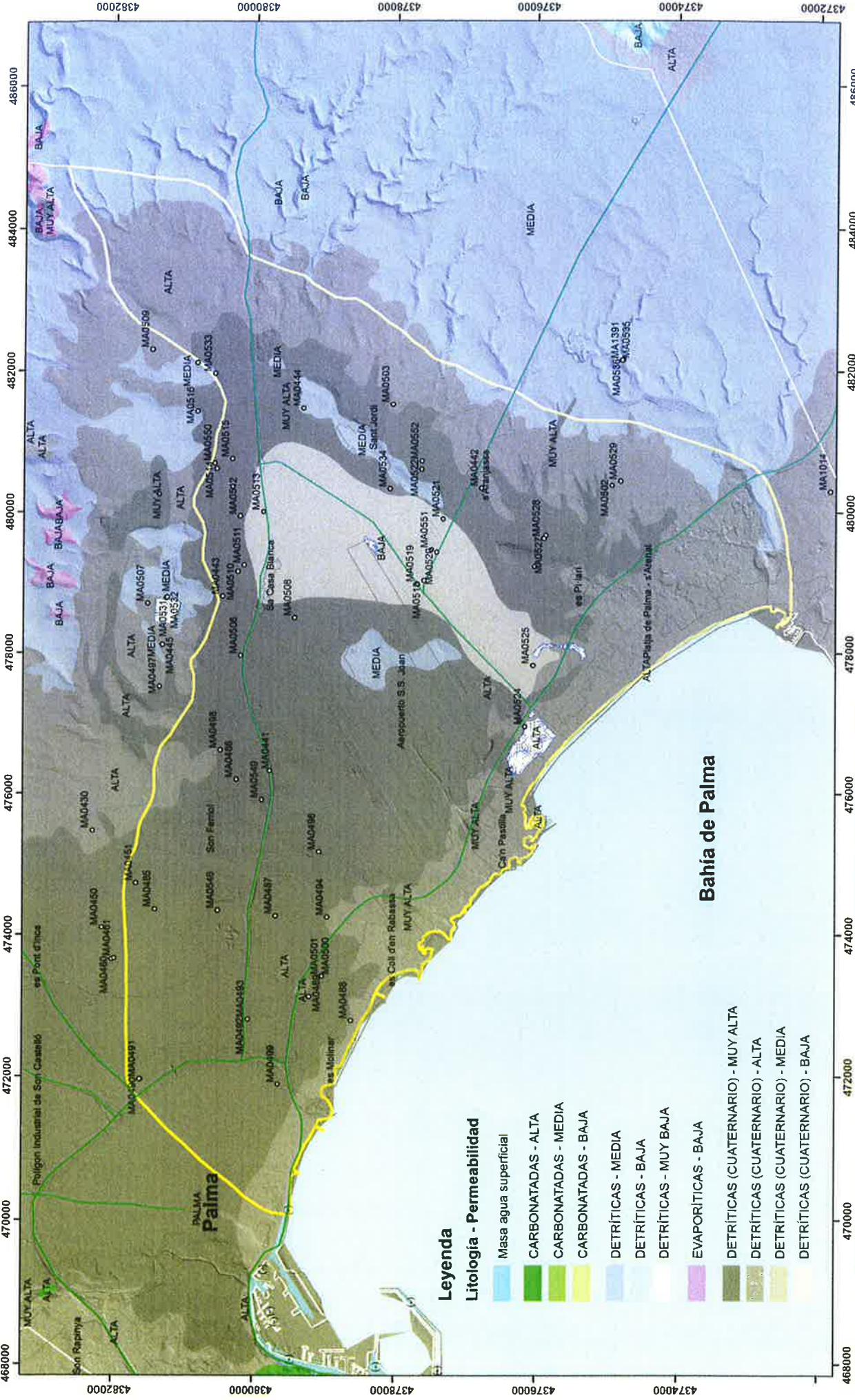
Los mapas del **anexo 1** recogen la cartografía geológica a escala 1:50.000 en el polígono de la masa de agua subterránea del Pla de Sant Jordi, así como el mapa de permeabilidad de los distintos materiales que afloran en el área de estudio, elaborado a partir del mapa geológico.

REFERENCIAS

- COLOMBO, F (ED.) FORNÓS, J.; MARZO, M.; POMAR, L.; RAMOS-GUERRERO, E. Y RODRÍGUEZ-PEREA, A. (1991). Evolución Tectono-Sedimentaria y Análisis Estratigráfico del Terciario de la Isla de Mallorca. I Congreso del grupo español del Terciario (Vic 1991). Libro-Guía Excursión nº2. Universitat de Barcelona.
- COMITÉ DE COORDINACIÓN (1973). Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de Baleares. Informe de síntesis General. Ministerio de Obras Públicas. Ministerio de Industria. Ministerio de Agricultura.. Director José Fuster Centelles
- COURTOIS, N., BRISSAUD F., CRESPI D., LACHASSAGNE P., LE STRAT P., XU P. (2000a).- CatchWater Project – WP3 – Mallorca modelling. Llano de Palma, Majorca: quelques elements pour le modèle hydrogéologique conceptuel (BRGM, ITGE, UMII). Version du 12/07/2000. Inédito.
- COURTOIS, N., BRISSAUD F., CRESPI D., LACHASSAGNE P., LE STRAT P., XU P. (2000b).- CatchWater Project – WP3 – Mallorca modelling. Cartes des isopaques et des isohypses du Néogène et du Quaternaire du bassin de Palma de Majorque (Baléares) (BRGM, ITGE, UMII). Version du 11/07/2000. Inédito.
- GOY, J.L.; ZAZO, C. Y CUERDA, J. (1997) Evolución de las áreas margino-litorales de la costa de Mallorca (I. Baleares) durante el último y presente interglacial: nivel del mar holoceno y clima. Boletín Geológico y Minero vol. 108-4 (455-463)
- IGME (1984) Mapa Geológico Nacional MAGNA escala 1:50.000 (2ª serie) Hoja 698 (Palma)
- IGME (2005-2011) *Mapa Geológico Continuo de España. Plan GEODE*
- IGME (2006) Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidad de España. Visor del mapa continuo digital con información a Escala 1:200.000. (DVD)
- MUNTANER DARDER, A. (1957) Las formaciones cuaternarias de la Bahía de Palma. Soc. Hist. Nat. Baleares Bol., 3, 77-I 18
- POMAR, L. ET AK. (1983): El Terciario de Mallorca. Congreso Nacional de Sedimentología. 10/1983/Menorca, 21-044 (24 p.)
- SERVEI HIDRAULIC DE BALEARS SHB (1987) Hidrogeología de la isla de Mallorca. Conselleria de Obres Públiques i ordenació Del territori. Direcció General d'obres Publiques. Servei Hidraulic.
- SGOP (1968) Estudio Hidrogeológico del Llano de Palma. Director Joan Fuster. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.
- SGOP (1972) Informe Hidrogeológico del Llano de Palma. Ramón Llamas. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.

ANEXO 1
MAPA GEOLÓGICO
MAPA DE PERMEABILIDAD


Mapa de Permeabilidad del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Fuente: Mapa litológico y de permeabilidad 1:200.000 IGME




Leyenda

- Litologia - Permeabilidad**
- Masa agua superficial
 - CARBONATADAS - ALTA
 - CARBONATADAS - MEDIA
 - CARBONATADAS - BAJA
 - DETRÍTICAS - MEDIA
 - DETRÍTICAS - BAJA
 - DETRÍTICAS - MUY BAJA
 - EVAPORÍTICAS - BAJA
 - DETRÍTICAS (CUATERNARIO) - MUY ALTA
 - DETRÍTICAS (CUATERNARIO) - ALTA
 - DETRÍTICAS (CUATERNARIO) - MEDIA
 - DETRÍTICAS (CUATERNARIO) - BAJA





 GOBIERNO DE ESPAÑA




 MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

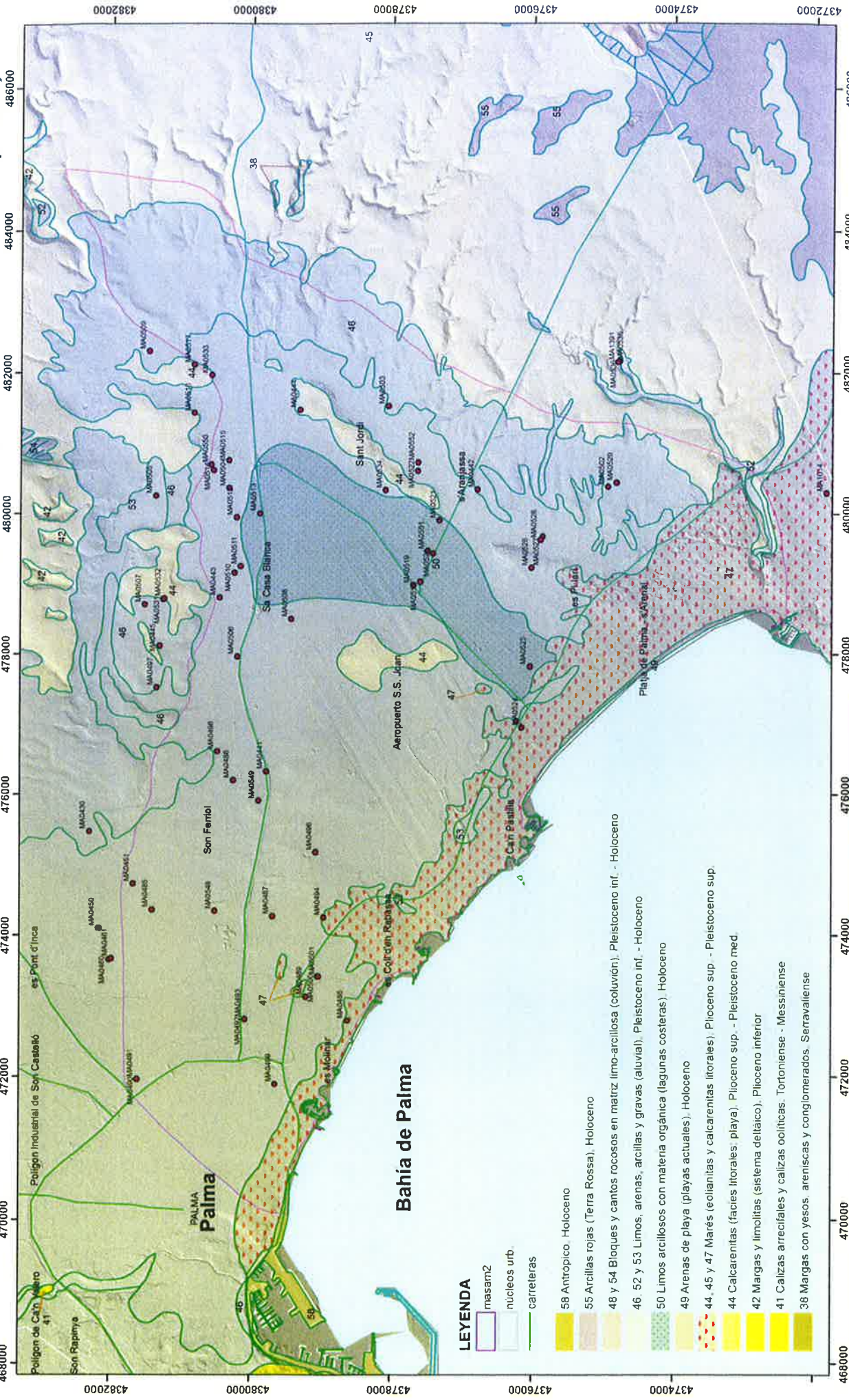


 Instituto Geológico y Minero de España

Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las Inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N




Mapa Geológico del Pla de Sant Jordi (18.14M2). Fuente: cartografía digital continua GEODE (IGME)

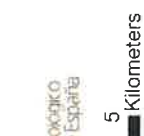


LEYENDA

- masam2
- núcleos urb.
- carreteras
- 58 Antropico. Holoceno
- 55 Arcillas rojas (Terra Rossa). Holoceno
- 48 y 54 Bloques y cantos rocosos en matriz limo-arcillosa (coluvión). Pleistoceno inf. - Holoceno
- 46, 52 y 53 Limos, arenas, arcillas y gravas (aluvial). Pleistoceno inf. - Holoceno
- 50 Limos arcillosos con materia orgánica (lagunas costeras). Holoceno
- 49 Arenas de playa (playas actuales). Holoceno
- 44, 45 y 47 Mares (eoliantas y calcarenitas litorales). Plioceno sup. - Pleistoceno sup.
- 44 Calcarenitas (facies litorales, playa). Plioceno sup. - Pleistoceno med.
- 42 Margas y limolitas (sistema deítaico). Plioceno inferior
- 41 Calizas arrecifales y calizas oolíticas. Tortoniense - Messiniense
- 38 Margas con yesos, areniscas y conglomerados Serravallense



Instituto Geográfico
y Número de España



Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



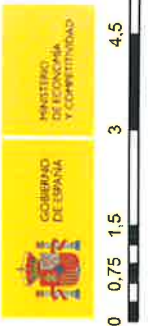
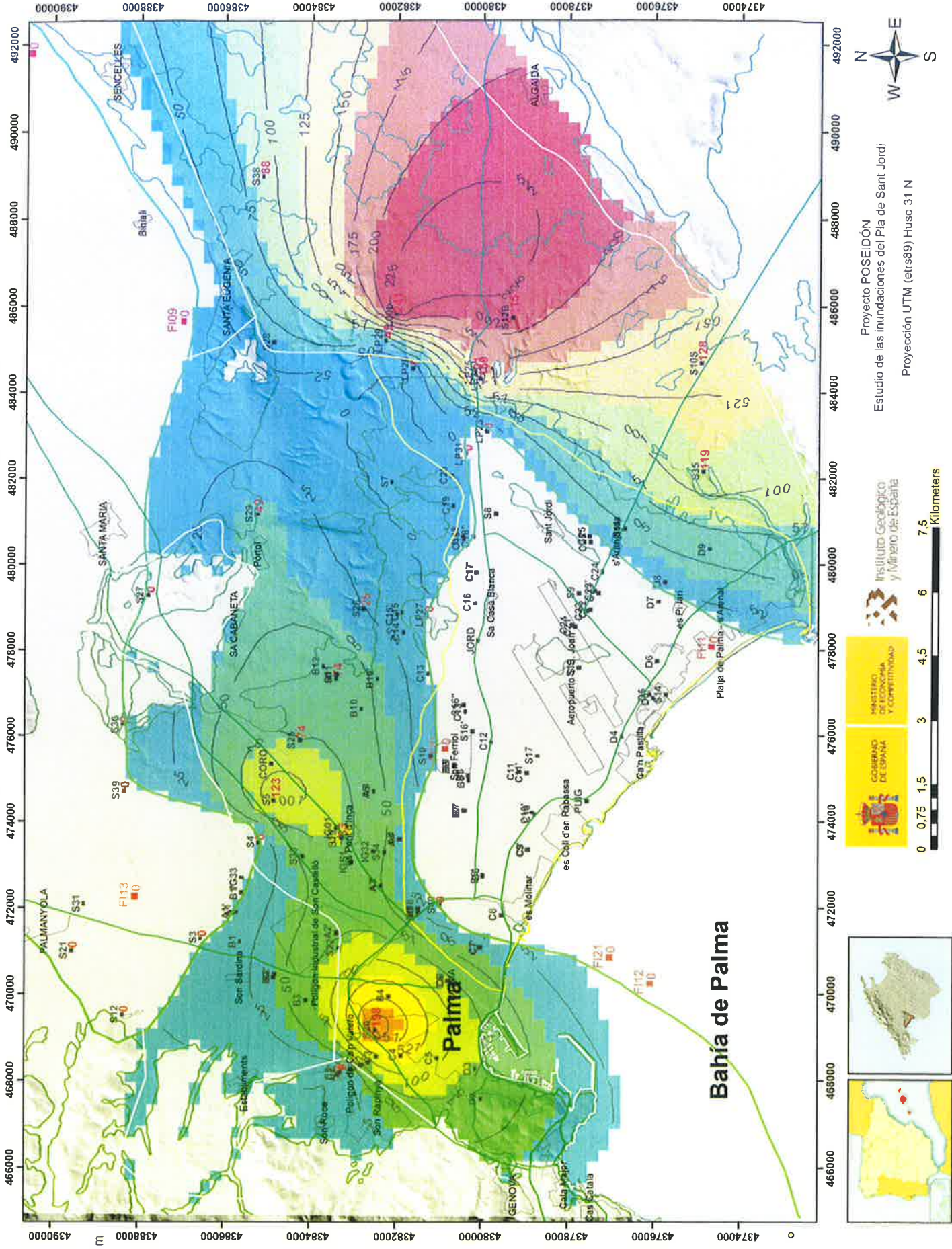
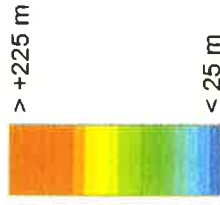
ANEXO 2
MAPAS DE SUBSUELO

Espesor del Complejo Arrecifal (M45) (modificado de Courtois et al 2000b)

Leyenda

Espesor de M45

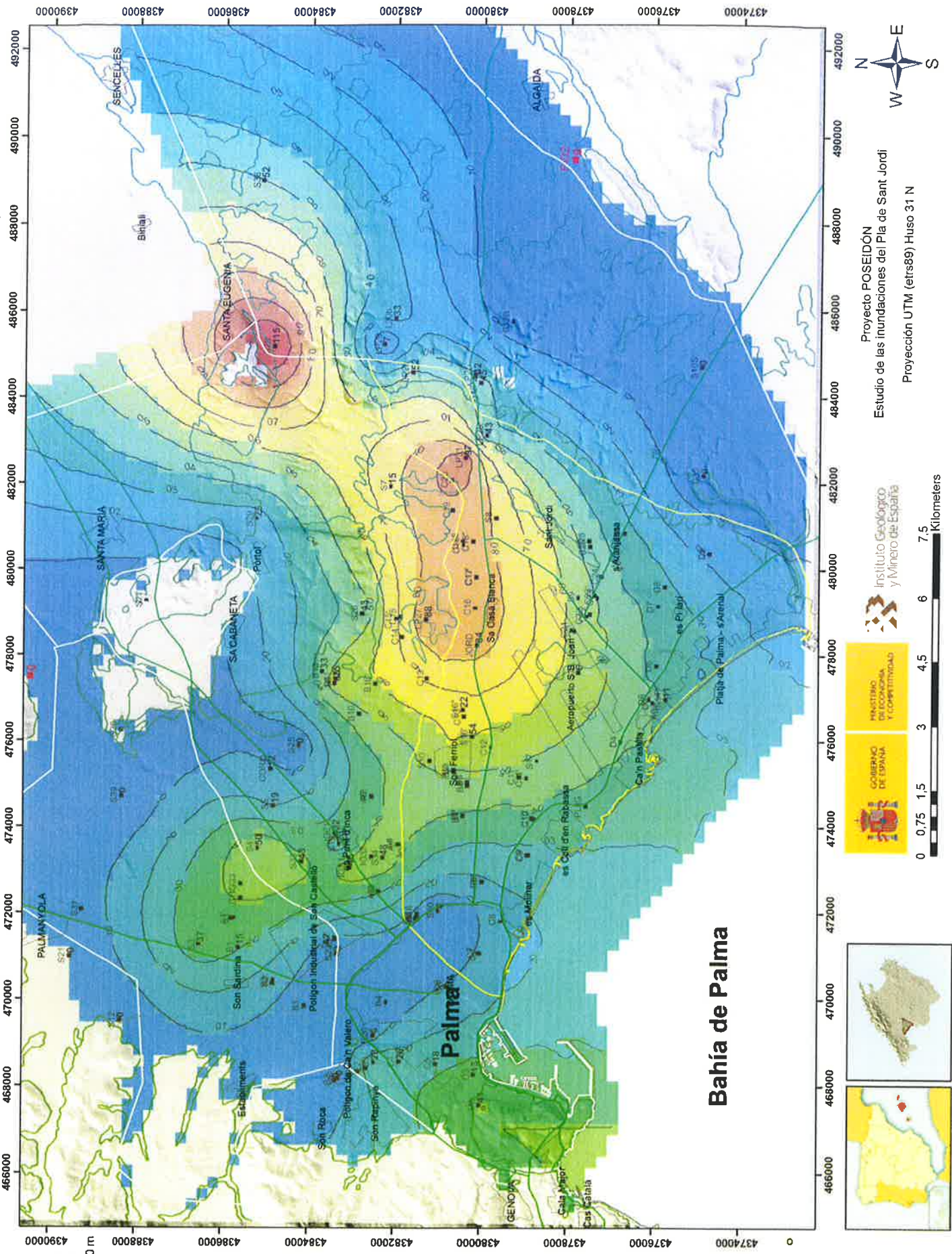
equidistancia de las curvas 25 m



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Espeor del Complejo Carbonatado Superior (M52) (modificado de Courtois et al 2000b)



Leyenda
Espeor de M52
 equidistancia de las curvas 10 m

> +110 m

< 20 m



Instituto Geológico y Minero de España

Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

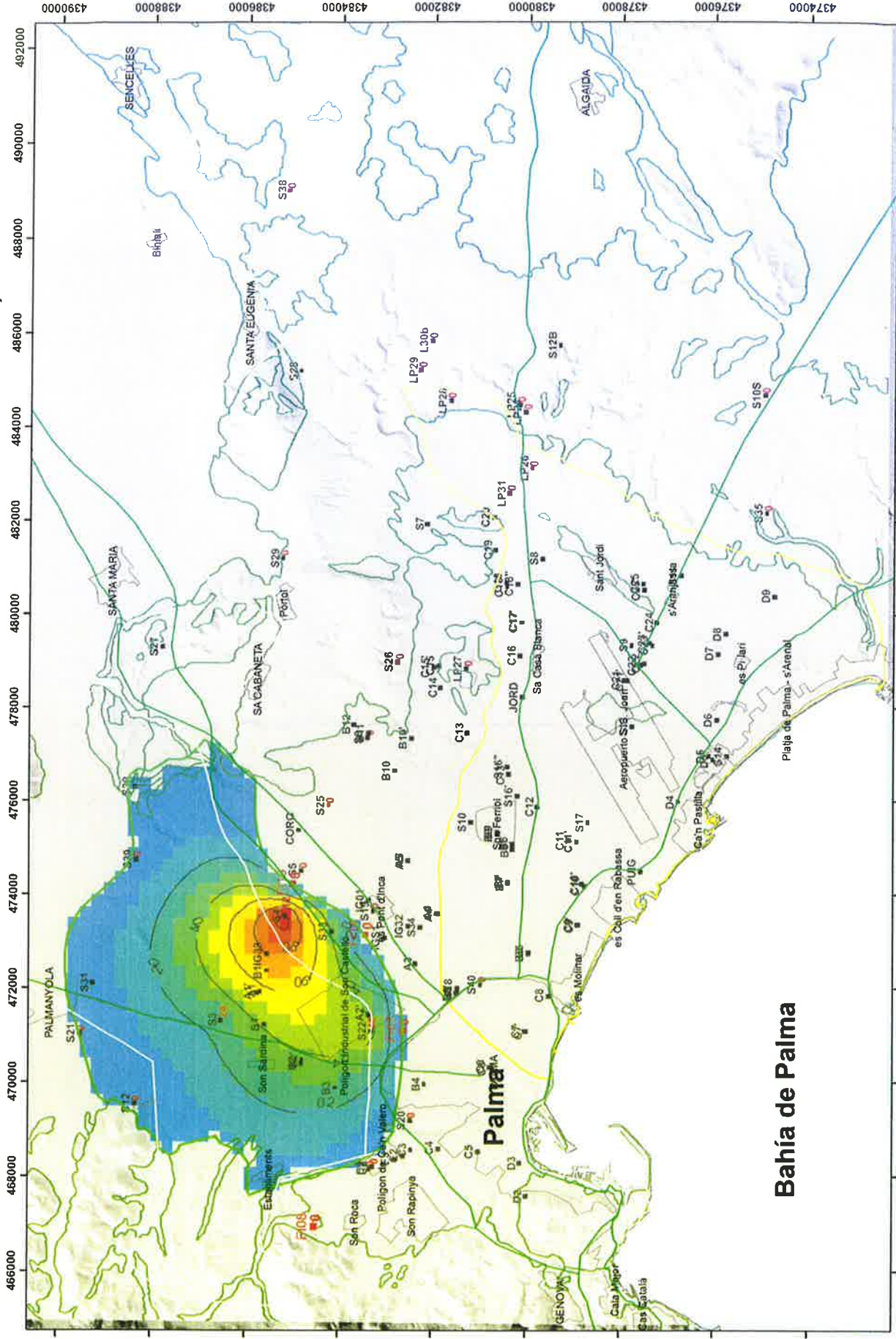
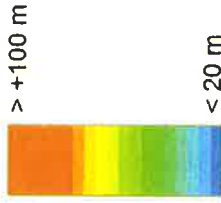


Espeor del Messiniense superior (M53) (modificado de Courtois et al 2000b)

Leyenda

Espeor de M53

equidistancia de las curvas 20 m



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España

Proyecto POSEIDÓN

Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi

Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

0 0.75 1.5 3 4.5 6 7.5 Kilometers

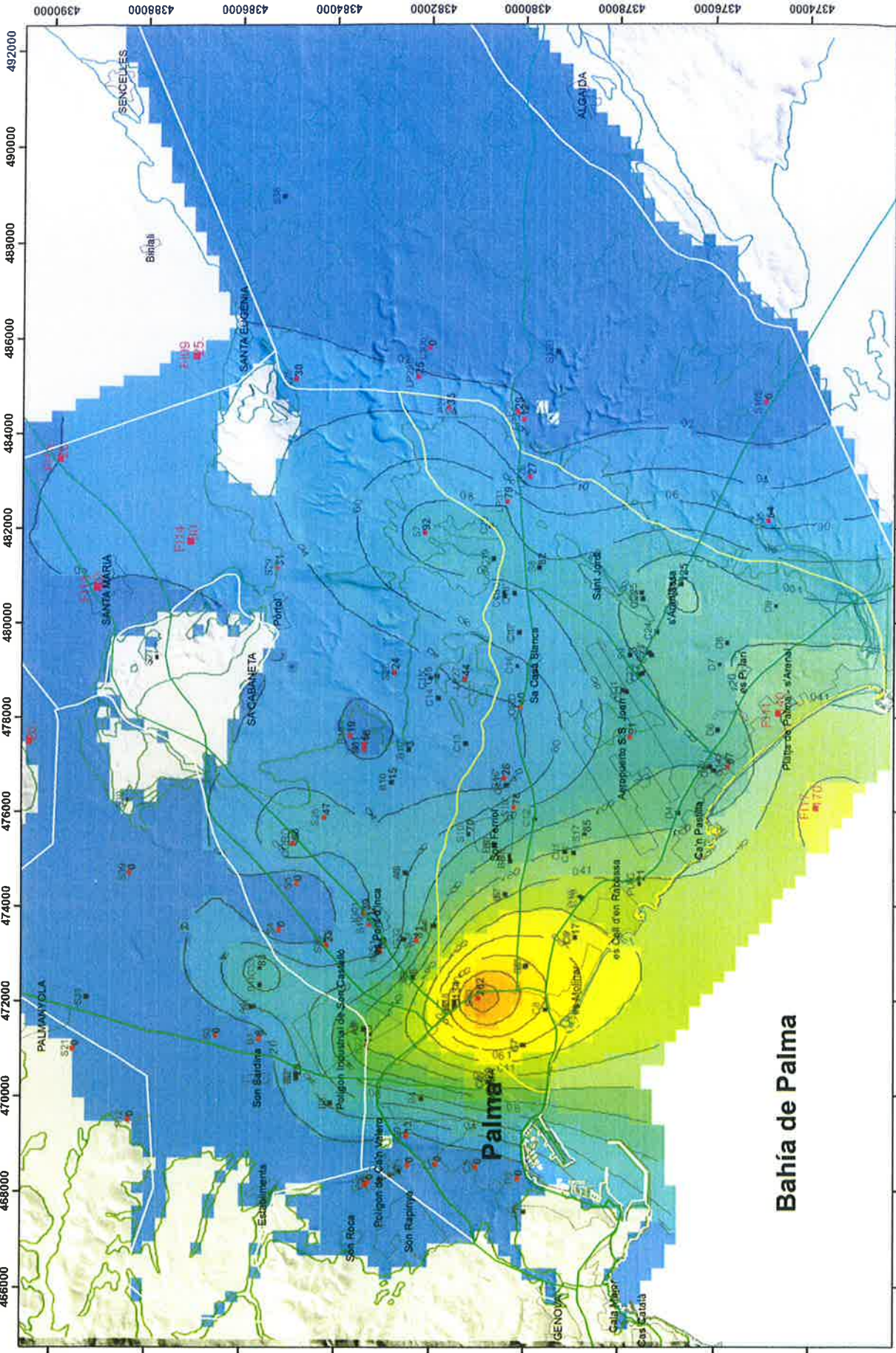
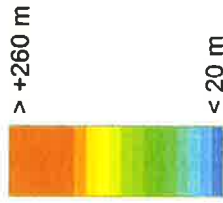


Espeor del Plioceno inferior (PL1) (modificado de Courtois et al 2000b)

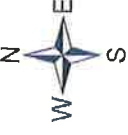
Leyenda

Espeor de PL1

equidistancia de las curvas 20 m



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

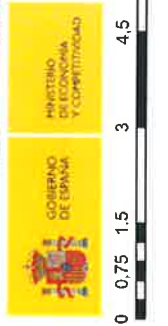
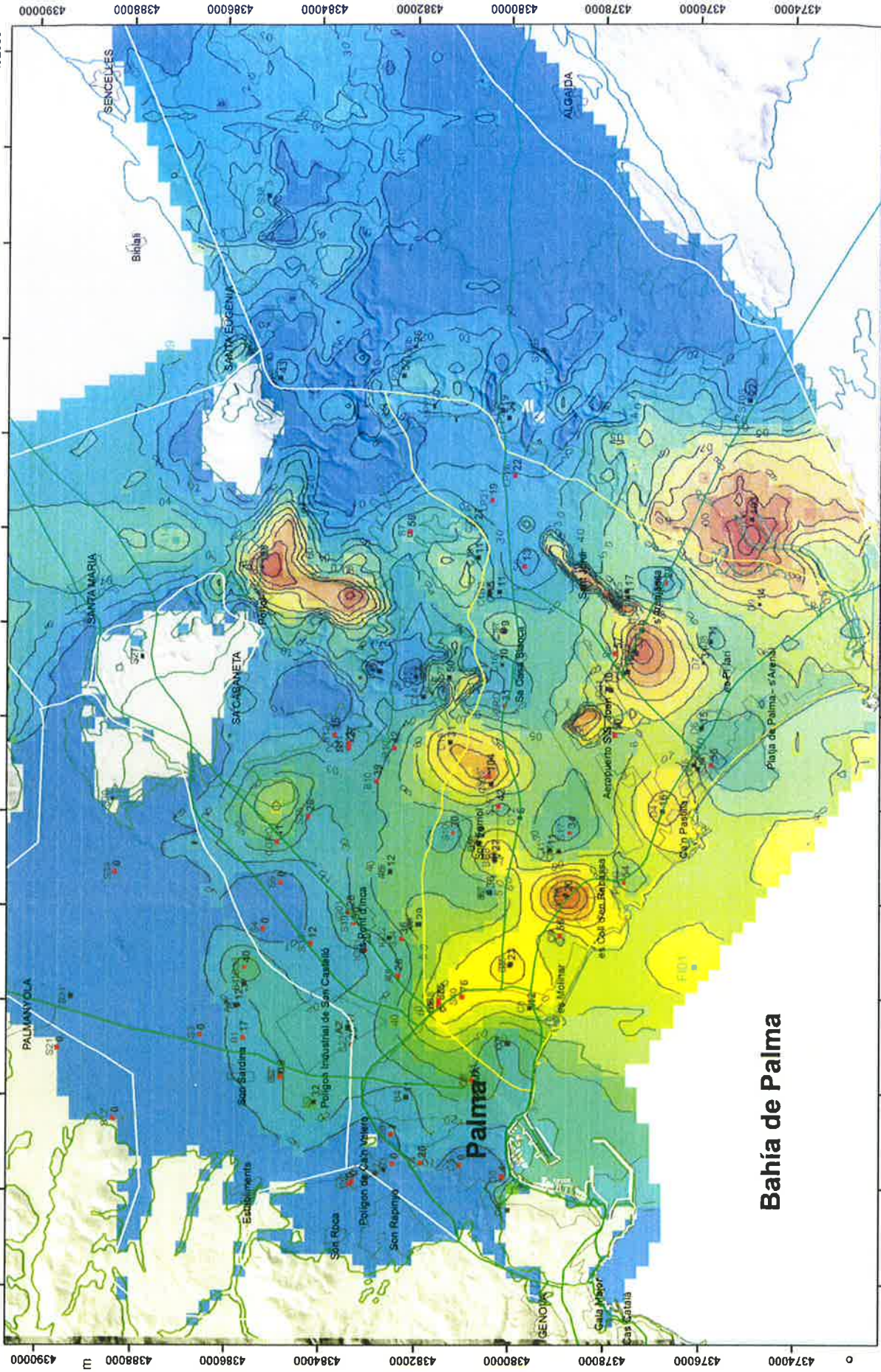
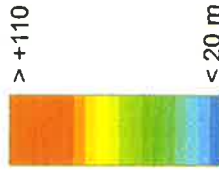


Espesor del Plioceno superior (PL2) (modificado de Courtois et al 2000b)

Leyenda

Espesor de PL2

equidistancia de las curvas 10 m



Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

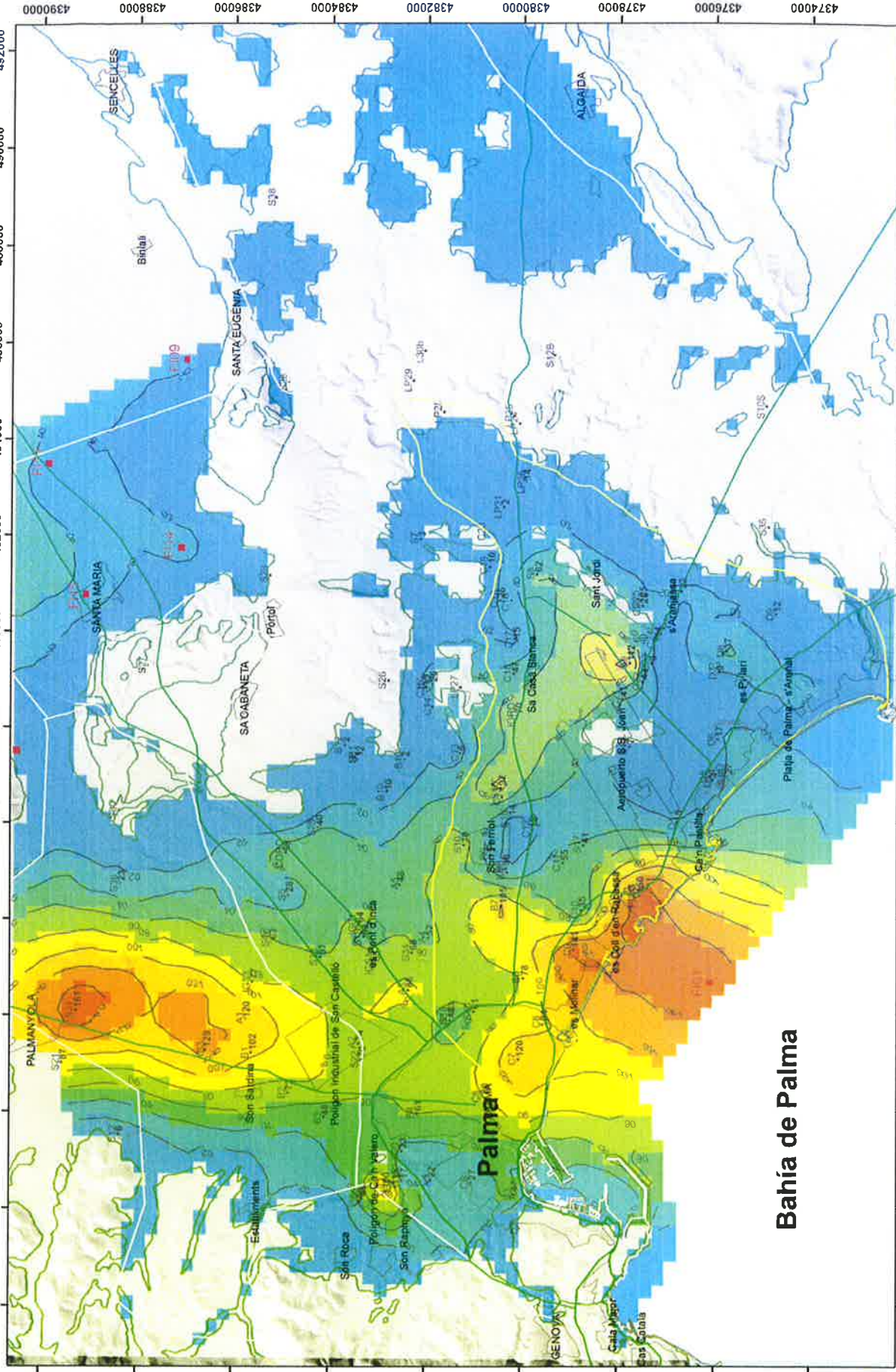
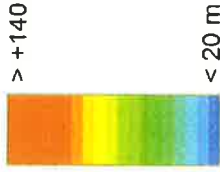


Espesor del Cuaternario (Q) (modificado de Courtois et al 2000b)

Leyenda

Espesor de Q

equidistancia de las curvas 20 m



Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi

Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

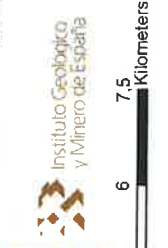
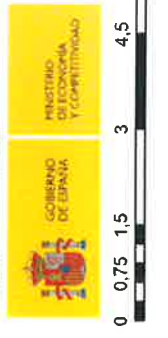
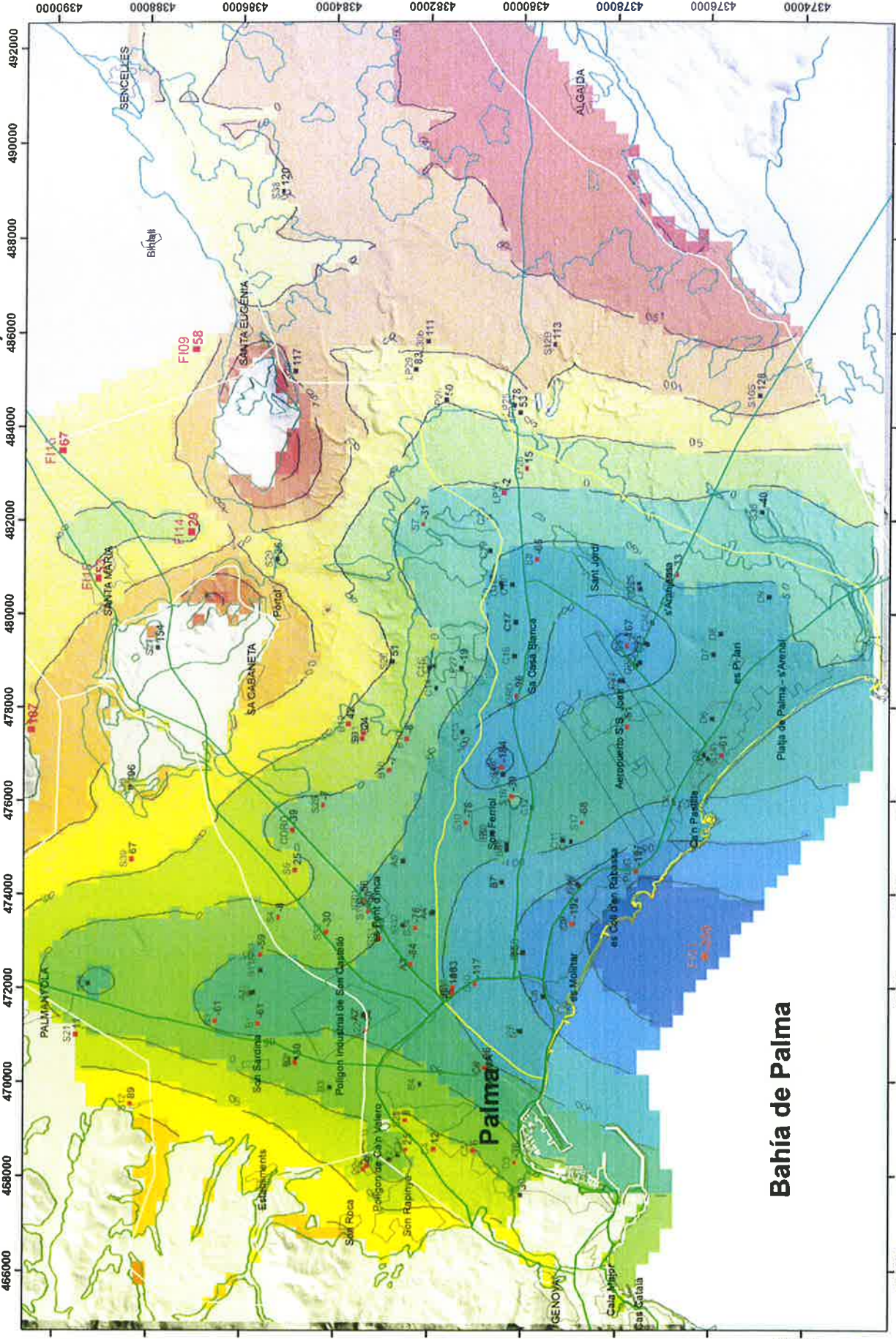
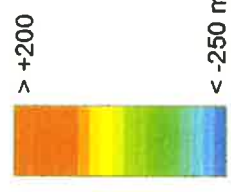


Muro del Acuífero Pliocuaternario (PL2+Q) (modificado de Courtois et al 2000b)

Leyenda

muro de PL2+Q

equidistancia de las curvas 50 m



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N





PARTE 4

EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA DEL ACUÍFERO PLIOCUATERNARIO DEL PLA DE SANT JORDI (1814M2) PARA EL ESTUDIO DE LAS INUNDACIONES DEL PLA

José M^a López García

Pedro A. Robledo Ardila

José L. Cantón Ávila

Esperanza Palmer Gómez

1- ANTECEDENTES.....	3
2- METODOLOGÍA.....	5
3- BASE DE DATOS SEIDON.....	6
4- CORRECCIONES.....	7
5- MAPAS DE PIEZOMETRÍA.....	11
6- GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DEL NIVEL FREÁTICO.....	17
7. MAPAS DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO.....	25
8- MAPAS DE TENDENCIA.....	33
9- ENSAYO DE BOMBEO EN S'HORT DE S'UYAL (ULLAL DE SON MIR).....	35
10- CONCLUSIONES.....	35
11. REFERENCIAS.....	36

ANEXO 1 A. MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA. Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015.

ANEXO 1 B. MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA. Año hidrológico 1985-1986.

ANEXO 2 A. GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE COTA Y PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO (TENDENCIA 30 AÑOS)

ANEXO 2 B. GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE COTA Y PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO (TENDENCIA 47 AÑOS)

ANEXO 3 A. MAPAS DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015.

ANEXO 3 B. MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO. Año hidrológico 1985-1986.

ANEXO 3 C. MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO Eventos de precipitación mensual acumulada > 150mm.

ANEXO 4. MAPAS DE TENDENCIA EVOLUTIVA DEL NIVEL FREÁTICO.

ANEXO 5. INFORME ENSAYO DE BOMBEO DEL ULLAL DE SON MIR

reconvertirlos en tierras de cultivo. El agua para el riego se obtenía del subsuelo mediante molinos de viento, los cuales aún hoy en día constituyen una de las estampas más típicas de la isla. Aunque su objetivo inicial fuera el riego agrícola, contribuyeron más notablemente al desecado del Pla que las propias acequias llevadas a cabo durante el siglo XIX tal y como recoge Rosselló en su trabajo.

En los años 60, la electrificación del sector supuso una mejora al introducirse grupos motobombas sumergibles, lo que motivó un aumento progresivo de las extracciones de agua. Los aún existentes vestigios de antiguas zonas anegadas aún descritos por Rosselló en 1969 fueron desapareciendo progresivamente quedando relegados hoy en día al humedal de Ses Fontanelles. El descenso del nivel freático dio lugar a un problema de salinización del acuífero por intrusión de agua marina con la consiguiente pérdida de calidad del agua necesaria para los cultivos. Ante esta situación el IRYDA decidió establecer un plan de reutilización de aguas residuales depuradas en el Pla de Sant Jordi. El Plan General de Transformación de la zona regable del Pla de Sant Jordi fue aprobado en 1977 (R.D. 2084/1977) definiéndose dos polígonos de actuación (figura 2). El primero de ellos entró en funcionamiento en 1978. El IGME llevó a cabo un seguimiento durante el periodo 1979-1980 (IGME 1980). Durante este periodo los mapas de isopiezas registraron un nivel freático próximo al nivel del mar en todo el área de riego y en el entorno del aeropuerto, concluyendo que no se apreciaban afecciones significativas en el nivel freático y sí una reducción de la concentración de cloruros en el agua, recomendándose la ampliación del plan.



Figura 2. Polígonos de riego con agua residual depurada en el Pla de Sant Jordi.

Durante los años siguientes, entre 1983 y 1990, se continuó con el riego si bien se registró un paulatino descenso de la demanda debido al abandono progresivo de la actividad agraria por el escaso rendimiento económico.

La puesta en marcha de esta ampliación al Sector II tuvo lugar en 1994. Previamente el Servicio Geológico de Obras Públicas estableció una red de control en el acuífero pliocuaternario para establecer las condiciones de partida del acuífero y estudiar la

incidencia real de la reutilización de las aguas residuales depuradas (SGOP 1991). Los resultados preliminares sitúan el nivel freático a -1,5 m al norte del aeropuerto y cotas que superan los -2 m al norte de la localidad de Sant Jordi. Posteriormente el IGME ha realizado algunos trabajos de seguimiento de la evolución piezométrica y de calidad del agua en el acuífero pliocuaternario a partir de los datos obtenidos de estas redes de control (Mateos et al. 1999; Mateos et al. 2001; Mateos et al. 2003; López-García 2003). Entre las conclusiones destacan como efectos positivos la reducción de la intrusión marina y como efecto “particular” el incremento medio de hasta 1,17 m en el nivel freático lo que reduce el riesgo de intrusión marina pero favorece “un incremento en los episodios de inundación” (López-García, 2003).

Posteriormente, el IGME ha llevado a cabo un seguimiento y actualización de la evolución del nivel freático empleando esta vez los datos conjuntos procedentes de las redes piezométricas más amplias de la Dirección General de Recursos Hídricos del Govern Balear (DGRH) y del propio IGME para el periodo 1968-2008, que se engloba dentro del informe inédito de Caracterización Hidrogeológica del Acuífero de la Playa de Palma (IGME 2012). Este informe ya hace constar la fuerte presión inicial a la que se encontraba sometido el acuífero durante los años 70 debido al fuerte bombeo para el uso agrícola del agua. Esto daba lugar a zonas extensas con el nivel freático hasta 2,5 m por debajo de la cota del nivel del mar induciendo la penetración de agua marina en el acuífero. También se hace eco de la evolución continuada de ascenso de niveles durante la década de los 90 como consecuencia de la puesta en marcha de la nueva fase de riego con aguas residuales depuradas, lo que induce a importantes retornos de riego y sobre todo un abandono de la explotación del acuífero, lo que lleva a la casi total desaparición de los valores de cotas negativas en el nivel freático del acuífero.

2. Metodología

Se ha realizado, dentro del presente proyecto, un análisis de la evolución histórica y reciente de la piezometría del acuífero correspondiente a la masa de agua subterránea del Pla de Sant Jordi.

Para el estudio se ha procedido a seleccionar una red de puntos de control piezométrico basándose en las redes de control piezométrico de la Direcció General de Recursos Hídricos del Govern Balear (DGRH) y del propio IGME. Toda la información, tanto de inventario como de niveles piezométricos, se ha incorporado a una base de datos específica para el presente proyecto.

Los datos incorporados han sido posteriormente tratados para corregir las anomalías detectadas en el registro de niveles y en las coordenadas de situación y cotas de referencia para el cálculo de nivel y profundidad de nivel.

Con los datos filtrados y corregidos se ha procedido a pasar la información a un sistema de información geográfica (SIG) para el tratamiento espacial y temporal de la información. A partir del SIG se han generado mapas de situación de la red de control empleada en el proyecto y los mapas mensuales de situación de la superficie piezométrica durante el año hidrológico 2013-2014 y 2014-2015 hasta el cierre del proyecto.

A través del SIG se han realizado los gráficos históricos de evolución piezométrica, tanto de cota de nivel como de profundidad de nivel, de la totalidad de los puntos de observación, enfrentados con la evolución de las precipitaciones mensuales. El análisis

de los gráficos de evolución piezométrica y de precipitaciones ha permitido constatar la presencia generalizada de unos valores máximos de profundidad piezométrica a mediados de los años 80, que coincide con un periodo de varios años consecutivos de precipitaciones mínimas. Para reflejar ese periodo se han realizado mapas de cota y profundidad piezométrica para dicho periodo. Igualmente, se han realizado los mapas correspondientes a los 10 eventos de precipitaciones máximas mensuales registrados en la serie histórica. El objetivo es comparar la situación del nivel piezométrico del acuífero en la situación actual frente a una situación de mínimas precipitaciones y a eventos particulares de precipitaciones máximas.

Finalmente se ha realizado un análisis de tendencias en la variación del nivel piezométrico a lo largo de todo el registro histórico de datos y durante los últimos 30 años, coincidentes con la evolución desde los niveles de máxima profundidad del nivel registrados a mediados de los años 80. El resultado se recoge de manera espacial en los mapas de tendencia elaborados.

Por último, se ha realizado una evaluación de la evolución histórica y la situación actual en base al conjunto de datos obtenidos.

3. Base de datos Poseidón

Para el estudio de la evolución piezométrica se ha realizado una base de datos específica para el proyecto, creada a partir de la base de datos de la DGRH fundamentalmente, ya que cuenta con un registro espacial y temporal más extenso e ininterrumpido en el área del Pla de Sant Jordi. A partir de la base de datos disponible en su página web (CITAR) se ha generado una nueva base de datos específica para el proyecto POSEIDON, incorporando las tablas de inventario de los puntos seleccionados para la red de control del proyecto y los niveles freáticos, tanto históricos como los medidos específicamente durante la duración del proyecto.

La tabla de inventario ha sido proyectada en un SIG para seleccionar los puntos de control piezométrico ubicados dentro de la masa de agua subterránea 1814M2 Pla de Sant Jordi. Se han añadido inicialmente todos los puntos que rodean a la masa en al menos 1 km fuera del perímetro de la misma. La mayoría de los puntos de control corresponden a piezómetros de control y sondeos de investigación realizados a finales de los años 60 y comienzos de los 70 durante la elaboración del Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de Baleares (CITAR). Por lo tanto, se cuenta con el registro de columnas de sondeos y detalles de la realización de los piezómetros, lo que ha permitido determinar el acuífero explotado por cada uno de ellos. Cuando esta caracterización no ha sido posible, generalmente en los escasos sondeos de propiedad particular que forman parte de la red de control, se ha realizado un control de la profundidad de la perforación y de la situación del nivel piezométrico para determinar el acuífero explotado. Tras el análisis, se han incluido en la red únicamente aquellos puntos que aseguran el control del conjunto acuífero pliocuaternario. En total, la red ha quedado formada por 67 puntos de control. Su situación y una tabla resumen con los principales datos identificativos se recoge en el mapa Red de control piezométrico del Pla de Sant Jordi (18.14M2) que se encuentra en el Anexo 1. Este conjunto de datos se ha incluido en la tabla RED_POSEIDON de la base de datos del proyecto y se han incorporado a la base de datos de aguas del IGME.

La situación de los puntos de control ha sido corregida en campo con GPS o mediante ortofotografía para eliminar algunos errores puntuales de situación.

4. Correcciones

Para el control clásico de fluctuación de los niveles de un acuífero, en la mayoría de los casos, es suficiente el control de la profundidad del nivel con respecto a un punto de referencia fijo. Para el caso concreto que nos ocupa, donde se pretende identificar un posible proceso de inundación relacionado con el afloramiento del nivel freático en zonas de topografía llana y muy próxima a la cota cero, es necesaria una mayor precisión. El sistema de control actual carece en parte de dicha precisión lo que obliga a efectuar una serie de correcciones, sujetas a su vez a nuevos errores. Si bien para el control de la superficie piezométrica es suficiente con contar con un nivel de referencia para las medidas de nivel correctamente nivelado, para el cálculo de profundidades de nivel es fundamental controlar en detalle la diferencia entre la altura de referencia empleada, generalmente la tapa de un piezómetro o el borde del tubo piezométrico, y la altura media del terreno inundable en las inmediaciones del punto de medida. El sistema tradicional permite un control correcto de la altura de la lámina de agua respecto al nivel del mar, pero para la realización de mapas de profundidad del nivel es necesario un control lo más preciso posible de la altura del terreno, del punto de referencia y del nivel medido con respecto a este último punto de referencia. Generalmente será necesario restar al nivel medido la altura de la arqueta sobre el terreno para obtener un nivel corregido de profundidad con respecto a la superficie del terreno. En este caso el sistema se vuelve muy sensible a las diferencias que haya por factores que desgraciadamente se producen con frecuencia (fundamentalmente porque no suele ser relevante mayor precisión en otras áreas), como son el empleo de diferentes puntos de referencia (borde de tubo, tapa de piezómetro, marcas de pintura, etc.) de las cuales sólo una, en el mejor de los casos, está convenientemente nivelada.

Igualmente es de gran importancia tener un control estricto de los cambios que a lo largo de la historia de un piezómetro han sufrido estos puntos de referencia, especialmente en series de largo recorrido temporal como las que nos ocupan, con más de 40 años de seguimiento, a lo largo de las cuales se han sucedido diferentes personas encargadas de la toma de datos, diferentes sistemas y la diferente gestión de los mismos datos. Muchas veces, los cambios de altura de los sistemas de referencia implican correcciones tediosas que no se llevan a cabo en el momento sobre las redes de control y quedan como anotaciones pendientes de realización. Esas anotaciones se convierte en una herramienta fundamental y un análisis detallado de las mismas se hace imprescindible en estos casos para poder llevar a cabo una corrección adecuada de los registros. En otras ocasiones, el análisis de la evolución de las series de datos permite detectar anomalías en forma de desplazamientos anómalos localizados en un punto temporal concreto de la serie, lo que indica con gran probabilidad un posible cambio en el punto de referencia empleado para el control piezométrico. En estos casos el análisis detallado permitirá determinar si es posible efectuar una corrección estimada que permita la reconstrucción de toda la serie histórica a un único sistema de referencia.

En el caso que nos ocupa, se ha realizado un análisis exhaustivo de los niveles históricos de las redes de control, efectuándose correcciones significativas en las series históricas de al menos siete de los puntos que forman la red de control, los más relevantes por la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno. En su mayoría

obedecen a cambios en los niveles de referencia debidos a reparaciones en las arquetas, o a elevaciones de éstas últimas para aumentar su visibilidad en campo en una zona de topografía prácticamente llana.

Otros casos más complicados de identificar corresponden a las variaciones en la estimación de la cota topográfica del punto de referencia, sin que este último sufra ninguna variación física en su posición y su altura (una mera corrección por una precisión más adecuada del GPS o del mapa topográfico de referencia). En este caso si las correcciones a los registros antiguos no se efectúan y la nueva cota sustituye a la antigua sin que quede constancia de la anterior, la recuperación de la serie resultará casi imposible de realizar, salvo por un notable decalaje nuevamente en la gráfica de evolución temporal, que se convierte así en la mejor herramienta para detectar anomalías en nuestra red de control (figuras 3 y 4).

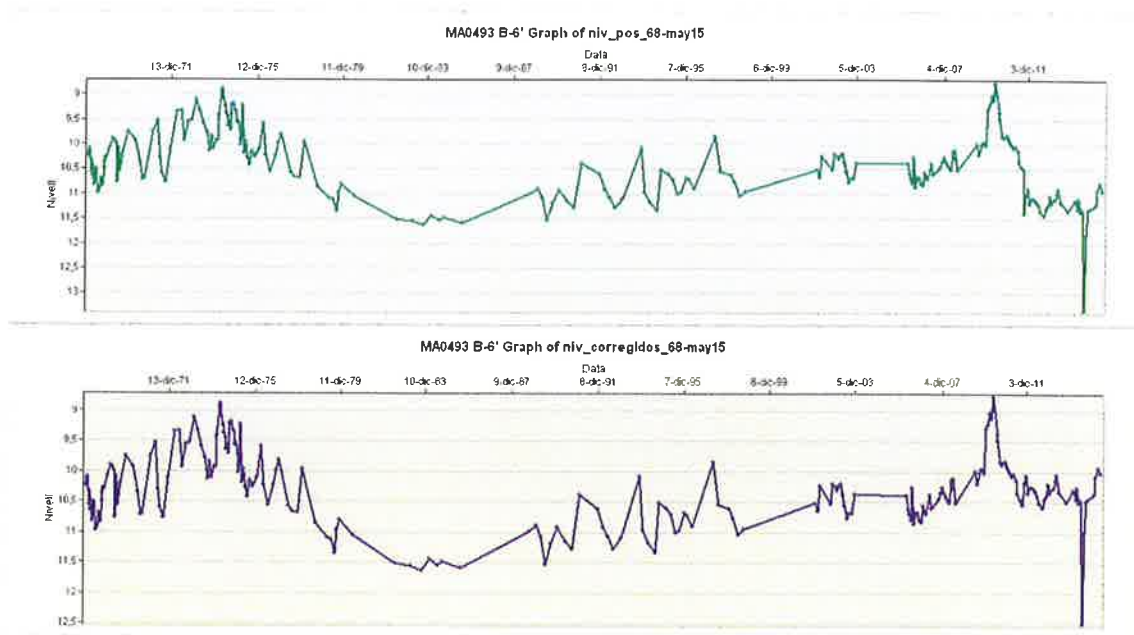


Figura 3. Ejemplo de gráfico de evolución de niveles del piezómetro B-6' antes y después de aplicar la corrección por variación de la altura de las arquetas en noviembre de 2011.

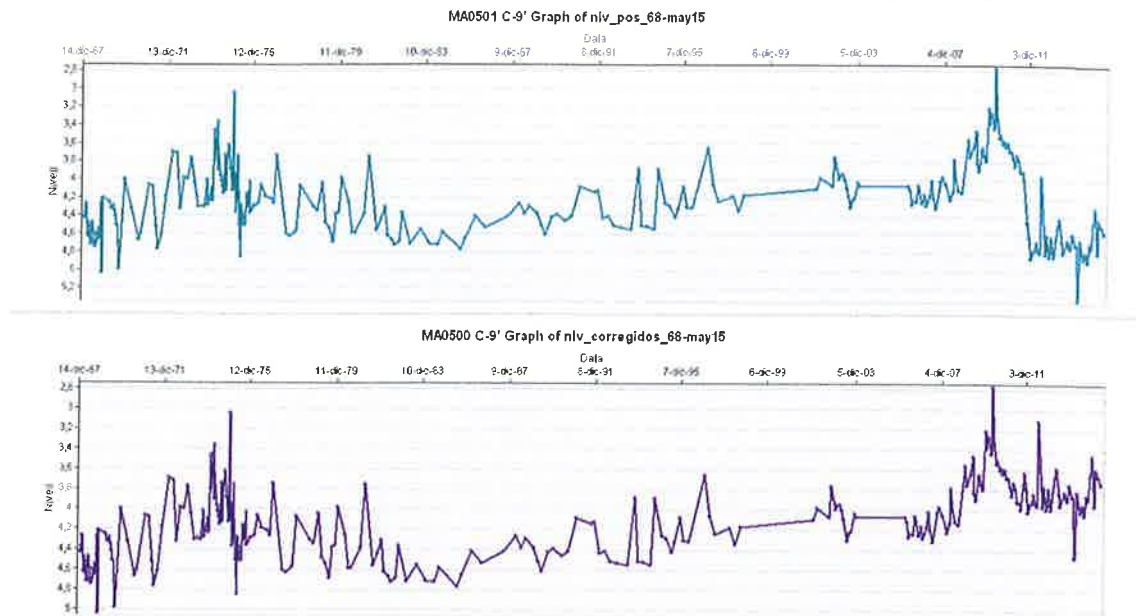


Figura 4. Ejemplo de gráfico de evolución de niveles del piezómetro C-9' antes y después de aplicar la corrección por variación de la altura de las arquetas en noviembre de 2011.

En ocasiones ha sido necesario recurrir a la comparativa de dos series temporales próximas para poder detectar anomalías en una de ellas (siempre partiendo del supuesto de que la contraria no ha sufrido modificaciones en su sistema de referencia). Este es el caso de la reconstrucción de la serie de 22' a partir de 22, donde comparando las diferencias de cota entre ambos piezómetros respecto al tiempo permiten identificar una serie de escalones que marcan los momentos en los cuales se han producido cambios en el sistema de referencia de uno de los dos piezómetros (figura 5).

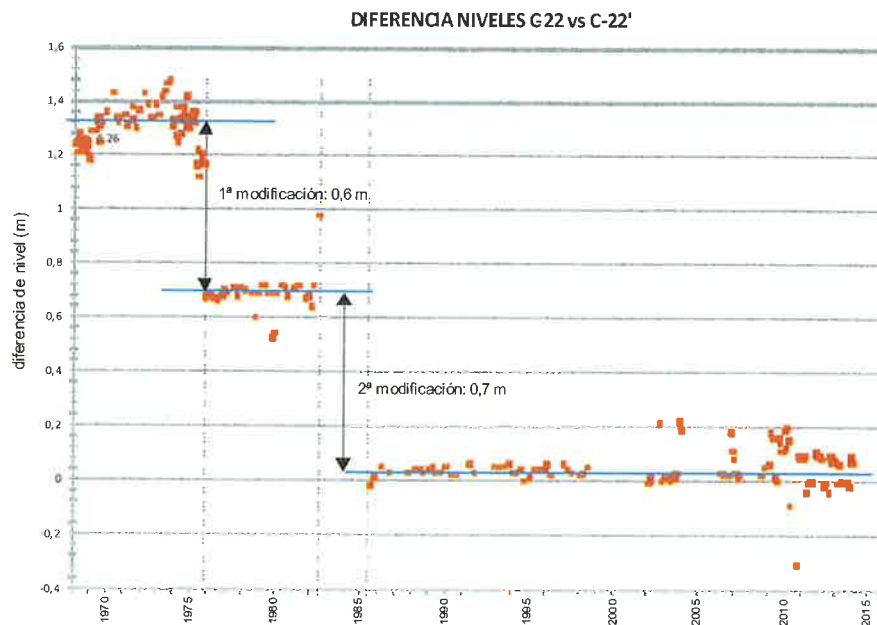


Figura 5. Variación de la diferencia entre los niveles del piezómetro doble C-22/C-22'

Existían anotaciones en los datos de inventario originales de la DGRH que apuntaban a cambios en la cota de algunas arquetas y puntos de referencia para la toma de datos, que estaban pendientes de corrección. Se han verificado cada uno de ellos, descartando aquellas modificaciones cuya variación es poco significativa, especialmente en puntos con niveles piezométricos profundos, ya que la corrección no supondría una variación relevante. En total se ha modificado la cota de referencia en 7 puntos de control sensibles a dicha modificación de nivel de referencia. Los puntos modificados y las observaciones quedan recogidas en la tabla 1.

ID_UNIC	IDENTIFICA CIO	COTA (m)	Z_corregida (m)	CALCOTA_POSEIDON	mesura_nivell
MA0493	B-6' esbucaments Can Ribes	12,09	11,24	restados 84 cm de altura de la arqueta. Nivellada amb GPS	2011 sondistes: canvi arqueta i tub per a visibilitat, COTA HA CANVIAT 84,5cm, CANVIAR EN BD NIVELLS!
MA0501	C-9' entrada Molí Son Juny Coll den Rabassa (camí)		4,73	5,58 de MDT_AENA menos 0,85 de arqueta	09/2011 sondistes, canvi arqueta i tub per a visibilitat, CANVI COTA: 84,5cm, CANVIAR EN BD NIVELLS!
MA0514	C-18' So n'Aixaló / Es Rafal enfora	5,71	5,03	5,706 de punts_anivellats.xlsx menos 0,68 de altura arqueta	2011 sondistes, canvi arqueta amb tub per visibilitat, CANVI COTA DE 67,5cm, OJO canviar en Bdnivells
MA0518	C-22 Bencinera S'Aranjassa camí	2,75	1,25	2,745 de punts_anivellats.xlsx menos 1,5 altura a terreno.	
MA0519	C-22' Bencinera S'Aranjassa torrent	2,59	1,09	2,594 de punts_anivellats.xlsx menos 1,5 de altura a terreno.	
MA0550	C-18 So n'Aixaló / Es Rafal llocs	6,06	5,18	6,056 de punts_anivellats.xlsx menos 0,88 altura arqueta	2011 sondistes, canvi arqueta amb tub per visibilitat, CANVI COTA DE 87,5cm, OJO canviar en Bdnivells
MA0551	C-23' Son Canals safareig	2,03	1,68	2,025 de punts_anivellats.xlsx menos 0,35 de altura arqueta	marca groga, sobre arqueta / abans den Pere se mesurava a boca de tub (35cm aprox per davall)

Tabla 1. Relación de puntos de la RED_POSEIDON con indicación de la procedencia del valor de cota asignado y correcciones efectuadas al mismo.

También se ha procedido a revisar y corregir las cotas de referencia empleadas para medir los niveles y los propios niveles., generando un campo Z_corregida que incorpora la cota topográfica empleada para la elaboración de los mapas y gráficos de evolución en el presente proyecto. Se ha añadido un campo CALCOTA_POSEIDON que recoge las observaciones acerca del origen de la información y de las correcciones aplicadas. El campo COTA mantiene los datos originales de cota procedentes de la base de datos de la DGRH. Se han considerado únicamente las cotas originales cuando proceden de nivelaciones topográficas efectuadas por la DGRH (punts_anivellats) o por el MOPU. El resto, o no existían, o estaban obtenidas a partir de estimaciones sacadas de diferentes mapas topográficos. En estos casos se ha procedido a tomar como referencia la cota extraída mediante SIG del modelo digital del terreno cedido por la autoridad aeroportuaria AENA.

Debe tenerse en cuenta que todo este proceso conlleva errores difícilmente subsanables en el estado actual de control de datos. La altura habitual de las arquetas y los tubos sobre el terreno es variable, pero fluctúa habitualmente dentro del intervalo ± 30 cm. La diferencia de cotas niveladas y las obtenidas con el MDT pueden llegar a superar ocasionalmente $\pm 1,5$ m. Variaciones en las marcas de referencia a lo largo del registro histórico, cambio de vigilantes, sondas, etc., contribuyen a mantener un rango de

variación difícil de cuantificar, pero que tras las correcciones efectuadas suponemos inferior a 0,5 m en los puntos que registran el nivel freático más próximo a la superficie del terreno. Ese margen de 0,5 m se ha considerado como margen de alerta (color rojo) para la generación de mapas de profundidad de nivel, siendo indicativo de la posible presencia del nivel freático en la superficie del terreno.

La tabla NIVELLS_POSEIDON de la base de datos POSEIDON contiene los registros de niveles históricos de los puntos correspondientes a la red Poseidón. Heredada de la tabla de datos de nivel de la DGRH con datos públicos hasta diciembre de 2012, ha sido actualizada con los datos mensuales proporcionados por la DGRH hasta el mes de junio de 2015, así como con los datos tomados en campo por el IGME en una selección de 21 puntos de control que forman una subred para medidas adicionales de carácter semanal o diario en función de las precipitaciones. En total cuenta con 15.166 registros de nivel que abarcan desde el año 1968 hasta el mes de junio de 2015. La tabla contiene los datos de nivel ahora ya corregidos, eliminando aquellos valores anómalos detectados a partir de los gráficos de evolución de cada punto, así como las correcciones efectuadas en los siete puntos que han sufrido modificaciones en la cota de las arquetas. Se han corregido un total de 1040 registros. Todos los cambios han sido convenientemente anotados en el campo "Observaciones".

Finalmente se ha generado una consulta que fusiona los datos de niveles e inventario, generándose un nuevo campo calculado con la cota de nivel freático. Esta consulta es la que finalmente se exporta para ser incorporada como la tabla de entrada de datos principal para generar los mapas y gráficos de evolución desde la aplicación SIG.

5. Mapas de pizometría

Como punto de partida para el estudio de la evolución piezométrica se ha procedido a generar los mapas de isopiezas del nivel freático del acuífero pliocuaternario del Pla de Sant Jordi. Inicialmente se han generado los mapas piezométricos correspondientes al último año hidrológico completo, correspondiente a 2013-2014, con el fin de tener una visión lo más actualizada posible de las variaciones mensuales de la superficie piezométrica. La serie se ha completado mensualmente hasta abril del año hidrológico 2014-2015.

Para la comparación mensual de los distintos mapas piezométricos debe tenerse en cuenta que no todos los meses han contado con el mismo número de puntos de control, lo que puede dar lugar a la presencia de algunas anomalías puntuales que correspondan realmente a la presencia-ausencia de información de un punto concreto en un mes determinado. Todos los mapas representan puntualmente el dato original de cota de nivel en cada punto de control, de manera que un punto de control en el mapa sin dato numérico adjunto indica la ausencia de control del mismo durante el mes considerado en el mapa. Todos los mapas de los años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015 se recogen en el anexo 1 A.

La visión del conjunto de estos mapas permiten obtener una visión de la situación actual de la superficie freática del acuífero con respecto al nivel del mar. Todos los niveles registrados presentan una cota positiva, exceptuando algunos datos puntuales que corresponden a bombeos que se registran ocasionalmente al este de la localidad de Sant Jordi (MA0503) e inmediatamente al oeste de la balsa de riego (MA0445) o cerca de la costa en las inmediaciones de El Molinar. Los valores máximos se registran rodeando el

contorno de la masa de agua, correspondiendo a valores en torno a +3 m en los extremos este, norte-noreste y oeste de la masa. Los valores mínimos, exceptuando bombeos, se sitúan en el sector comprendido entre Es Pil-larí, Polígono de Son Oms y Can Pastilla, rodeando la zona de descarga del humedal de Ses Fontanelles, donde se registran valores inferiores a los +0,5 m.

Se han realizado mapas de piezometría de algunos meses comprendidos entre 1985-1986, hace treinta años, periodo en el cual los gráficos de evolución y la bibliografía consultada referencian los niveles mínimos del acuífero. En estos mapas, incluidos en el Anexo 1 B, los niveles por debajo de la cota cero se han registrado en tonos rojos. La comparación entre la situación hace treinta años y la actual es muy significativa de la evolución de la superficie piezométrica (figuras 6, 7, 8 y 9).

Los niveles en el año 1985 se encontraban en casi las tres cuartas partes de la masa del Pla de Sant Jordi por debajo del nivel del mar. Únicamente el tercio occidental, próximo a la localidad de Palma, permanecía por encima de esta cota.

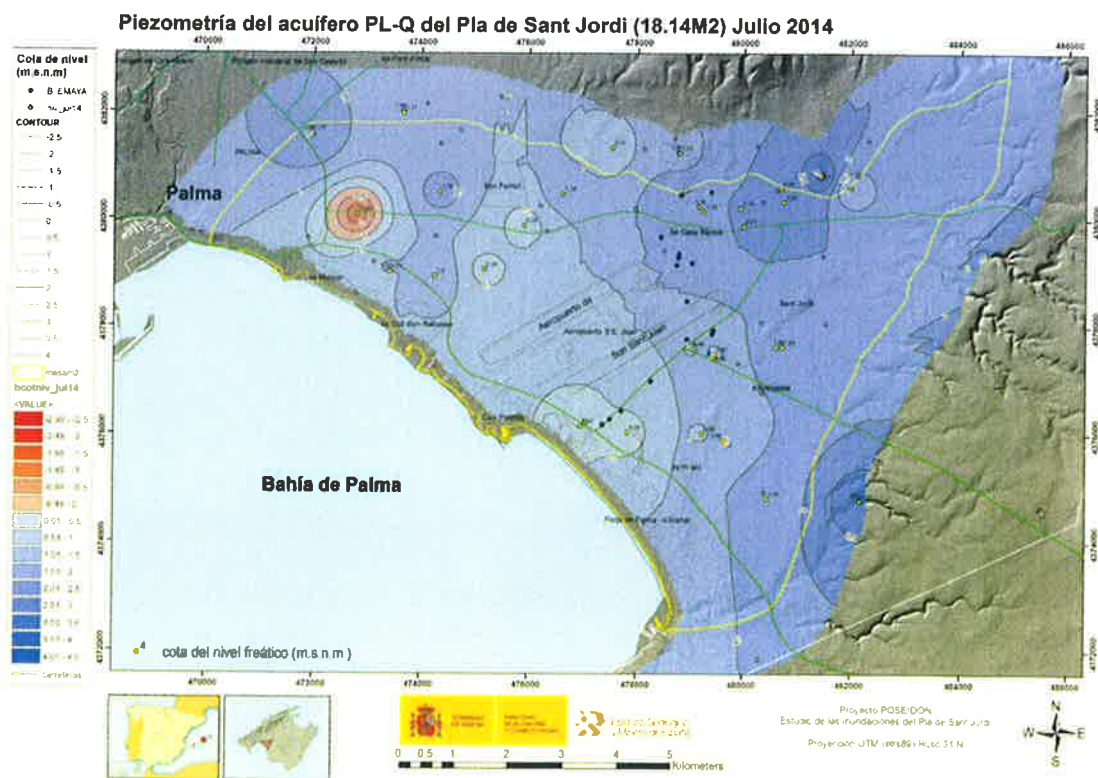
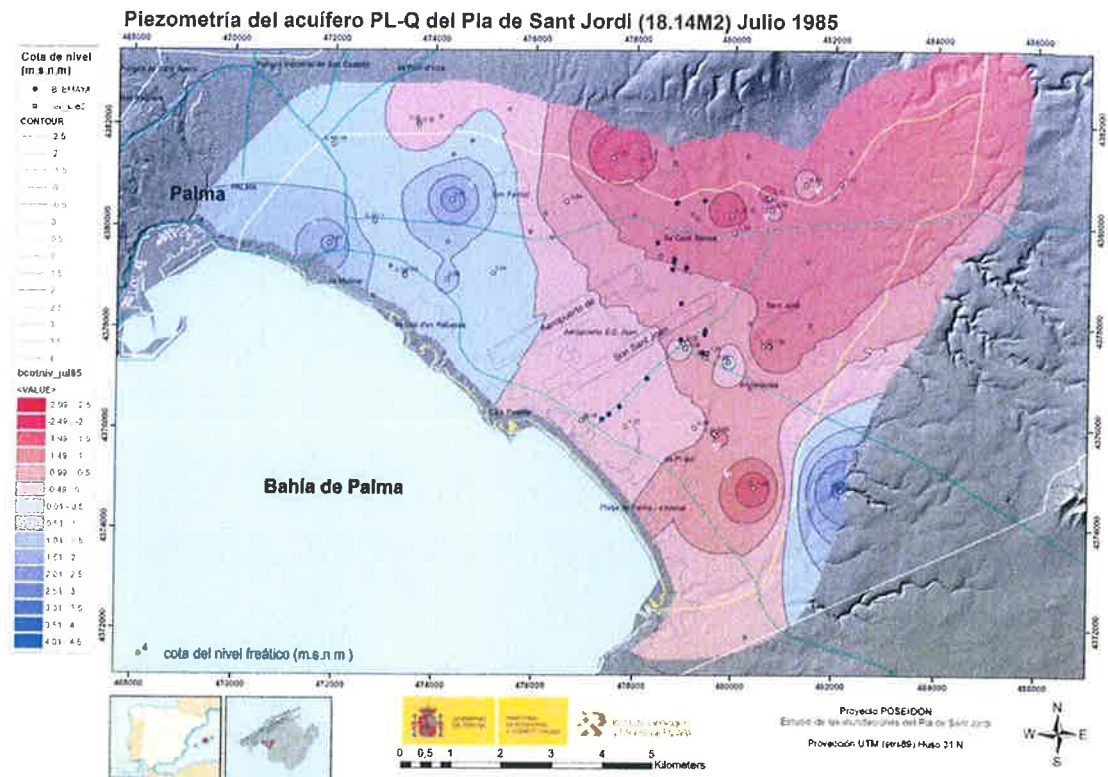


Figura 6. Comparativa de la situación piezométrica durante los meses de julio de 1985 (años de mínimos piezométricos en la serie de registros históricos) y julio de 2014. En rojo los valores de cota piezométrica negativa (por debajo del nivel del mar).

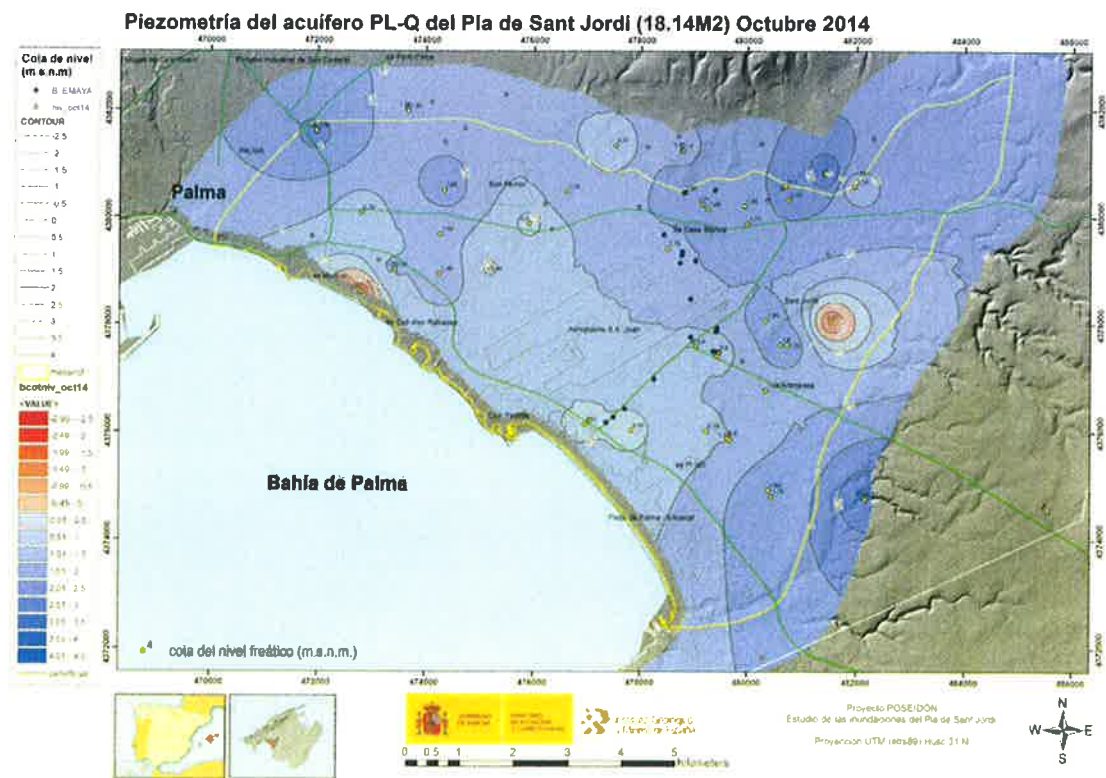
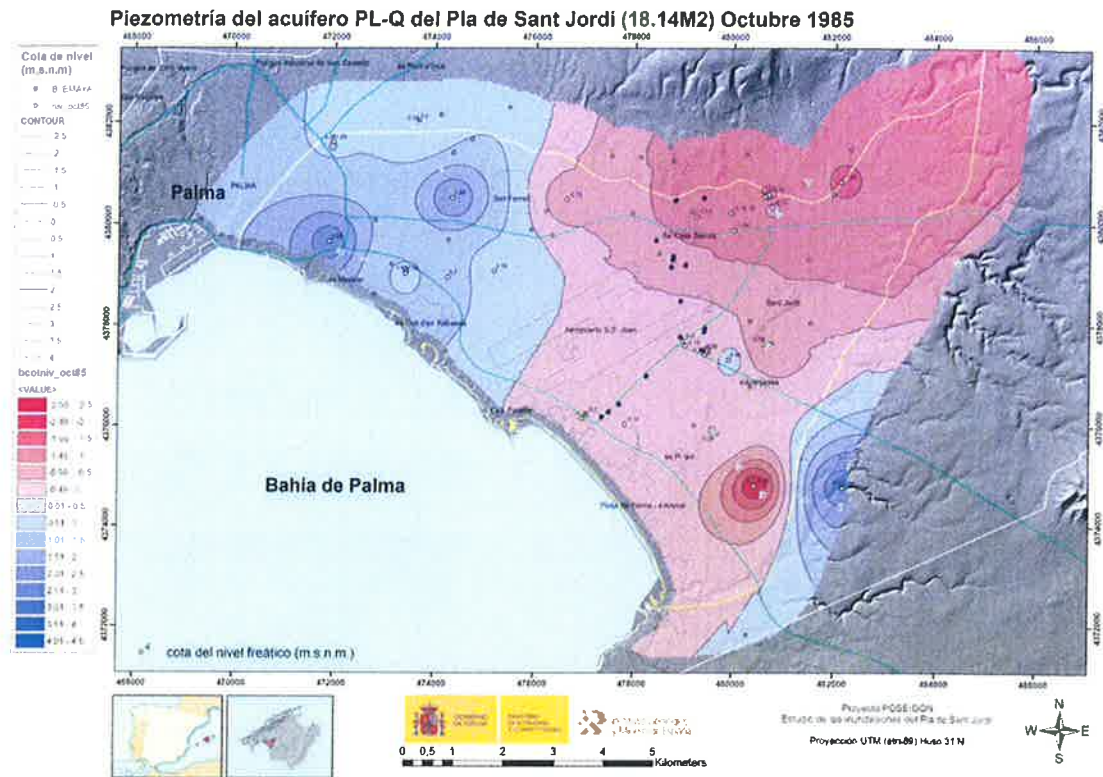


Figura 7. Comparativa de la situación piezométrica durante los meses de octubre de 1985 (años de mínimos piezométricos en la serie de registros históricos) y octubre de 2014. En rojo los valores de cota piezométrica negativa (por debajo del nivel del mar).

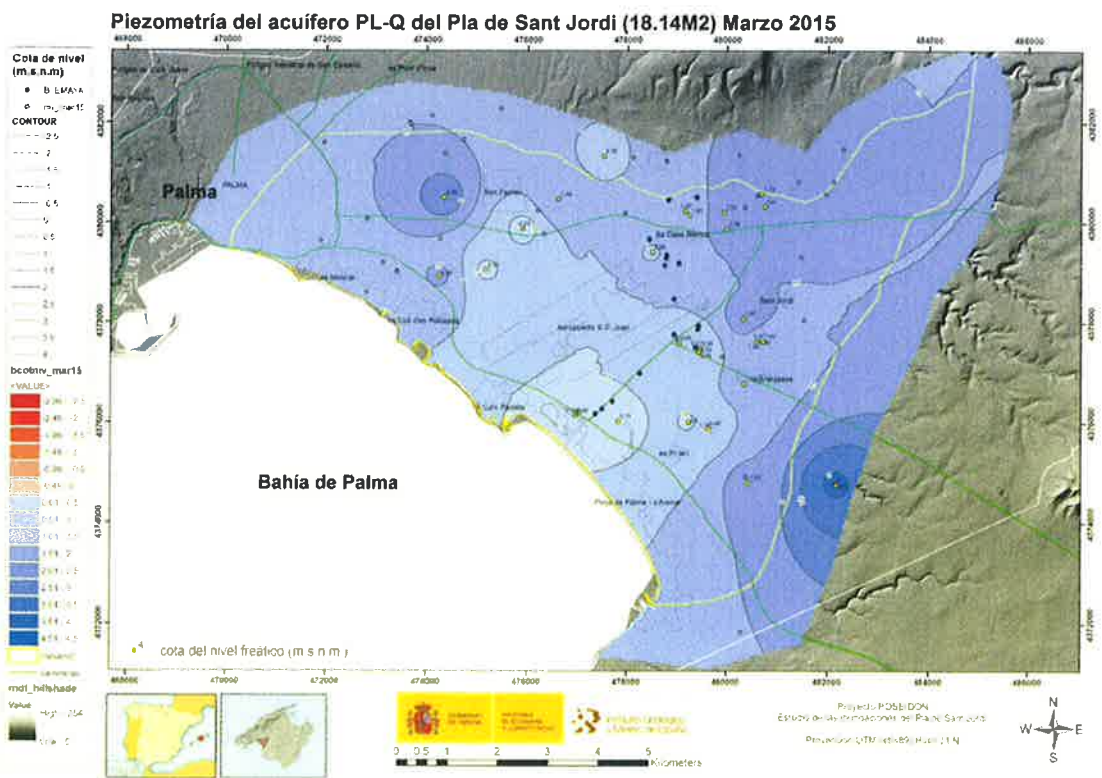
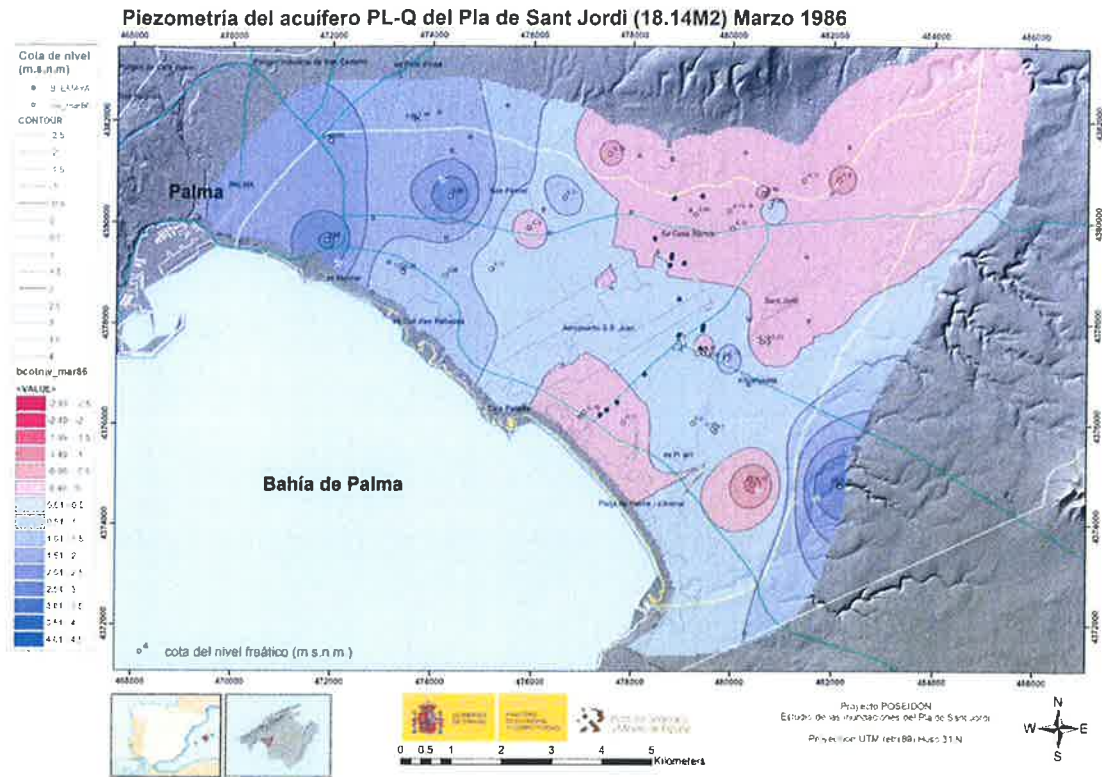


Figura 8. Comparativa de la situación piezométrica durante los meses de marzo de 1986 (año de inicio de la recuperación piezométrica en la serie de registros históricos) y marzo de 2015. En rojo los valores de cota piezométrica negativa (por debajo del nivel del mar).

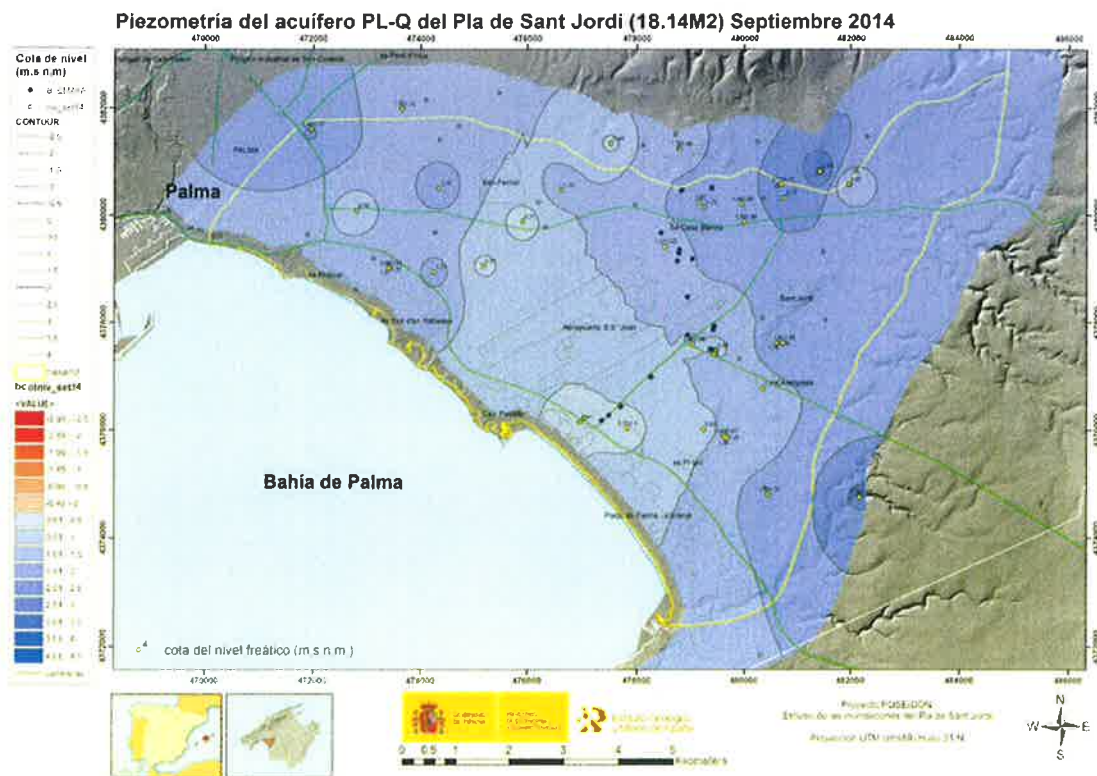
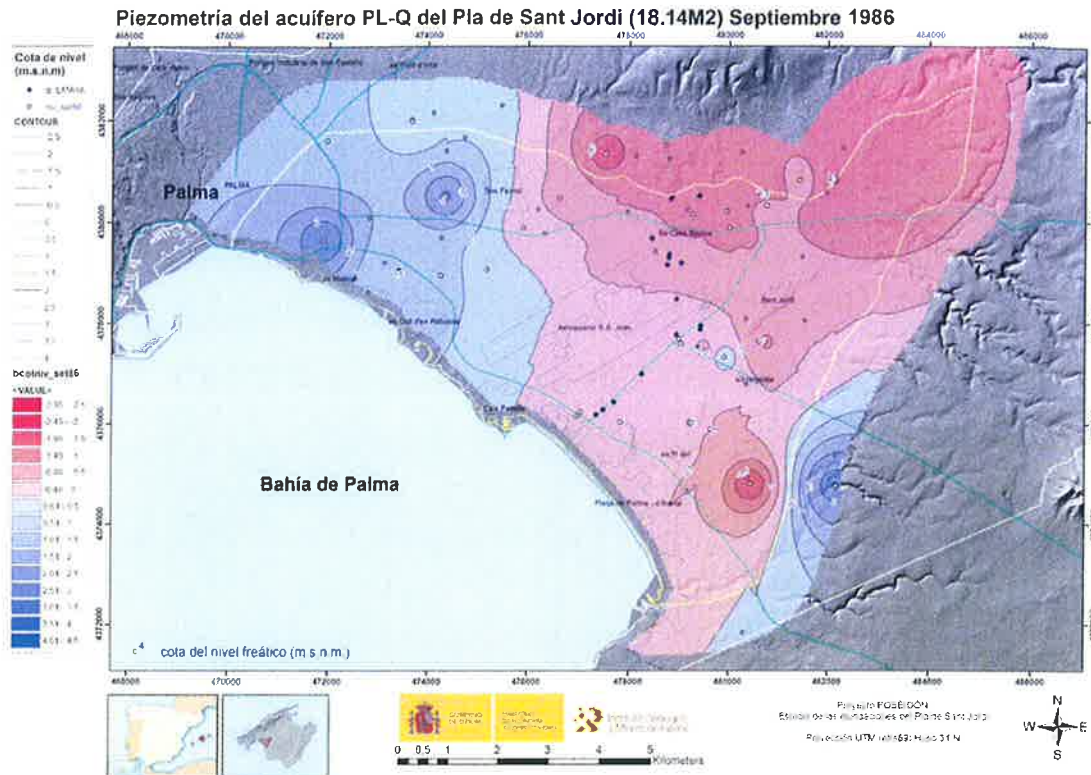


Figura 9. Comparativa de la situación piezométrica durante los meses de septiembre de 1986 (año de inicio de la recuperación piezométrica en la serie de registros históricos) y septiembre de 2014. En rojo los valores de cota piezométrica negativa (por debajo del nivel del mar).

6. Gráficos de evolución del nivel freático

Se han efectuado los gráficos de evolución histórica de niveles, tanto de la cota de nivel como de la profundidad del nivel, estos últimos a partir de los datos de profundidad de nivel corregidos a la superficie del terreno en los puntos con el nivel freático más próximo a ella (ver apartado de CORRECCIONES). Ambos gráficos, cota y profundidad de nivel freático, se han enfrentado al registro histórico de precipitaciones mensuales en la estación meteorológica B278 del aeropuerto de Son Sant Joan, representativa del área de estudio. Todos los gráficos, ordenados por parejas cota-profundidad de nivel, se recogen en el anexo 2.

Los gráficos de cota de nivel, con escala automática y variable para cada uno de ellos, permiten visualizar con detalle suficiente las fluctuaciones del nivel, lo que permite verificar la correlación entre máximos o mínimos de precipitación mensual y fluctuaciones significativas en el nivel freático del acuífero. Por su parte, los gráficos de profundidad de nivel presentan una escala vertical variable pero mostrando todos ellos el nivel cero, la superficie del terreno, en la parte superior del gráfico. Ello permite obtener una visión gráfica inmediata de la profundidad del nivel e identificar aquellos piezómetros cuyo nivel freático llega a aflorar o estar muy próximos a la superficie del terreno. A modo de ejemplo, la Figura 10 recoge la evolución del piezómetro C-20. Las fluctuaciones del nivel se reconocen con detalle en el gráfico de cota de nivel (gráfico superior en la figura), mientras que el gráfico de profundidad de nivel (gráfico inferior en la figura) muestra su lejanía a la superficie del terreno, al situarse el nivel entre los 19 y los 14 m de profundidad. De forma gráfica y rápida se percibe el riesgo nulo de que se produzca un afloramiento del nivel freático en el entorno inmediato de este piezómetro con las fluctuaciones estacionales del nivel freático.



Figura 10. Comparativa de la evolución de la cota de nivel y profundidad de nivel en el piezómetro C-20. En el primero se aprecian en detalle las fluctuaciones de nivel mientras que el segundo muestra la distancia a la superficie del terreno marcada por el límite superior del gráfico.

Por el contrario, los gráficos de la figura 11 muestran una situación opuesta. El gráfico de profundidad (gráfico inferior en la figura) es ahora muy significativo, marcando en numerosas ocasiones máximos que tocan la superficie del terreno, y estando el nivel del agua en los últimos años de forma persistente a menos de 0,5 m de la superficie del terreno, dentro del margen de alto riesgo considerado.

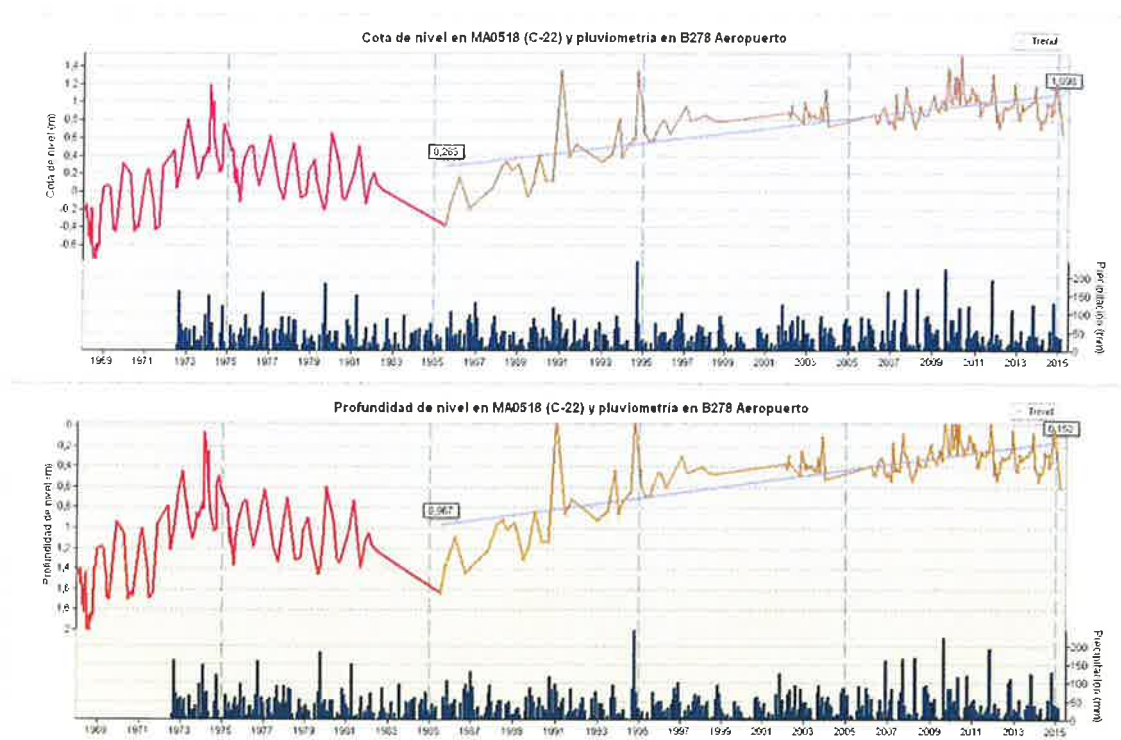


Figura 11. Comparativa de la evolución de la cota de nivel y profundidad de nivel en el piezómetro C-22.

Así, el análisis del conjunto de gráficos de evolución ha permitido registrar al menos 11 puntos en los cuales la profundidad del nivel se encuentra frecuentemente a menos de 1 m de la superficie del terreno en los últimos años. Los gráficos de profundidad de estos puntos se recogen en las figuras 12 a 22 y la situación de los mismos en la figura 23.



Figura 12. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0443 (situación en la figura 24).



Figura 13. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0508 (situación en la figura 24).

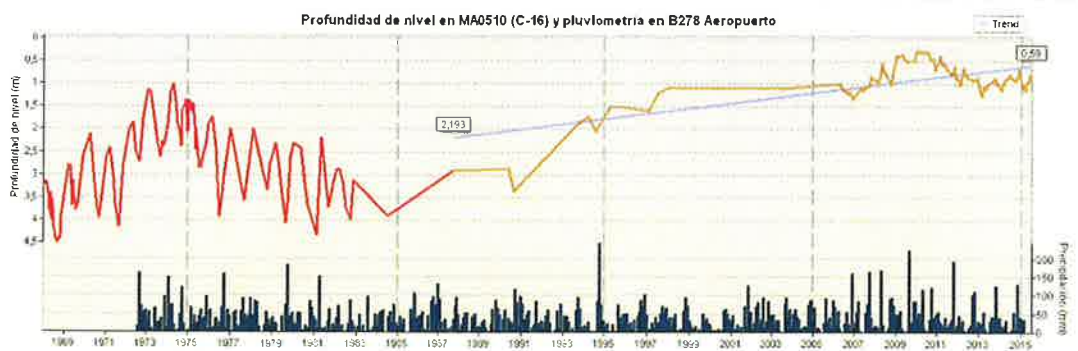


Figura 14. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0510 (situación en la figura 24).



Figura 15. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0511 (situación en la figura 24).



Figura 16. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0518 (situación en la figura 24).



Figura 17. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0519 (situación en la figura 24).



Figura 18. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0520 (situación en la figura 24).



Figura 19. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0521 (situación en la figura 24).

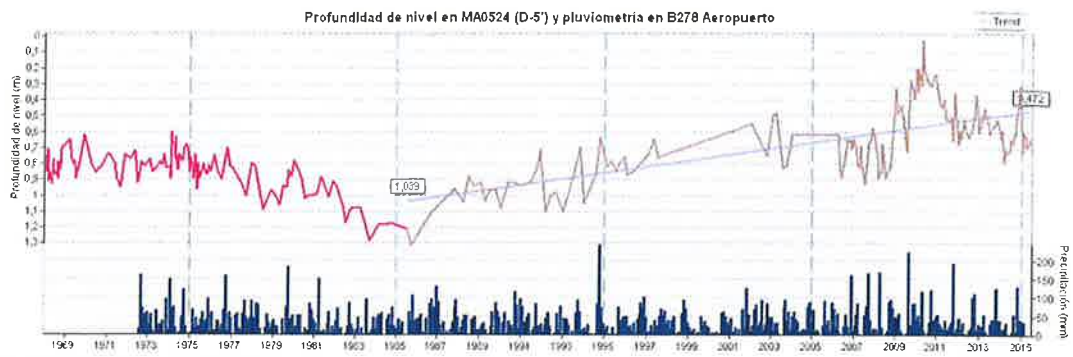


Figura 20. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0524 (situación en la figura 24).



Figura 21. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0525 (situación en la figura 24).

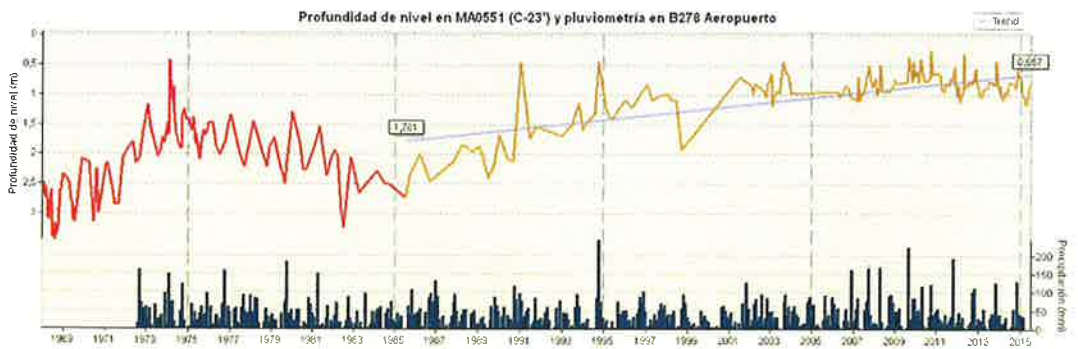


Figura 22. Gráfico de profundidad del nivel freático en el piezómetro MA0551 (situación en la figura 24).

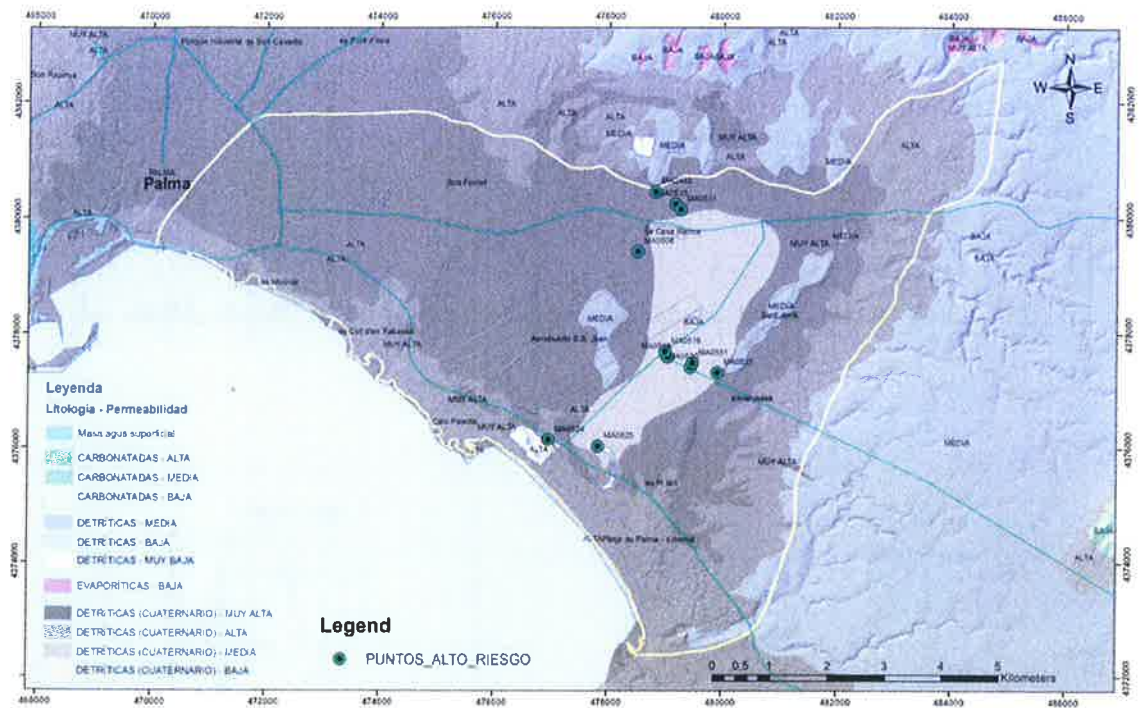


Figura 23. Situación de los piezómetros con nivel freático a menos de 0,5 m de la superficie del terreno.

El análisis de los gráficos también permite visualizar la relación existente entre las precipitaciones y la evolución del nivel freático. Tomando como ejemplo un detalle de los últimos 10 años en el punto MA0518 recogida en la figura 24, se puede observar como los máximos de precipitación mensual tienen un reflejo en la evolución de niveles generalmente bien marcado, que se refleja en los niveles piezométricos en el intervalo máximo de un mes (el control mensual de la red piezométrica no permite una mayor precisión) lo que indica que el acuífero responde a las precipitaciones dentro de ese intervalo temporal.

En detalle, considerando las precipitaciones diarias en el año hidrológico 2013-2014, se observa un buen ajuste de la curva de evolución del nivel freático, si bien la ausencia de control piezométrico a una escala temporal inferior a la mensual impide concretar con más precisión el tiempo de respuesta del acuífero.

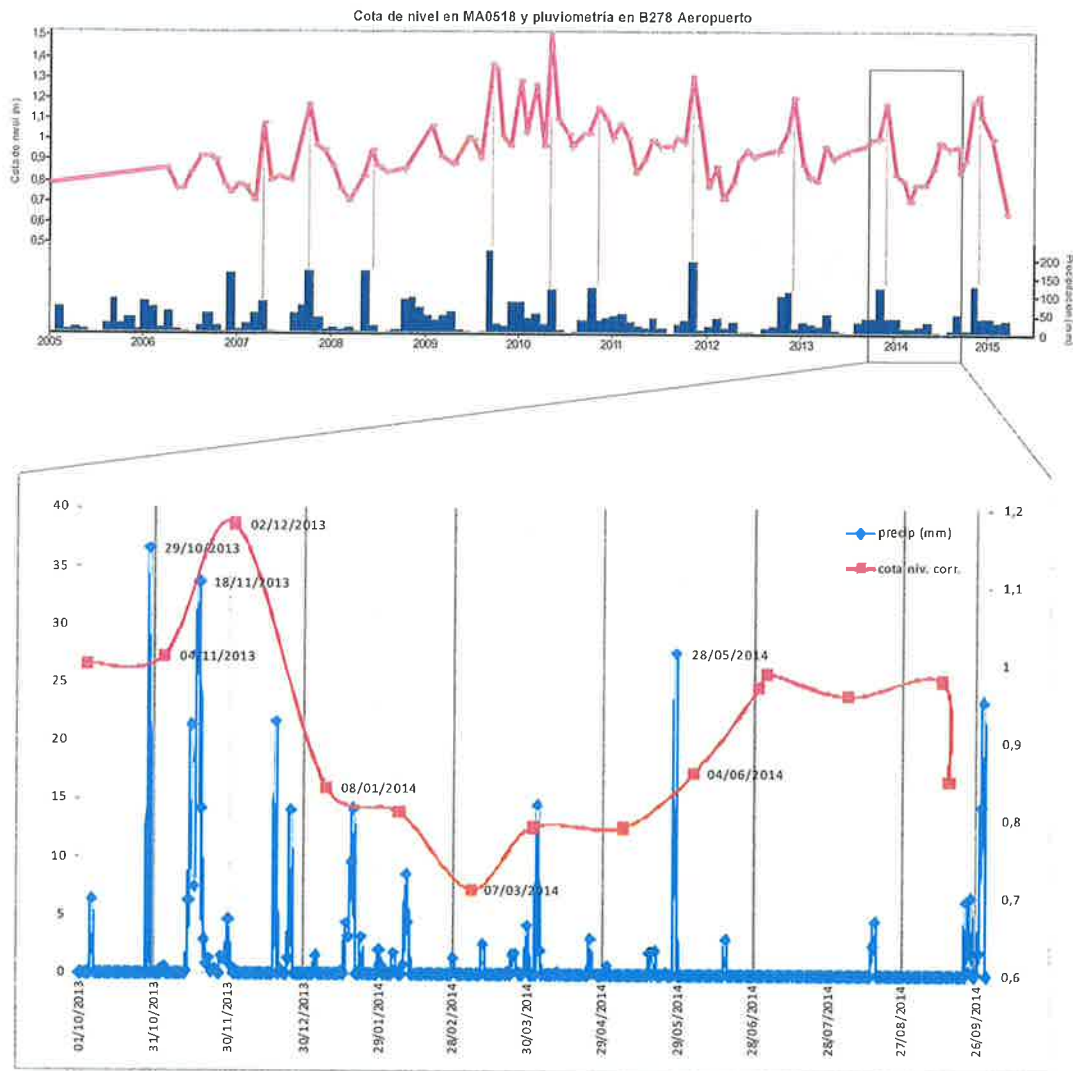


Figura 24. Respuesta del nivel piezométrico en el punto MA0518a las precipitaciones. Gráfico superior precipitaciones mensuales. Gráfico inferior precipitaciones diarias.

Durante la redacción del presente informe se ha producido un importante evento de precipitación, acaecido el día 4 de septiembre de 2015. Un evento tormentoso produjo una precipitación en el entorno de la localidad de Palma que no pudo ser recogido por la estación meteorológica del aeropuerto (la web que permite el acceso a la información no registro datos durante el evento) si bien las informaciones recogidas en páginas web de prensa y aficionados a la meteorología mencionan que se batió el record de intensidad de precipitación en 24 horas en la estación del puerto de Palma con 124,3 mm:

Estos son los datos máximos de precipitación del día 04/09/2015:

124,3 mm en el puerto de Palma- ¡¡RÉCORD ABSOLUTO!! fulminando el anterior récord de precipitación acumulada en 24 horas de 112,5 mm el 3 de mayo del 2010

- 84 mm Cala Mayor
- 75,6 mm Ciudad Jardín (Palma)
- 68,8 mm Muro
- 63,8 mm Pollença- Meteoclimatic
- 61,4 mm Manacor
- 55,8 mm Marratxí, Es Pont d'Inca
- 55,6 mm Pollença
- 50,6 mm Son Bugadelles, Santa Ponsa
- 50,2 mm Llubi

Los niveles registrados por los sensores instalados en el Ullal de Son Mir (MA0443) y el piezómetro C-16 (MA510) recogen perfectamente este importante evento de precipitación, respondiendo los niveles del acuífero a la infiltración en menos de 24 horas, tal y como puede verse en las figuras de registro de niveles de ambos sensores (figuras 25 y 26).

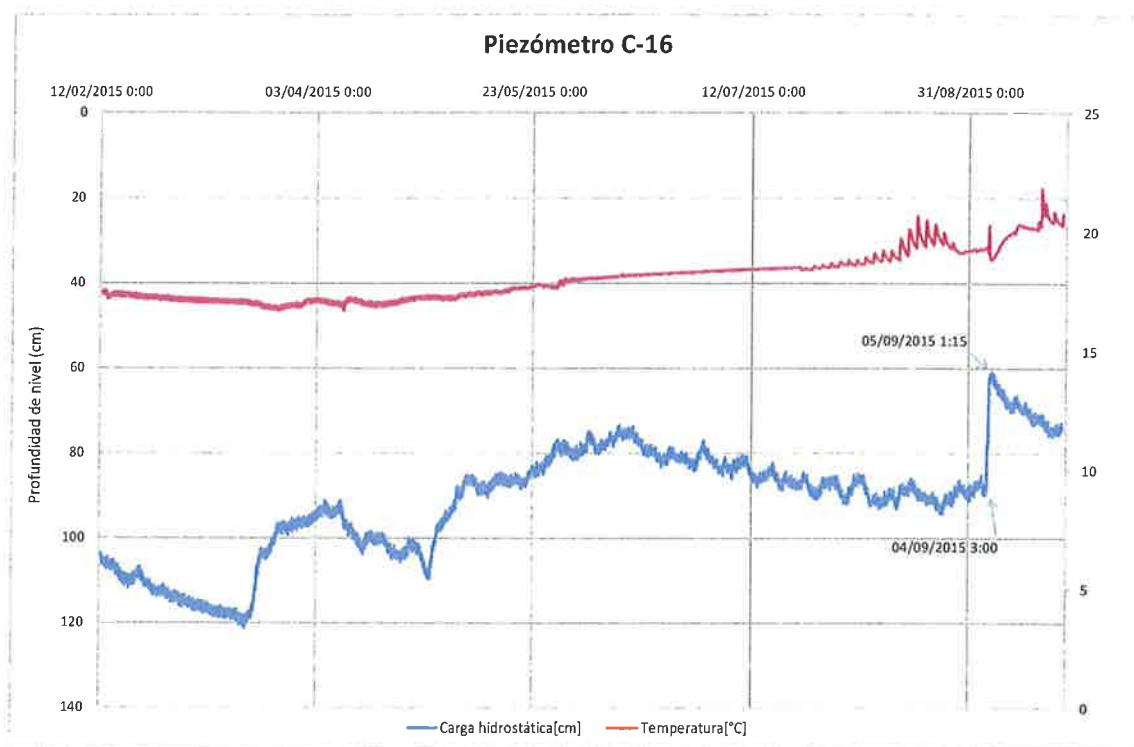


Figura 25. Evolución de nivel y temperatura en el piezómetro C-16 donde queda recogida la respuesta del acuífero al evento de precipitación extrema registrada el 04/09/2015 con 124 mm acumulados en 24 horas

El análisis de la evolución histórica de los niveles muestra con carácter general un incremento de nivel continuado desde el mínimo registrado a mediados de la década de los 80 éste último corresponde con una sucesión de años secos con precipitaciones inferiores a la media dado que el incremento a partir de 1985 sigue una tendencia de incremento de nivel generalizada se ha procedido al ajuste de una línea de tendencia lineal mediante el ajuste de mínimos cuadrados para una recta del tipo $y = mx + b$, el ajuste se ha efectuado sobre los datos de nivel posteriores a 1985 y hasta 2015, cubriendo un periodo de 30 años. ésta línea, representada en azul en todos los gráficos de evolución (figuras 10 a 22 y anexo 2), incorpora sobre el gráfico los valores inicial y final de cota y profundidad de nivel de ajuste de la recta que han sido empleados con posterioridad para la elaboración del mapa de variación de nivel (ver apartado mapas de tendencia).

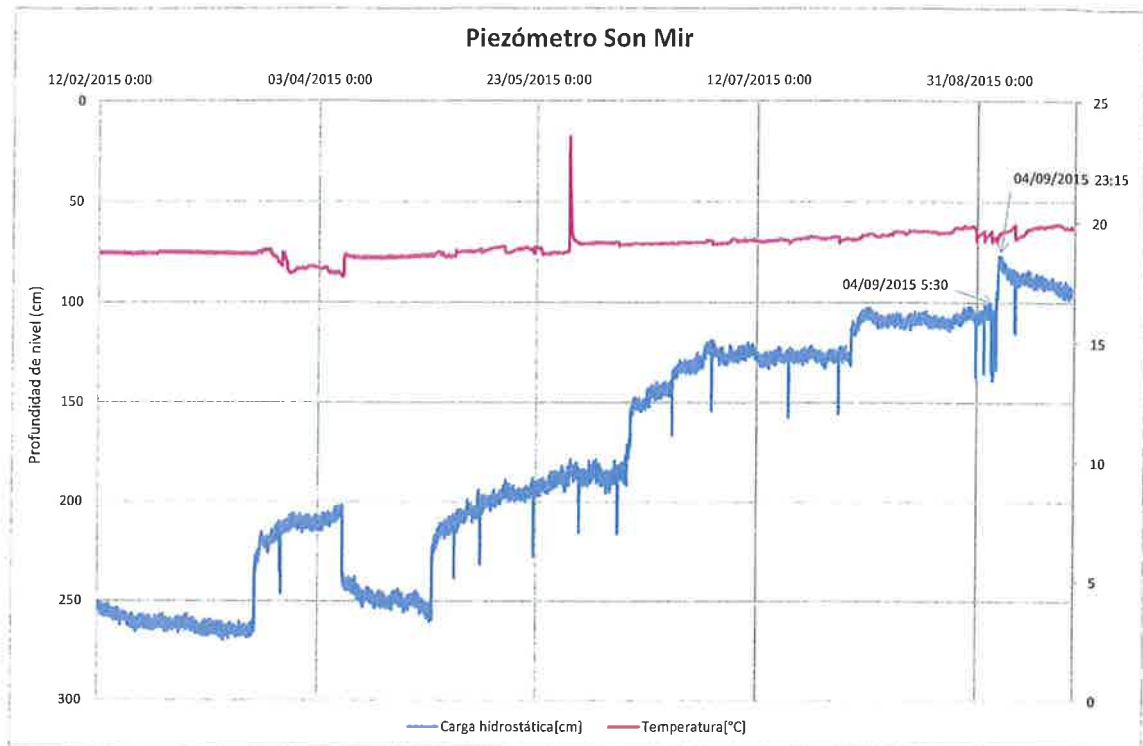


Figura 26. Evolución de nivel y temperatura en el piezómetro del Ullal de Son Mir donde queda recogida la respuesta del acuífero al evento de precipitación extrema registrada el 04/09/2015 con 124 mm acumulados en 24 horas

En general, se observa igualmente una tendencia al incremento de niveles durante el periodo 1968-1975 y un posterior descenso de niveles desde 1975 hasta 1985. Aún cuando el comportamiento en este periodo no sigue una progresión lineal, se ha procedido a ajustar igualmente una línea de tendencia para comparar la evolución de toda la serie de datos (47 años en la mayoría de piezómetros) y compararla con la evolución de los últimos 30 años. La línea de tendencia y sus valores inicial y final quedan recogidos en los gráficos del anexo 2.

7. Mapas de profundidad del nivel freático

Para analizar la problemática de inundación del Pla de Sant Jordi se ha procedido a generar una serie de mapas que permitan visualizar las áreas que resultan afectadas por la presencia del nivel freático en la superficie del terreno a partir, del cruce de la información procedente de la profundidad del mismo en los piezómetros de control y de la superficie topográfica.

La metodología empleada ha consistido en la superposición mediante SIG de las distintas superficies piezométricas mensuales generadas para la realización de los mapas de isopiezas con un modelo digital del terreno, en este caso el proporcionado por AENA, para generar la nueva superficie de profundidad del nivel freático.

Se ha procedido a colorear en tonos azules más intensos los niveles más profundos de la superficie freática y en tonos más claros la proximidad a la superficie del terreno. Dado que existen errores difícilmente subsanables se ha considerado como “probable” la presencia del nivel freático cuando los valores de profundidad son inferiores a los 0,5 m, por lo que a partir de este punto las áreas afectadas han sido coloreadas en tonos rojizos,

de menor a mayor intensidad en función de la menor o mayor proximidad a la superficie del terreno o afloramiento del nivel freático sobre la misma.

Al igual que para los mapas de piezometría, se han generado los mapas correspondientes a la profundidad del nivel freático para los años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015, éste último hasta el mes de junio. Todos quedan recogidos en el anexo 3 A.

Igualmente, se ha procedido a generar con los datos disponibles, los mapas mensuales del periodo de mayor profundidad del nivel freático, durante los años de sequía de mitad de los años 80. Se recogen en el anexo 3 B.

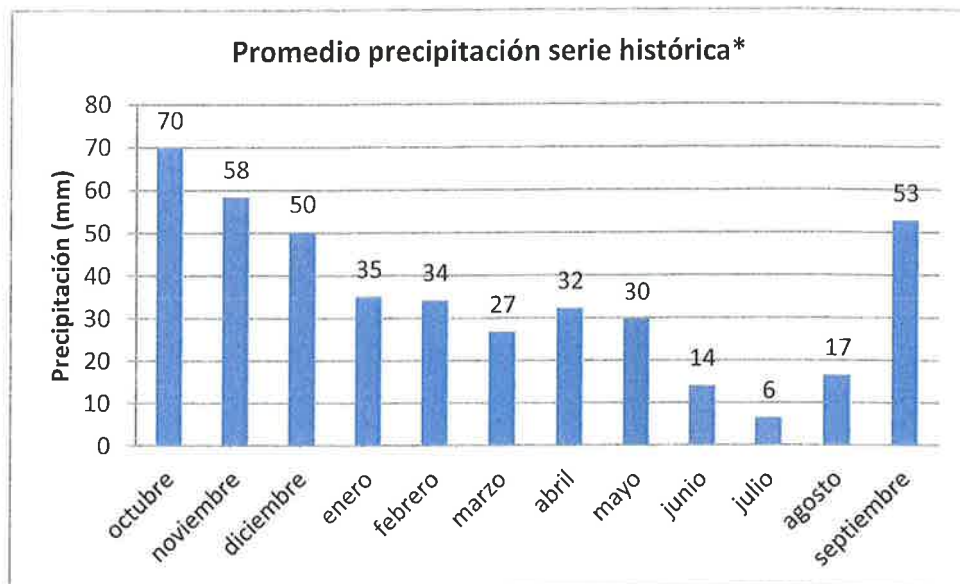
Finalmente se han generado los mapas de profundidad de nivel correspondientes a los 10 eventos de precipitación mensual acumulada más intensos registrados en la serie histórica de precipitaciones (tabla 2), que se incorporan en el anexo 3 C. Todos los eventos se encuentran por encima de los 150 mm de precipitación mensual. Para comparar, la tabla 3 recoge los valores promedio de precipitación mensual a lo largo de la misma serie histórica.

Evento	Mes	Año	Precipitación (mm)
1	Octubre	1994	241,8
2	Septiembre	2009	222,3
3	Noviembre	2011	192,0
4	Octubre	1979	181,7
5	Mayo	2008	168,1
6	Octubre	2007	165,0
7	Diciembre	2006	161,3
8	Septiembre	1972	159,3
9	Octubre	1976	157,5
10	Abril	1981	151,2

Tabla 2. Recopilación de los 10 eventos de mayor precipitación mensual acumulada a lo largo de la serie histórica de precipitaciones en la estación meteorológica del aeropuerto de Son Sant Joan.

La comparación de los distintos mapas así obtenidos es muy significativa respecto al funcionamiento del acuífero a lo largo de un ciclo anual en la situación actual, frente al comportamiento durante un período de mínimos hace treinta años y en comparación también con el comportamiento tras los principales eventos de precipitación registrados, tanto en la situación actual como en años anteriores.

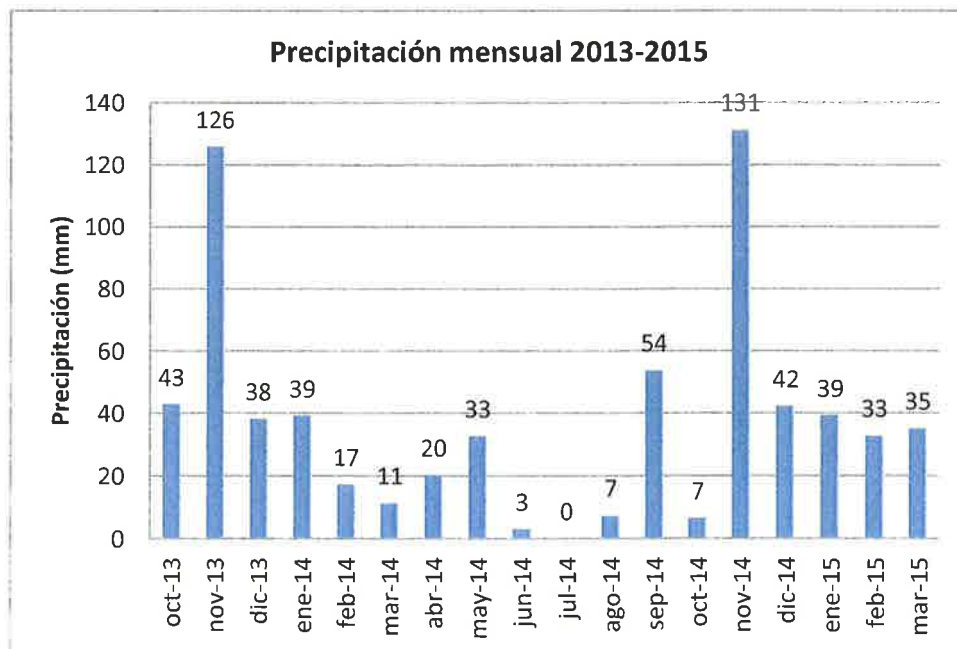
La figura 27 recoge los valores promedio de precipitación mensual para el conjunto de la serie histórica de precipitaciones de la estación meteorológica B278 Aeropuerto de Son Sant Joan (AEMET), valores significativos para el análisis de la evolución temporal del nivel freático. Los valores máximos de precipitación se recogen en el mes de octubre y los mínimos en el mes de julio.



*Serie histórica estación B278 Aeropuerto

Figura 27. Distribución temporal del promedio de precipitación para cada mes del año hidrológico a partir de la serie histórica de la estación del aeropuerto de Son Sant Joan.

El gráfico de la figura 28 recoge las precipitaciones mensuales del periodo considerado para la elaboración de los mapas mensuales correspondientes a los años hidrológicos 2013-2014 y la primera mitad del año hidrológico 2014-2015. A diferencia del promedio de la serie histórica, las precipitaciones del conjunto de otoño muestran una mayor concentración durante el mes de noviembre en ambos años hidrológicos.



*Serie histórica estación B278 Aeropuerto

Figura 28. Distribución de la precipitación mensual para los años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015 en la estación meteorológica del aeropuerto de Son Sant Joan.

Figura 29. Variación estacional máxima y mínima de la profundidad del nivel freático a lo largo del año hidrológico 2013-2014 en el acuífero pliocuaternario del Pla de Sant Jordi.

Para el año hidrológico 2014-215 se recoge un comportamiento similar con valores de mayor proximidad del nivel freático en noviembre de 2014 y con una mayor profundidad de la superficie freática en marzo de 2015 (figura 30).

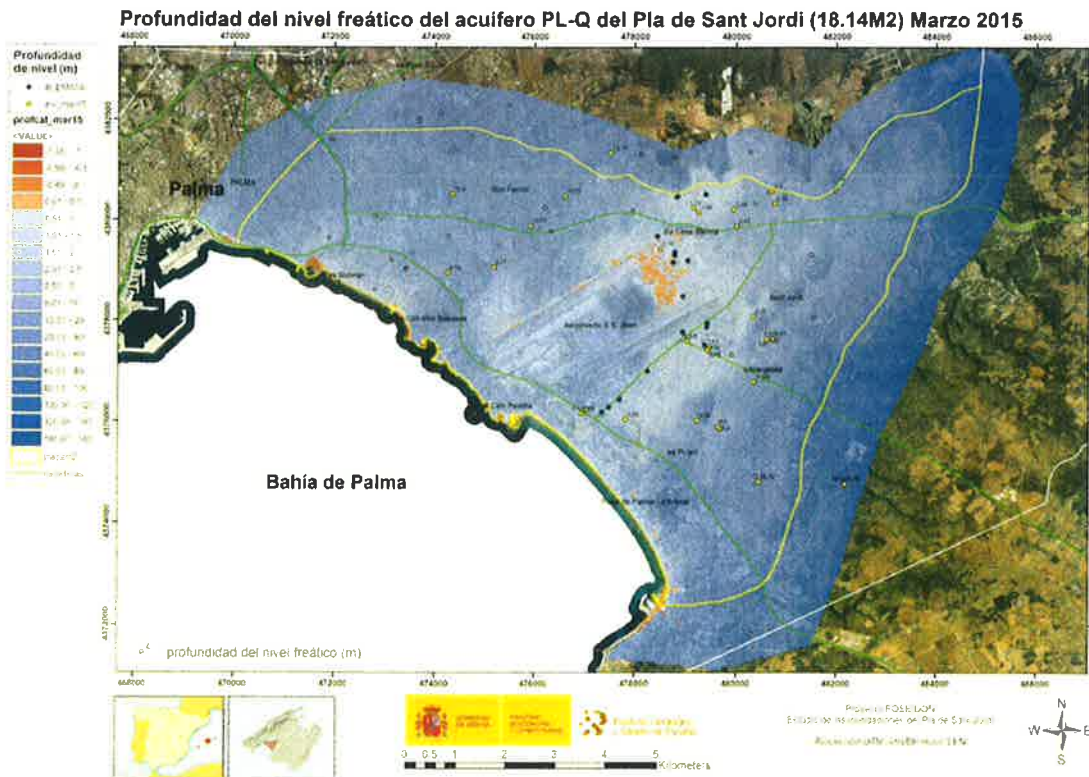
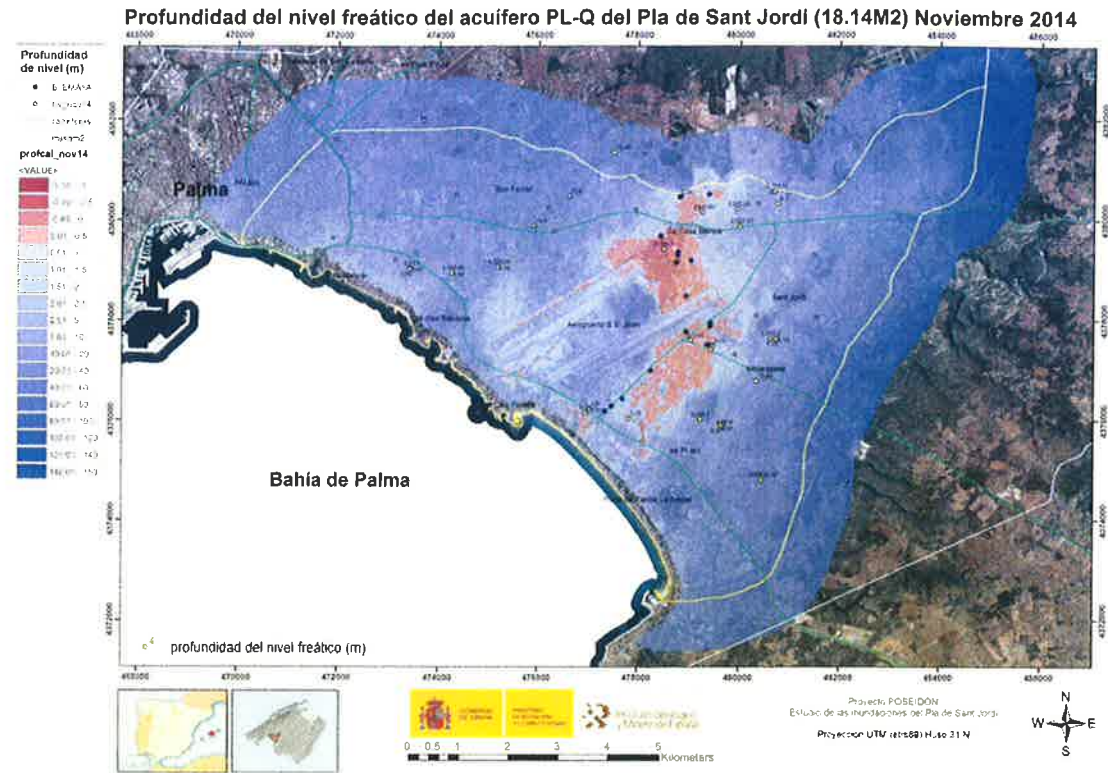


Figura 30. Variación estacional máxima y mínima de la profundidad del nivel freático a lo largo del año hidrológico 2014-2015 en el acuífero pliocuaternario del Pla de Sant Jordi.

De esta manera, los meses de final del otoño, noviembre y diciembre, marcan los niveles freáticos más próximos a la superficie, respondiendo así a las precipitaciones más intensas que se registran habitualmente entre octubre y noviembre.

Los niveles más bajos se sitúan, sin embargo, durante los meses de febrero y marzo, al final del invierno y antes de las precipitaciones de primavera.

Es de destacar por tanto la anomalía que representa la presencia de altos niveles del freático durante los meses más secos del año, a finales del verano (figuras 31 y 32 y figura 33). Teóricamente deberían corresponder a los niveles más profundos ya que, como se ha visto, el acuífero responde en menos de un mes a los principales eventos de precipitación, por lo que sería esperable una profundización del nivel tras la reducción de precipitaciones del verano.

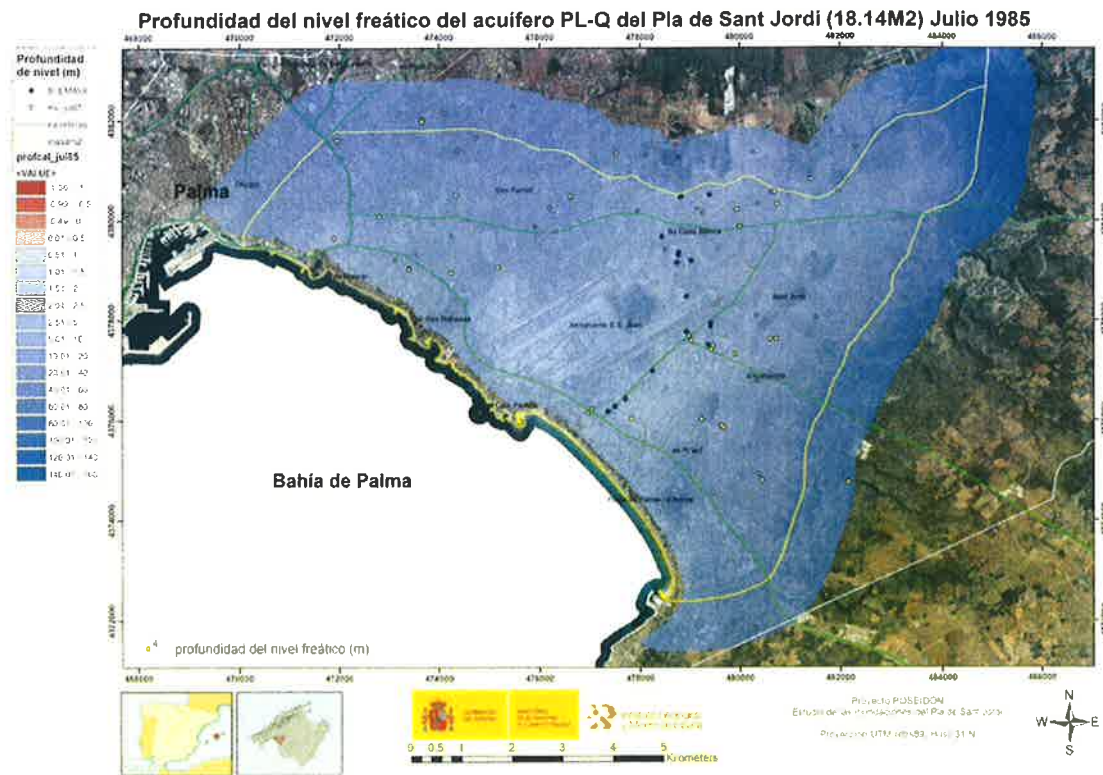


Figura 31. Situación de máxima profundidad del nivel freático registrada en julio de 1985.

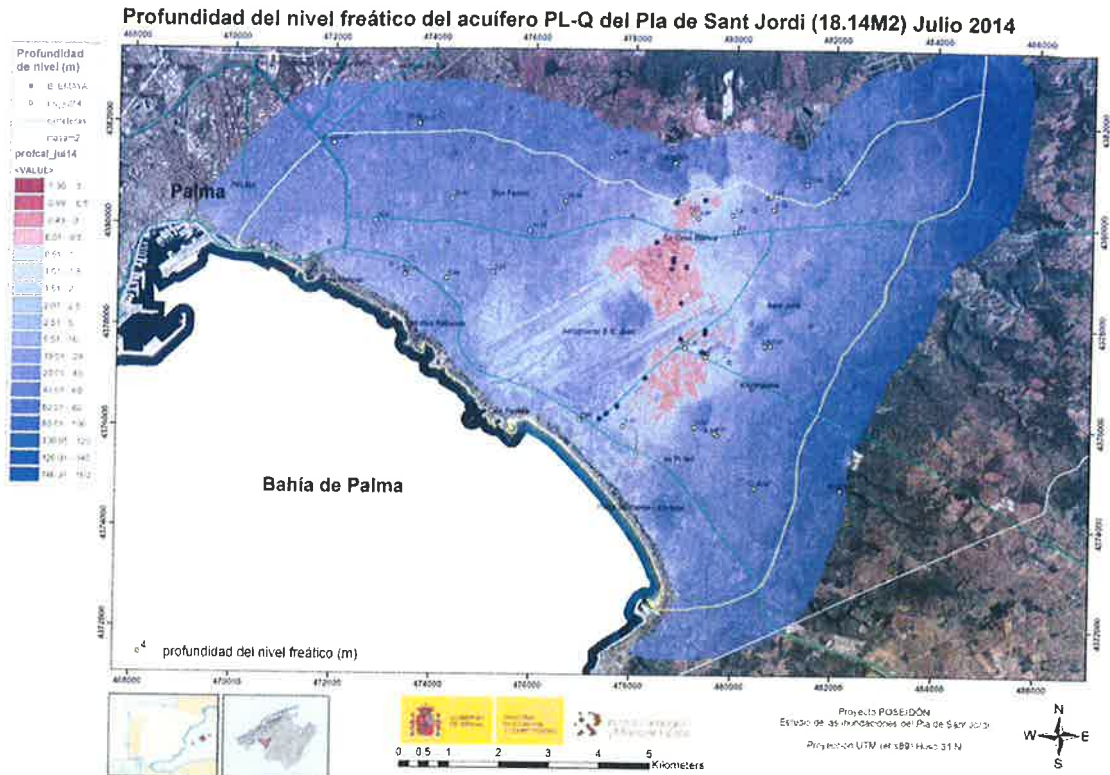


Figura 32. Situación de la profundidad del nivel freático durante el mes más seco del año (precipitación 0 mm) en 2014.

Esta aparente incongruencia podría deberse a la alta proximidad del nivel freático en la actualidad, tras el incremento continuado de nivel de los últimos treinta años. Los niveles parece así que deben ser naturalmente mucho más próximos a la superficie del terreno a finales del invierno y la primavera de lo que muestran los mapas de profundidad, que probablemente se vean influenciados por una depresión artificial del nivel ocasionada quizás por los bombeos efectuados por EMAYA para el drenaje del acuífero en los periodos de mayor riesgo. A este efecto cabe la posibilidad de que se añada el posible riego adicional con agua depurada, más intenso durante los meses de primavera –verano, contribuyendo un mayor retorno de riego a un aumento adicional de la proximidad del nivel freático a la superficie del terreno.

El análisis de los principales eventos de precipitación mensual acumulada y su efecto sobre profundidad del nivel freático son igualmente ilustrativos respecto a la respuesta esperada. Así, es de destacar la diferencia de niveles entre un evento de alta precipitación, como el representado en la figura 33, donde se recoge el momento registrado con el nivel freático más próximo a la superficie del terreno y con mayor extensión del área probable de afloramiento del nivel freático, que se obtuvo en septiembre de 2009 con una precipitación de 222 mm (el segundo de mayor entidad de los diez analizados, tabla 2) y su comparación con un evento de 182 mm (figura 34) registrado esta vez en octubre de 1979 (el cuarto en orden de intensidad de los diez considerados, tabla 2). En este último caso, la mayor profundidad inicial del nivel freático en ese periodo hace posible la acomodación de la precipitación sin que se produzca un riesgo de afloramiento del nivel freático, mientras que en el caso más reciente los niveles elevados del mismo se traducen en un afloramiento del nivel freático en la superficie del terreno. Compárese esta figura con la anterior para ver la

diferencia entre un evento de precipitación intensa en septiembre de 2009 con el mes de septiembre de 2014, con una precipitación acumulada en este último caso de 54 mm (figura 26), más acorde a los valores promedio de este mes que se sitúa en 52 mm (figura 25) para el conjunto de la serie histórica.

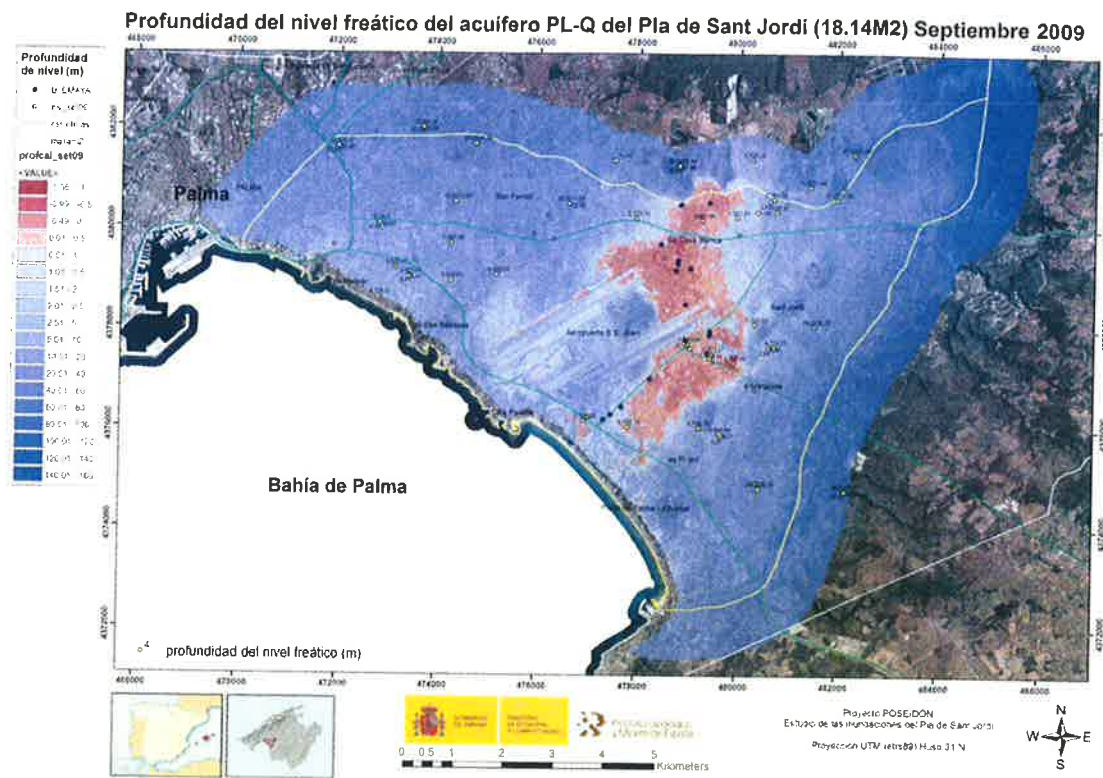


Figura 33. Profundidad del nivel freático tras un evento de precipitación mensual intensa (222 mm, ver tabla 2). Precipitación promedio para el mes de septiembre 53 mm (figura 25).

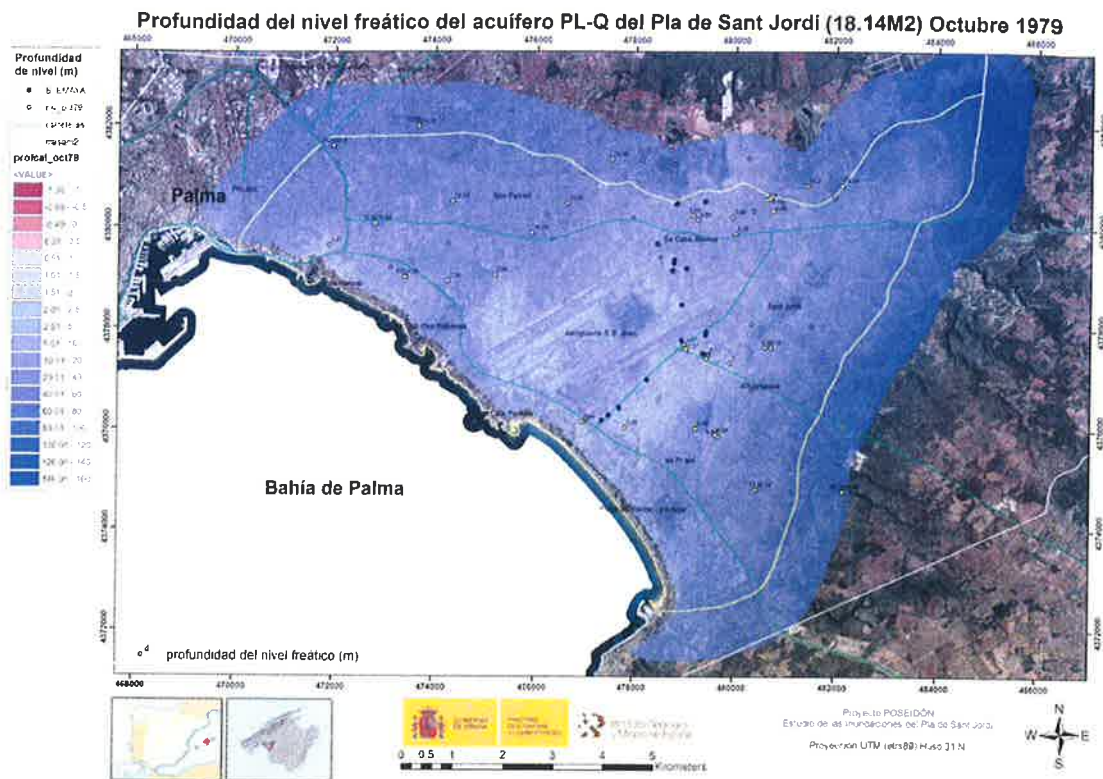


Figura 34. Profundidad del nivel freático tras un evento de precipitación mensual intensa (182 mm, ver tabla 2). Precipitación promedio para el mes de octubre 70 mm (figura 25).

8. Mapas de tendencia

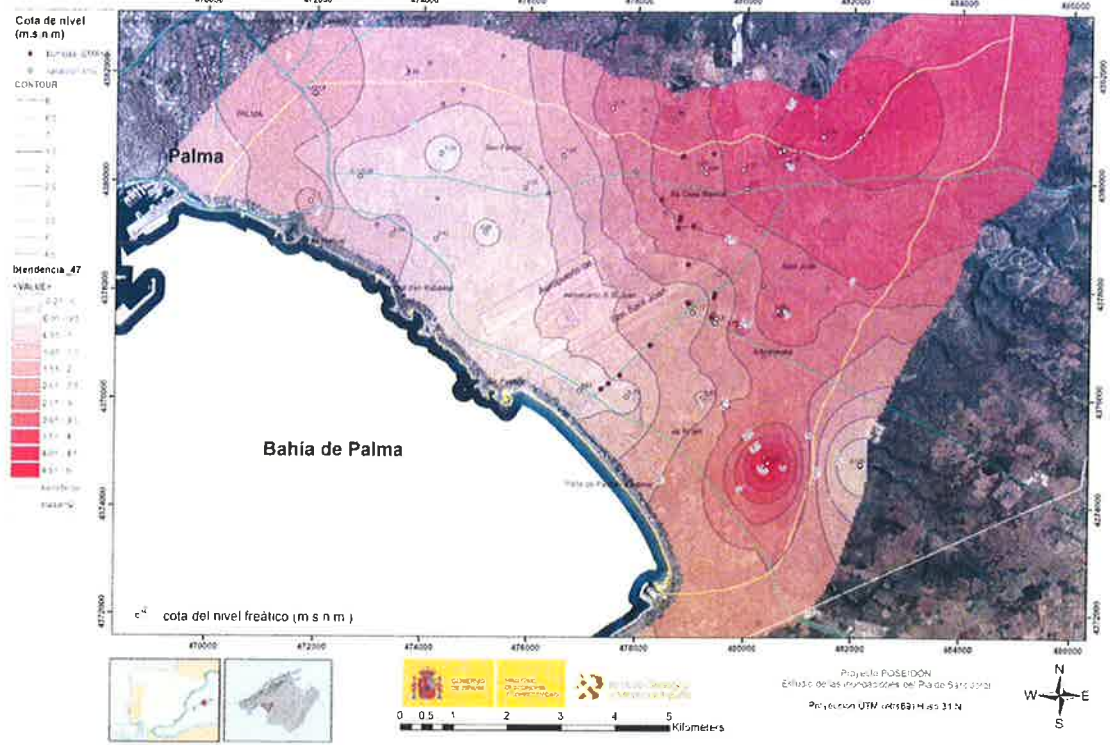
Durante la realización de los gráficos de evolución piezométrica (ver apartado de GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN) se efectuó el ajuste de una línea de la tendencia para dos periodos de tiempo: 1) análisis de la tendencia para el total de la serie histórica desde el año 1968 hasta el presente, en aquellos piezómetros con serie completa (Anexo 2B); 2) análisis de la tendencia desde el periodo de mínimos registrado a mediados de los años 80 hasta la actualidad (Anexo 2ª), para la práctica totalidad de los puntos de control (sólo unos pocos no cuentan con este registro completo).

Con ambos valores para cada uno de los puntos de control se han generado dos mapas de tendencia:

- Mapa de tendencia para el periodo 1968-2015 (TENDENCIA 47 AÑOS)
- Mapa de tendencia para el periodo 1985-2015 (TENDENCIA 30 AÑOS)

Los mapas, que se recogen en la figura 35 y con mayor detalle en el Anexo 4, muestran la distribución espacial de la variación del nivel freático en cada punto de control, obtenido mediante la diferencia entre el valor final de la recta de tendencia ajustada y el valor inicial.

Tendencia evolutiva del nivel del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2). Periodo 1968 - 2015



Tendencia evolutiva del nivel del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2). Periodo 1985 - 2015

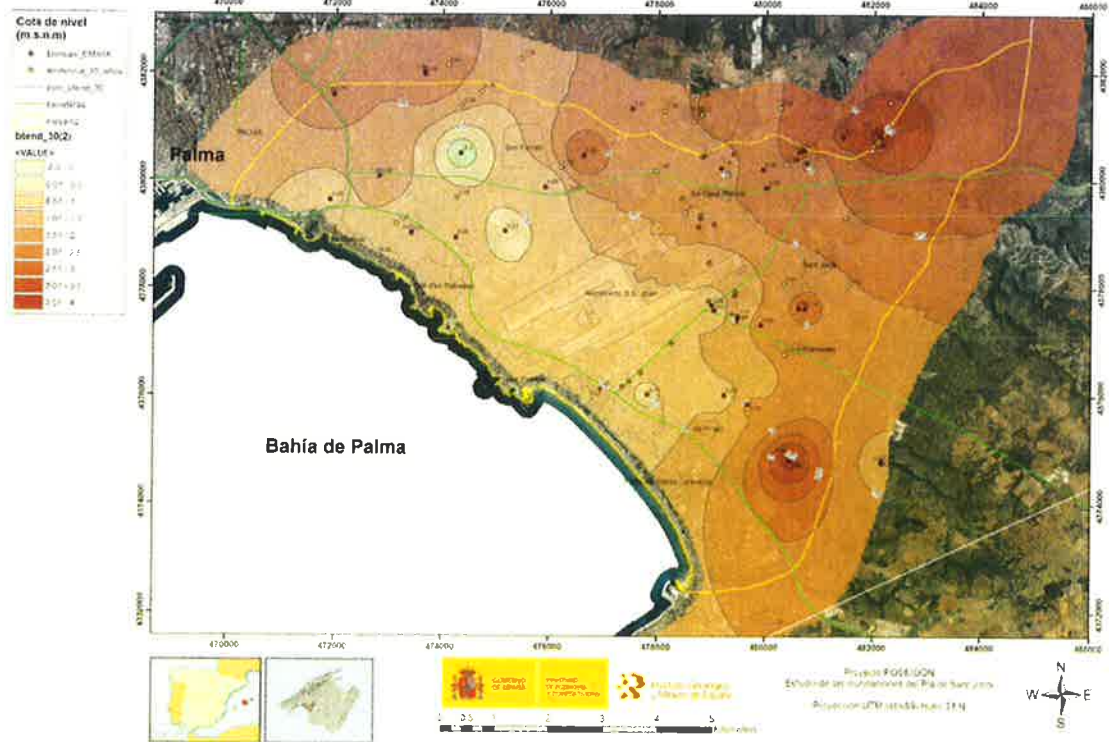


Figura 35. Tendencia evolutiva del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi a 47 y 30 años.

El promedio de dichas variaciones para la totalidad de los piezómetros de control ha sufrido un incremento de 1,49 m en la totalidad de la serie histórica (47 años) y 1,52 m en los últimos 30 años de seguimiento

9. Ensayo de bombeo en s'Hort de s'Uyal (Ullal de Son Mir)

Durante la realización del inventario de puntos de control piezométrico se pudo identificar el punto MA0443 S'Hort de s'Uyal del inventario de la Direcció General de Recursos Hídrics y el 382780517 de la base de datos de agua del IGME como el correspondiente originalmente al denominado Ullal de Son Mir o de Can Puigserver (Rossellò 1959).

El punto de bombeo se sitúa en el límite septentrional de la zona de estudio y corresponde a una surgencia natural de agua (ullal) que tiene lugar al pie de los relieves pliocenos que delimitan el borde norte de la masa de agua subterránea del Pla de Sant Jordi con la vecina masa del Pont d'Inca.

Su presencia guarda relación con la estructura geológica que condiciona la configuración hidrogeológica de los acuíferos Plioceno y Cuaternario presentes en este sector.

En este punto de surgencia natural, posteriormente regulado mediante una antigua obra de captación tradicional (molino de viento para la extracción de agua subterránea), en la actualidad se hayan instaladas dos bombas de regulación de EMAYA cuya función es la de deprimir el nivel freático por debajo del terreno y evitar la inundación durante los periodos de precipitaciones intensas.

Aprovechando las instalaciones de bombeo se procedió a realizar una prueba de bombeo para evaluar los parámetros hidráulicos en la zona de contacto entre ambos acuíferos que permitieran una mejor calibración del modelo matemático a desarrollar dentro de los objetivos perseguidos en el proyecto POSEIDÓN.

Los pormenores técnicos y los resultados de la prueba de bombeo se recogen en el anexo 5.

10. Conclusiones

El estudio de la evolución de los niveles piezométricos en el acuífero Pliocuaternario del Pla de Sant Jordi ha requerido de la elaboración de una red de control específica denominada POSEIDÓN (63 puntos) así como, de la revisión del conjunto de bases de datos utilizadas para este proyecto, tanto del IGME como de la DGRH. Durante este proceso se ha generado una nueva base de datos específica para el proyecto y se han efectuado la corrección de un total de 1040 registros. La elaboración de mapas piezométricos ha permitido verificar que la mayoría de puntos de la red presentan una cota positiva en la actualidad, a excepción de pozos que ocasionalmente muestran valores negativos inducidas por bombeos. La variación entre los máximos y los mínimos no supera los +2,5 m de amplitud, con valores máximos de +3 m de cota piezométrica en el contorno de la masa de agua y valores mínimos (a excepción de las zonas de bombeo indicadas anteriormente) próximos a +0,5 m de cota piezométrica.

Los mapas de evolución histórica de niveles piezométricos realizados muestran que se ha pasado de un escenario en 1985 donde gran parte de la masa de agua del Pla de Sant Jordi presentaba valores negativos, por debajo del nivel del mar, a otro diferente en 2015 con la totalidad de puntoso con valores positivos, mostrando un incremento promedio de 1,52 m durante los últimos 30 años.

El análisis de los niveles piezométricos también permite concluir que existe una rápida respuesta de los niveles piezométricos a las precipitaciones. Durante el evento de precipitaciones intensas acaecido en septiembre de 2015, con un máximo diario de precipitación registrado en el puerto de Palma de 124,3 mm, los sensores instalados en dos piezómetros muestran una subida de más de 5 cm en ambos puntos de control y una en menos de 24 horas

11. Referencias

COMITÉ DE COORDINACIÓN (1973). Estudio de los Recursos Hidráulicos Totales de Baleares. Informe de síntesis General. Ministerio de Obras Públicas. Ministerio de Industria. Ministerio de Agricultura.. Director José Fuster Centelles

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE Y TERRITORIO. DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HÍDRICOS. GOVERN DE LAS ILLES BALEARS. (1999) Plan Hidrológico de las Islas Baleares, aprobado por Real Decreto 387/2001 de 6 de abril. (Plan derivado de la LEY 29/1985, de 2 de Agosto, de aguas). Govern de las Illes Balears. Conselleria de Medi Ambient. Plan Hidrológico de las Illes Balears 1999

CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, MEDIO AMBIENTE Y TERRITORIO. DIRECCIÓN GENERAL DE RECURSOS HÍDRICOS. GOVERN DE LAS ILLES BALEARS (2009).. Propuesta del Plan Hidrológico de la Demarcación de Baleares (versión 2) 2009. Portal de l'aigüa de les Illes Balears <http://www.caib.es/sacmicrofront/contenido.do?mkey=M0808011112185729323&lang=CA&cont=40949>

CUSTODIO, E. y LLAMAS, RAMÓN, (aut.) 2. ed. (1996). Hidrología Subterránea. Ediciones Omega, S.A. 1194 páginas.

LÓPEZ-GARCÍA, J.M. (2003). Recarga de acuíferos con agua residual depurada en el Llano de Palma de Mallorca. 30 años de experiencia. En: El Agua y la Ciudad sostenible hidrogeología urbana. Publicaciones del IGME, serie Hidrogeología y aguas subterráneas nº 11. Pp 83-92. Madrid

SALGOT, M.; MATEOS, R.M. y CRESPI, D. (2001) Water Reuse in the Majorca Island (Spain). CatchWater Project. Programme Environment and Climate ENV4-CT98-0790. Work Package 1, Part II. Chapter II.1

SERVEI HIDRAULIC DE BALEARS SHB (1987) Hidrogeología de la isla de Mallorca. Conselleria de Obres Públiques i ordenació Del territori. Direcció General d'obres Publiques. Servei Hidraulic.

SGOP (1968) Estudio Hidrogeológico del Llano de Palma. Director Joan Fuster. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.

SGOP (1972) Informe Hidrogeológico del Llano de Palma. Ramón Llamas. Informe inédito. Servicio Geológico de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas.

ANEXO 1 A

MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA

Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015

ANEXO 1 B

MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA

Año hidrológico 1985-1986



ANEXO 2A

**GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE COTA Y PROFUNDIDAD DEL
NIVEL FREÁTICO (TENDENCIA 30 AÑOS)**

ANEXO 2B

**GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE COTA Y PROFUNDIDAD DEL
NIVEL FREÁTICO (TENDENCIA 47 AÑOS)**

Handwritten text, likely bleed-through from the reverse side of the page, is visible along the left edge.

ANEXO 3 A

**MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL
FREÁTICO**

Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015

ANEXO 3 B

**MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL
FREÁTICO**

Año hidrológico 1985-1986

ANEXO 3 C

MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Eventos de precipitación mensual acumulada > 150 mm

Evento	Mes	Año	Precipitación (mm)
1	Octubre	1994	241,8
2	Septiembre	2009	222,3
3	Noviembre	2011	192,0
4	Octubre	1979	181,7
5	Mayo	2008	168,1
6	Octubre	2007	165,0
7	Diciembre	2006	161,3
8	Septiembre	1972	159,3
9	Octubre	1976	157,5
10	Abril	1981	151,2

ANEXO 4

MAPAS DE TENDENCIA EVOLUTIVA DEL NIVEL FREÁTICO



ANEXO 5

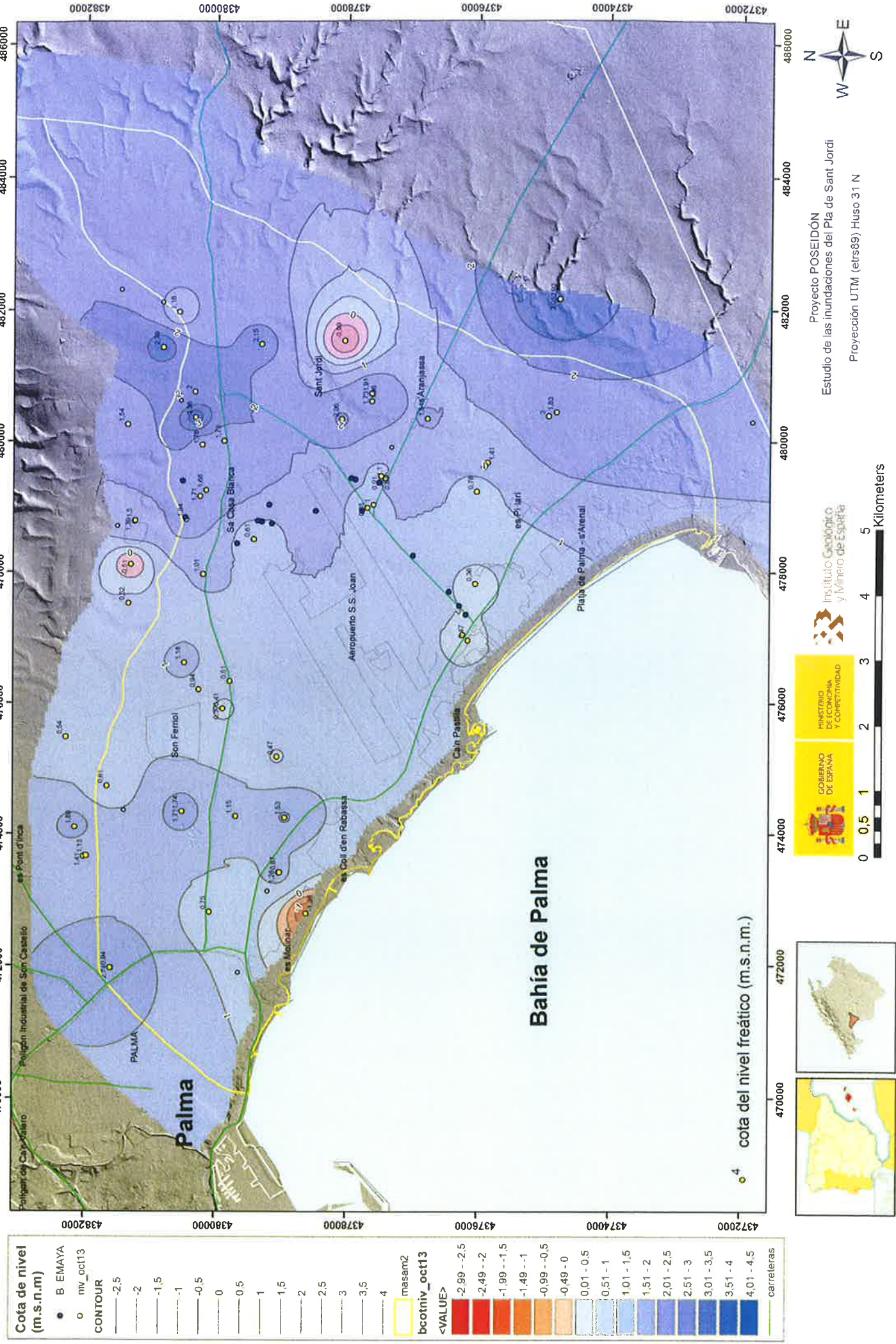
**INFORME DEL ENSAYO DE BOMBEO EN EL ULLAL DE SON
MIR**

ANEXO 1 A

MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA

Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015

Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 2013



Cota de nivel (m.s.n.m)

- B EMAYA
- niv_oct13

CONTOUR

- -2.5
- -2
- -1.5
- -1
- -0.5
- 0
- 0.5
- 1
- 1.5
- 2
- 2.5
- 3
- 3.5
- 4

masam2

bcotniv_oct13

<VALUE>

- 2.99 - -2.5
- 2.49 - -2
- 1.99 - -1.5
- 1.49 - -1
- 0.99 - -0.5
- 0.49 - 0
- 0.01 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 4.5

carreteras



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las Inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

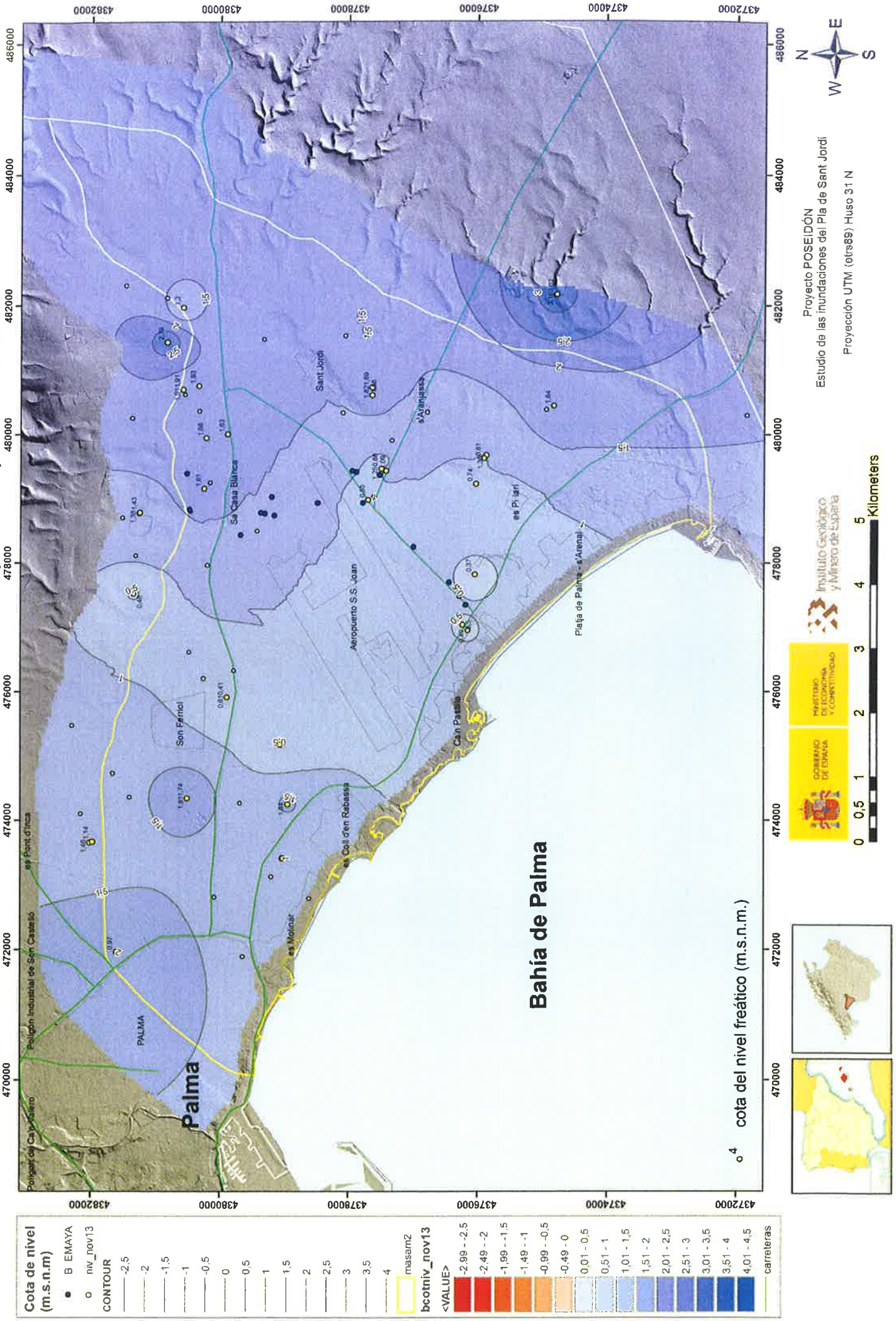
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE ECONOMIA Y COMPETITIVIDAD

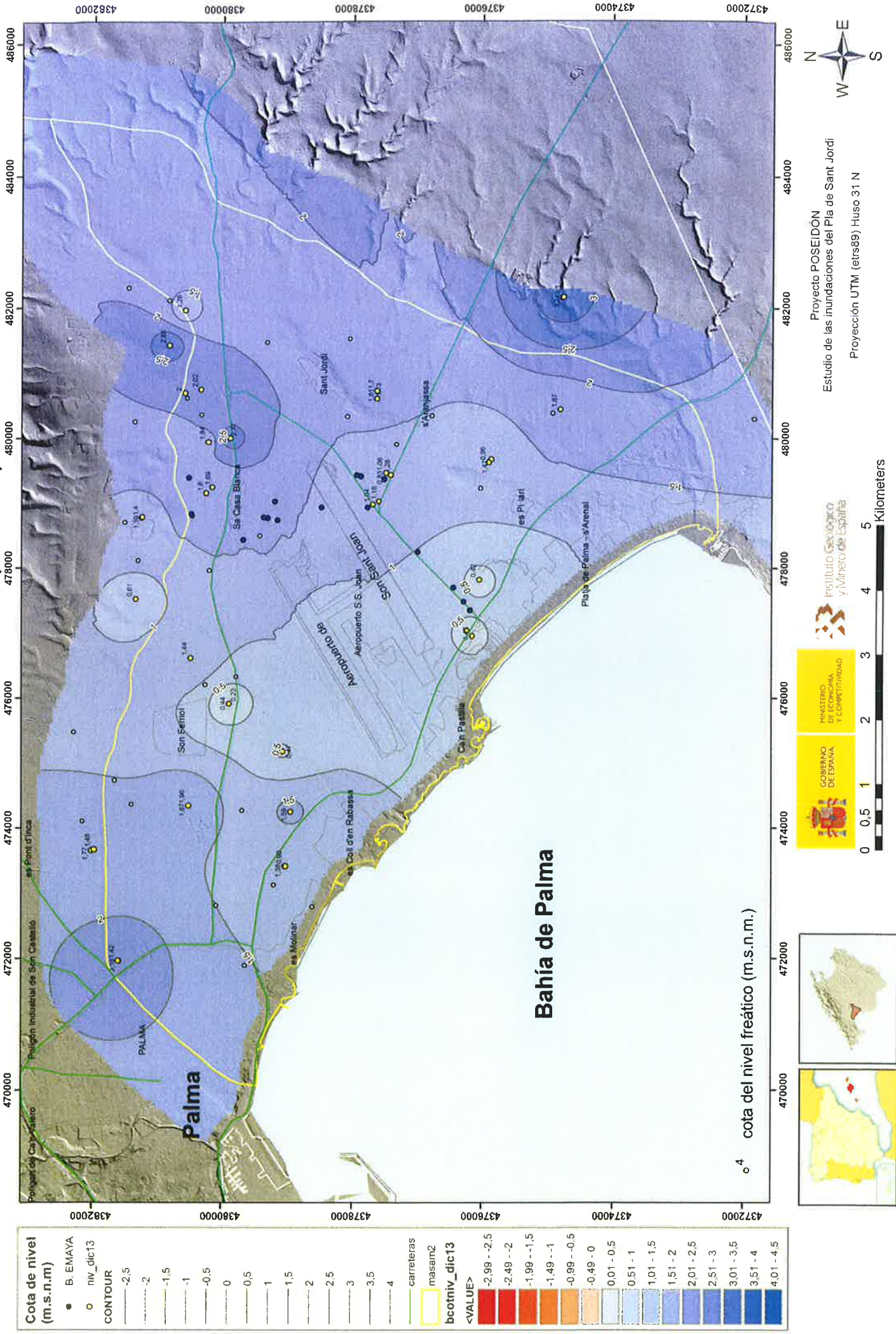
GOBIERNO DE ESPAÑA



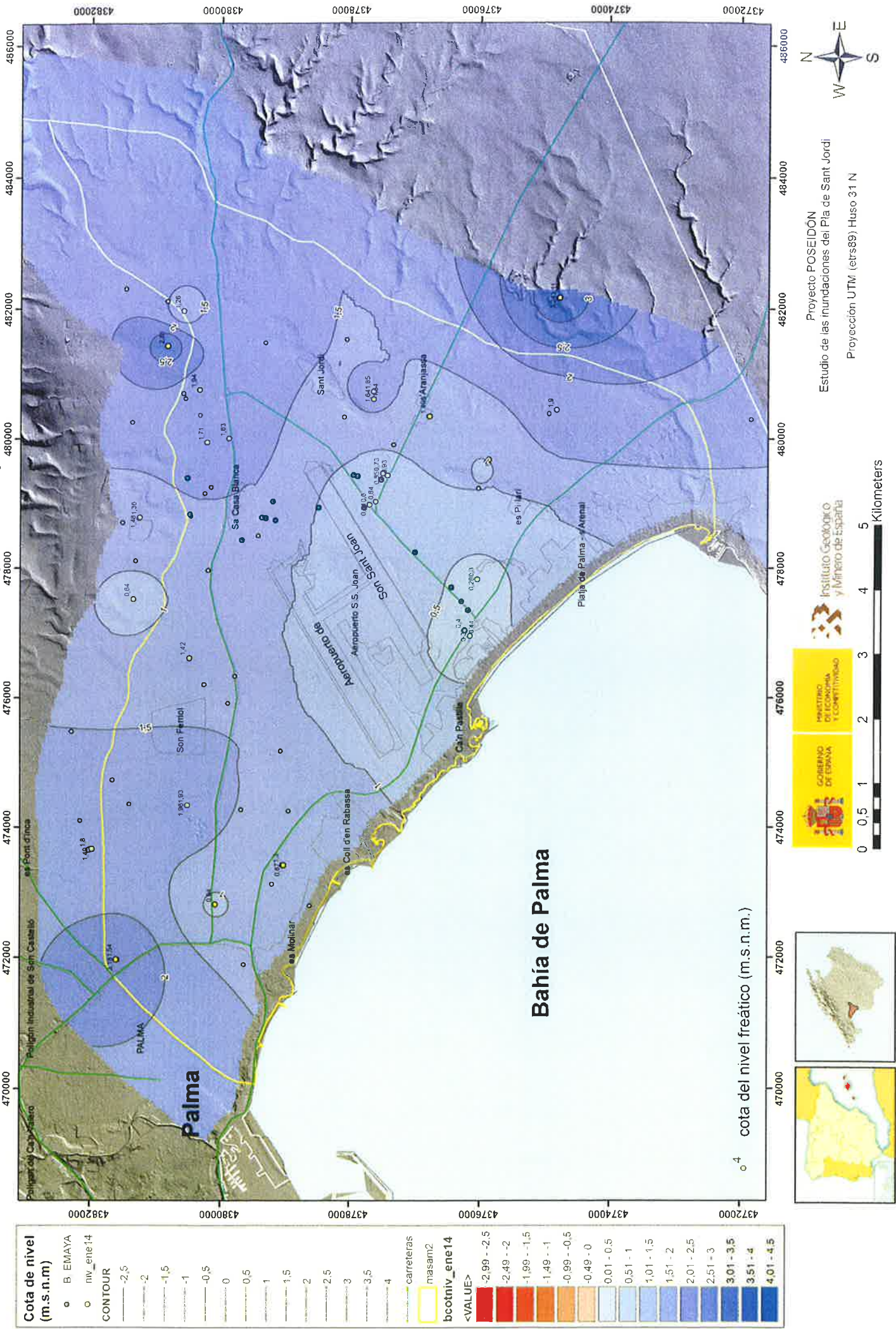
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Noviembre 2013



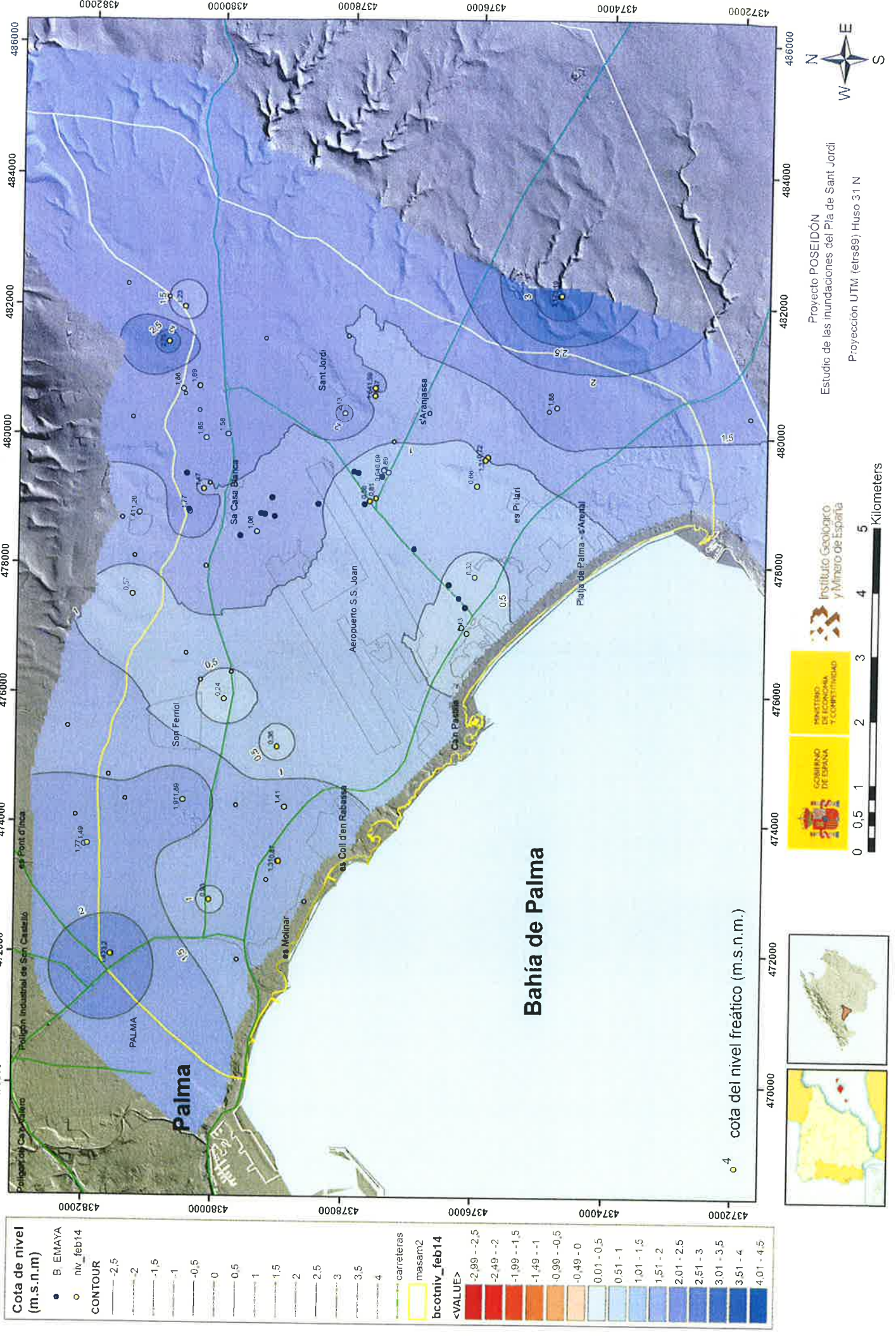
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Diciembre 2013



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Enero 2014

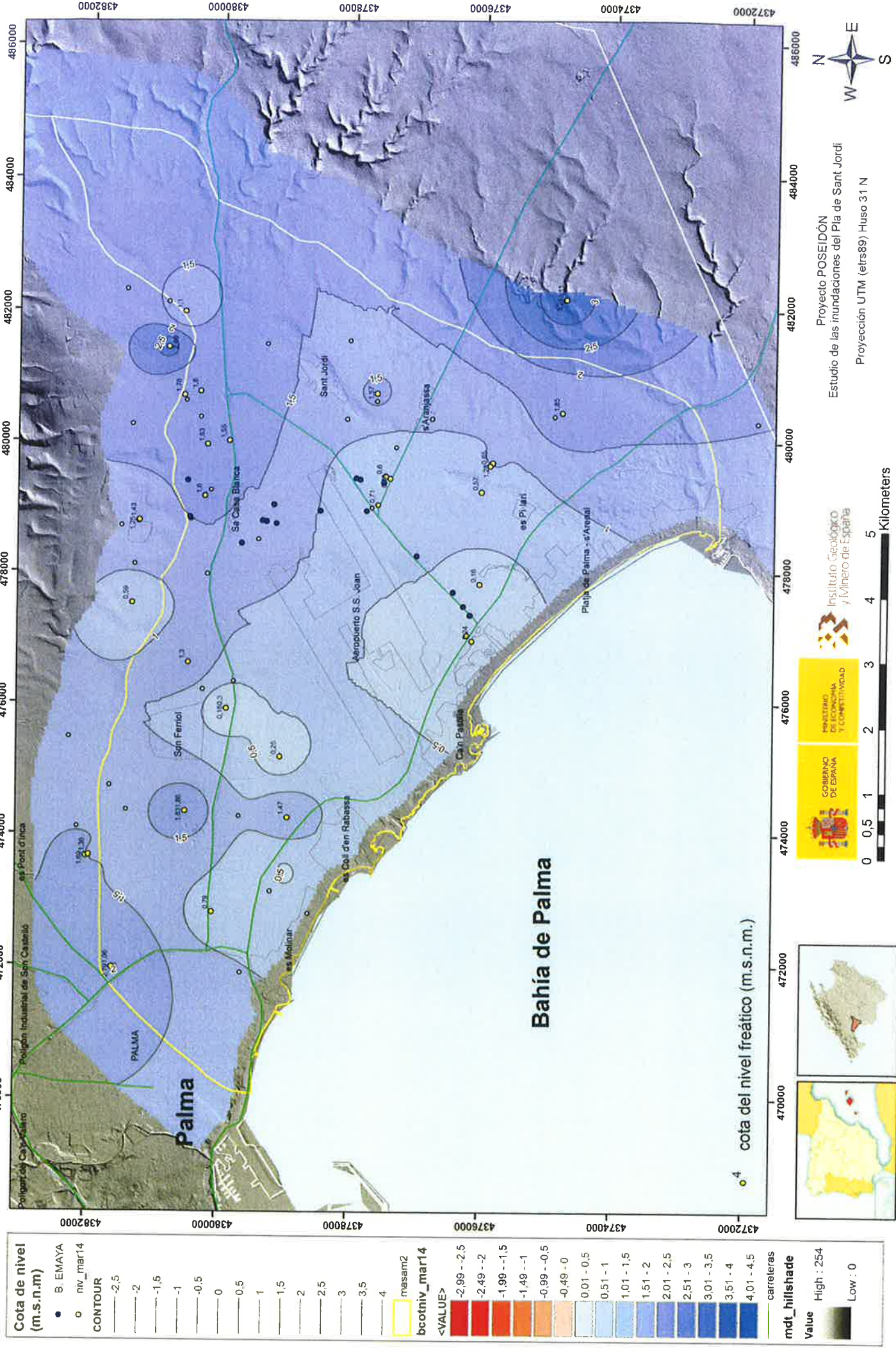


Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Febrero 2014



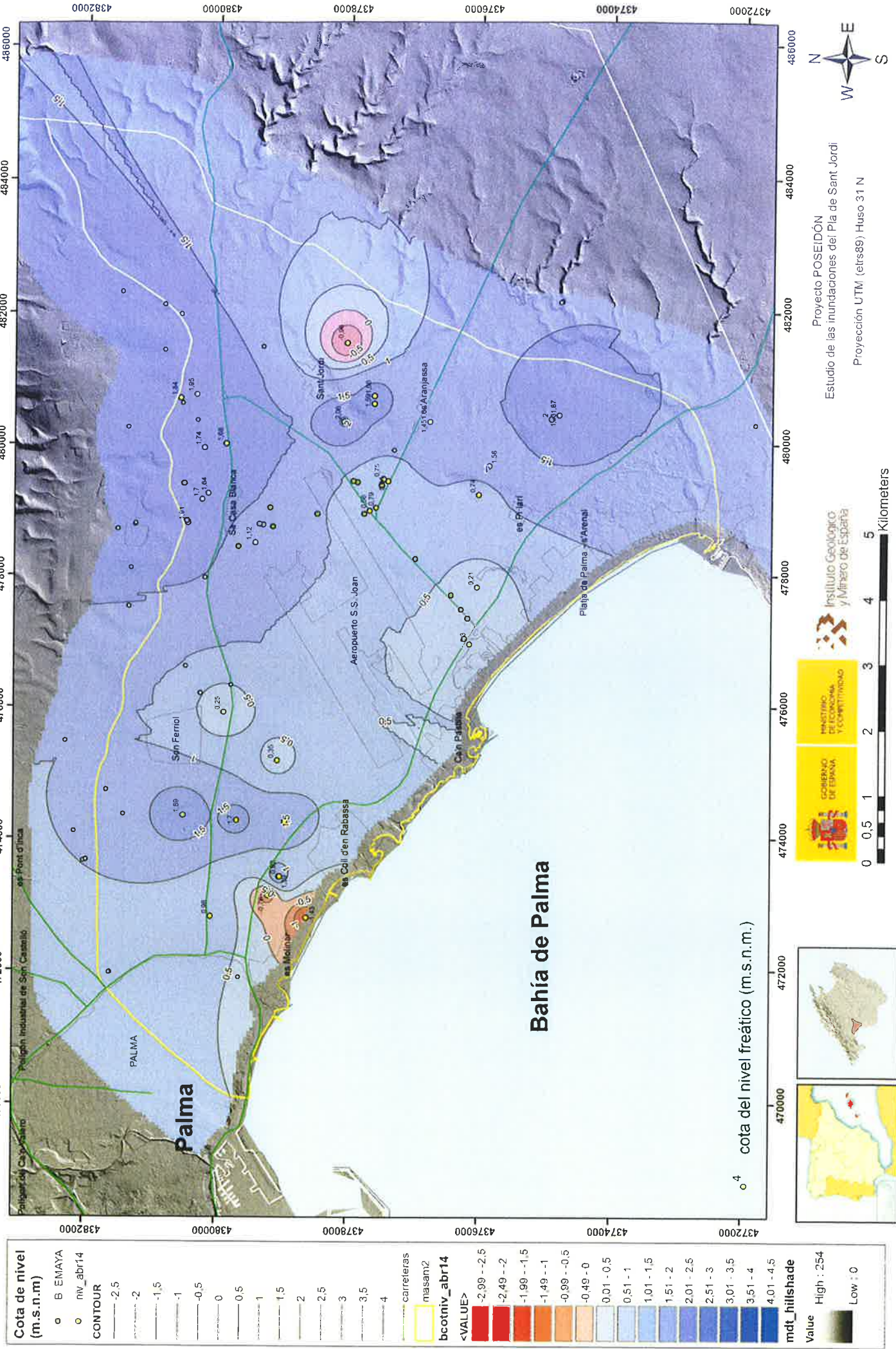
Cota de nivel (m.s.n.m)	● B. EMAYA
	○ niv_feb14
CONTOUR	
	— 2.5
	— 2
	— 1.5
	— 1
	— 0.5
	— 0
	— 0.5
	— 1
	— 1.5
	— 2
	— 2.5
	— 3
	— 3.5
	— 4
carreteras	
	mesan2
bcotniv_feb14	
<VALUE>	
	-2.99 - -2.5
	-2.49 - -2
	-1.99 - -1.5
	-1.49 - -1
	-0.99 - -0.5
	-0.49 - 0
	0.01 - 0.5
	0.51 - 1
	1.01 - 1.5
	1.51 - 2
	2.01 - 2.5
	2.51 - 3
	3.01 - 3.5
	3.51 - 4
	4.01 - 4.5

Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 2014



Cota de nivel (m.s.n.m)	● B. EMAYA	○ niv_mar14	mesam2	bcotniv_mar14	<VALUE>
CONTOUR	---	---	---	---	---
	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5
	0	0.5	1	1.5	2
	2.5	3	3.5	4	
carreteras	mdt_hillshade				
Value	High : 254				
	Low : 0				

Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 2014



Cota de nivel (m.s.n.m)	o B EMAYA	cartereras
o niv_abr14	masam2	
CONTOUR	bcotniv_abr14	
-2.5	<VALUE>	
-2	-2,99 -- -2,5	
-1.5	-2,49 -- -2	
-1	-1,99 -- -1,5	
-0.5	-1,49 -- -1	
0	-0,99 -- -0,5	
0.5	-0,49 -- 0	
1	0,01 -- 0,5	
1.5	0,51 -- 1	
2	1,01 -- 1,5	
2.5	1,51 -- 2	
3	2,01 -- 2,5	
3.5	2,51 -- 3	
4	3,01 -- 3,5	
	3,51 -- 4	
	4,01 -- 4,5	
	mdt_hillshade	
	Value High : 254	
	Low : 0	

0 0,5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España

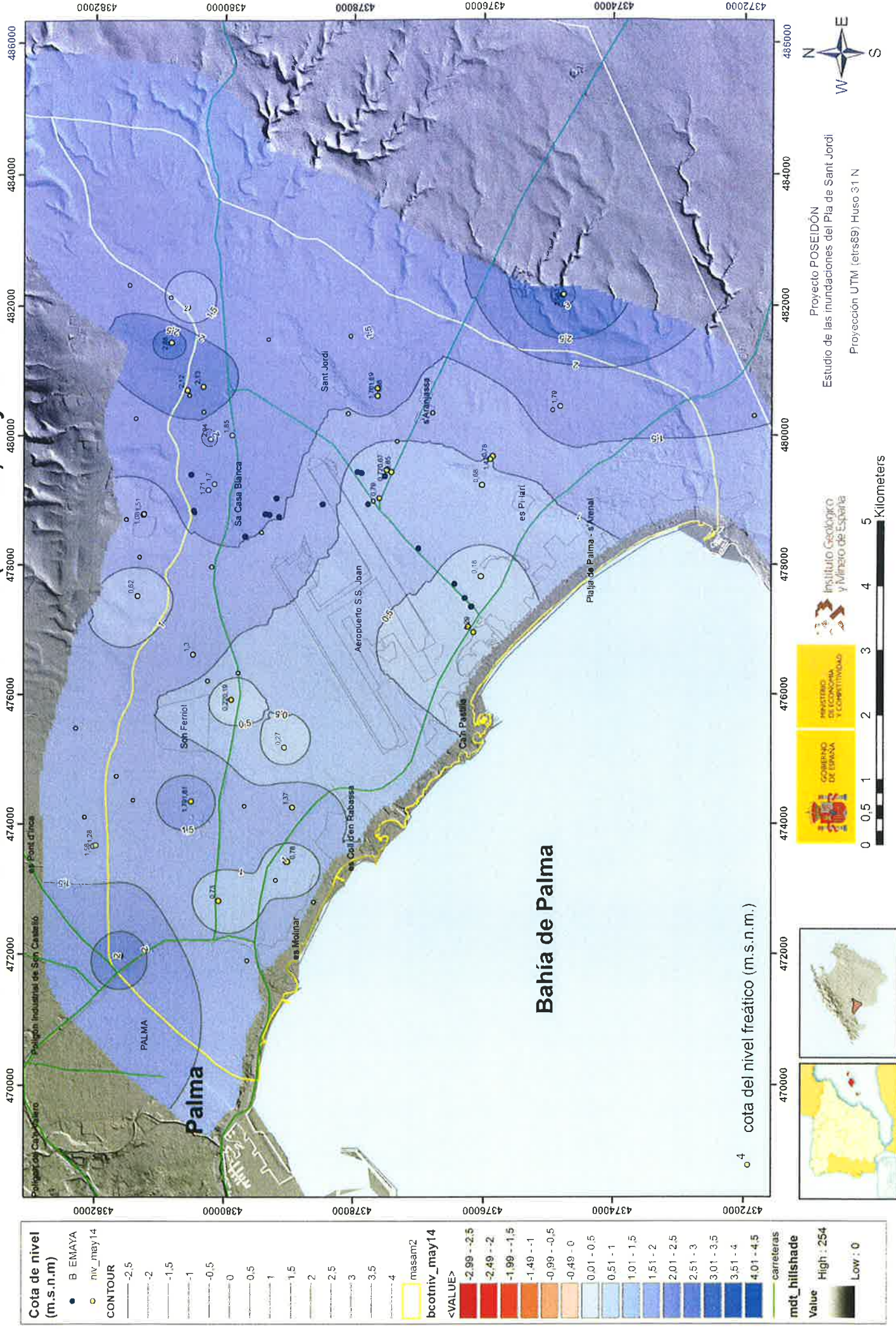
Proyecto POSEIDÓN

Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi

Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



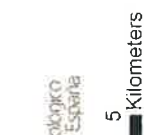
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Mayo 2014



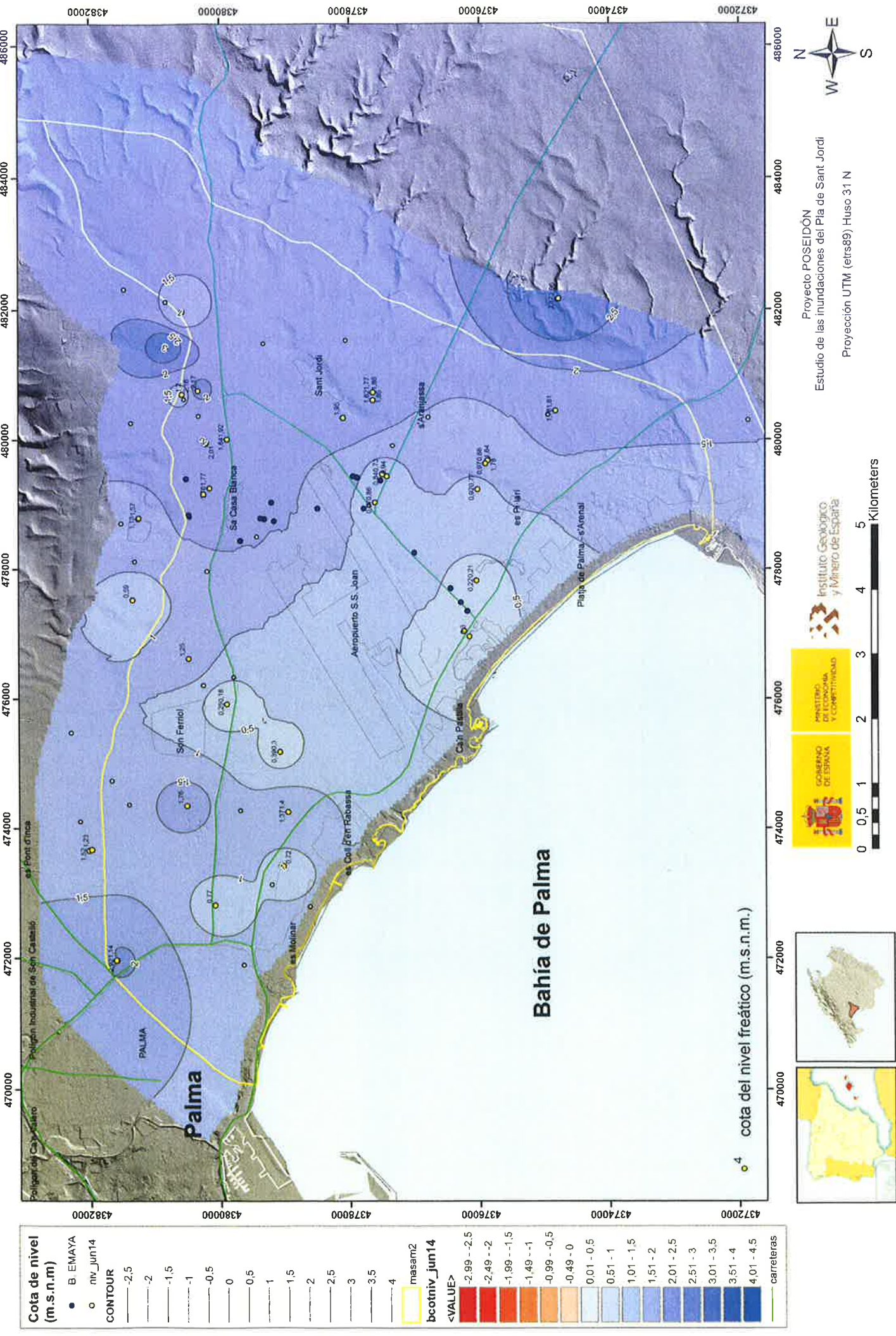
Cota de nivel (m.s.n.m.)	● B EMAYA	○ niv_may14	masam2	bcotiv_may14	<VALUE>	carreteras	mdt_hillshade
CONTOUR	— -2.5				-2.99 - -2.5		Value
	— -2				-2.49 - -2		High : 254
	— -1.5				-1.99 - -1.5		Low : 0
	— -1				-1.49 - -1		
	— -0.5				-0.99 - -0.5		
	— 0				-0.49 - 0		
	— 0.5				0.01 - 0.5		
	— 1				0.51 - 1		
	— 1.5				1.01 - 1.5		
	— 2				1.51 - 2		
	— 2.5				2.01 - 2.5		
	— 3				2.51 - 3		
	— 3.5				3.01 - 3.5		
	— 4				3.51 - 4		
					4.01 - 4.5		



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

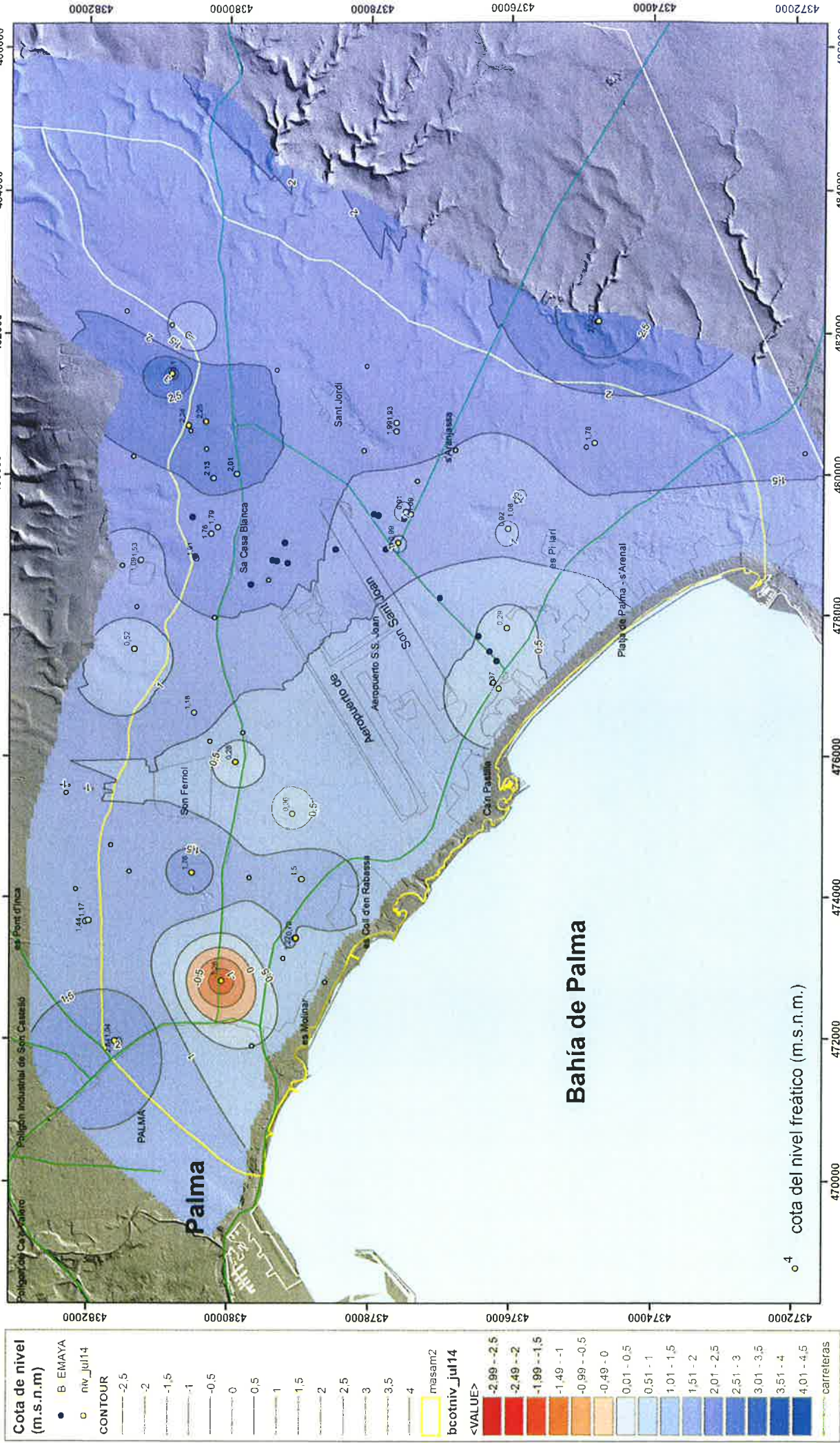


Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Junio 2014



Cota de nivel (m.s.n.m)	● B. EMAYA
	○ nv_jun14
CONTOUR	
— -2.5	
— -2	
— -1.5	
— -1	
— -0.5	
— 0	
— 0.5	
— 1	
— 1.5	
— 2	
— 2.5	
— 3	
— 3.5	
— 4	
	mesam2
	bcotniv_jun14
<VALUE>	
-2.99 - -2.5	
-2.49 - -2	
-1.99 - -1.5	
-1.49 - -1	
-0.99 - -0.5	
-0.49 - 0	
0.01 - 0.5	
0.51 - 1	
1.01 - 1.5	
1.51 - 2	
2.01 - 2.5	
2.51 - 3	
3.01 - 3.5	
3.51 - 4	
4.01 - 4.5	
	carreteras

Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Julio 2014



Cota de nivel (m.s.n.m.)

- B EMAYA
- niv_jul14

CONTOUR

- 2.5
- 2
- 1.5
- 1
- 0.5
- 0
- 0.5
- 1
- 1.5
- 2
- 2.5
- 3
- 3.5
- 4

masam2

bcotniv_jul14

<VALUE>

- 2.99 - -2.5
- 2.49 - -2
- 1.99 - -1.5
- 1.49 - -1
- 0.99 - -0.5
- 0.49 - 0
- 0.01 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 4.5

carreteras



0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE ESPAÑA

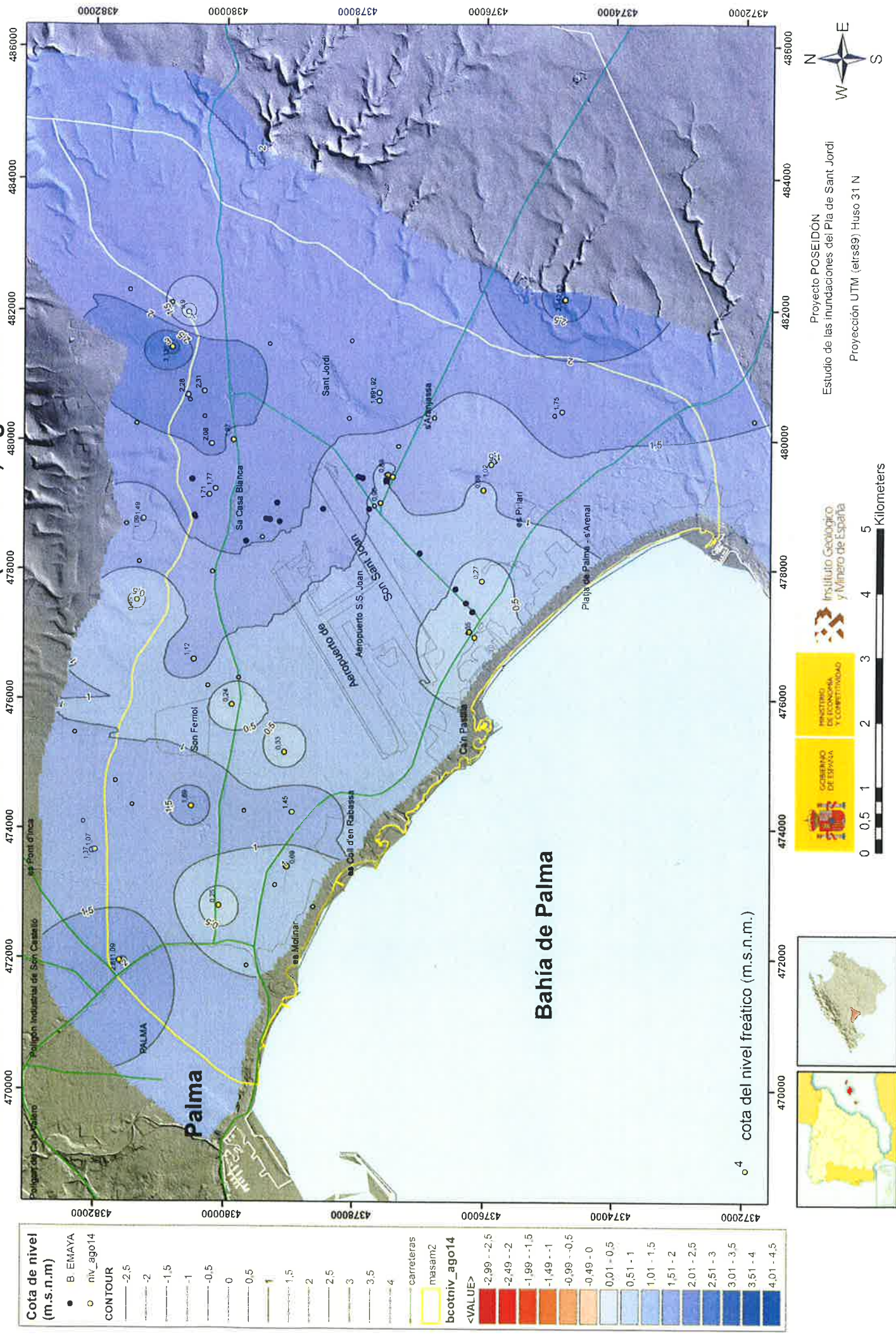
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España



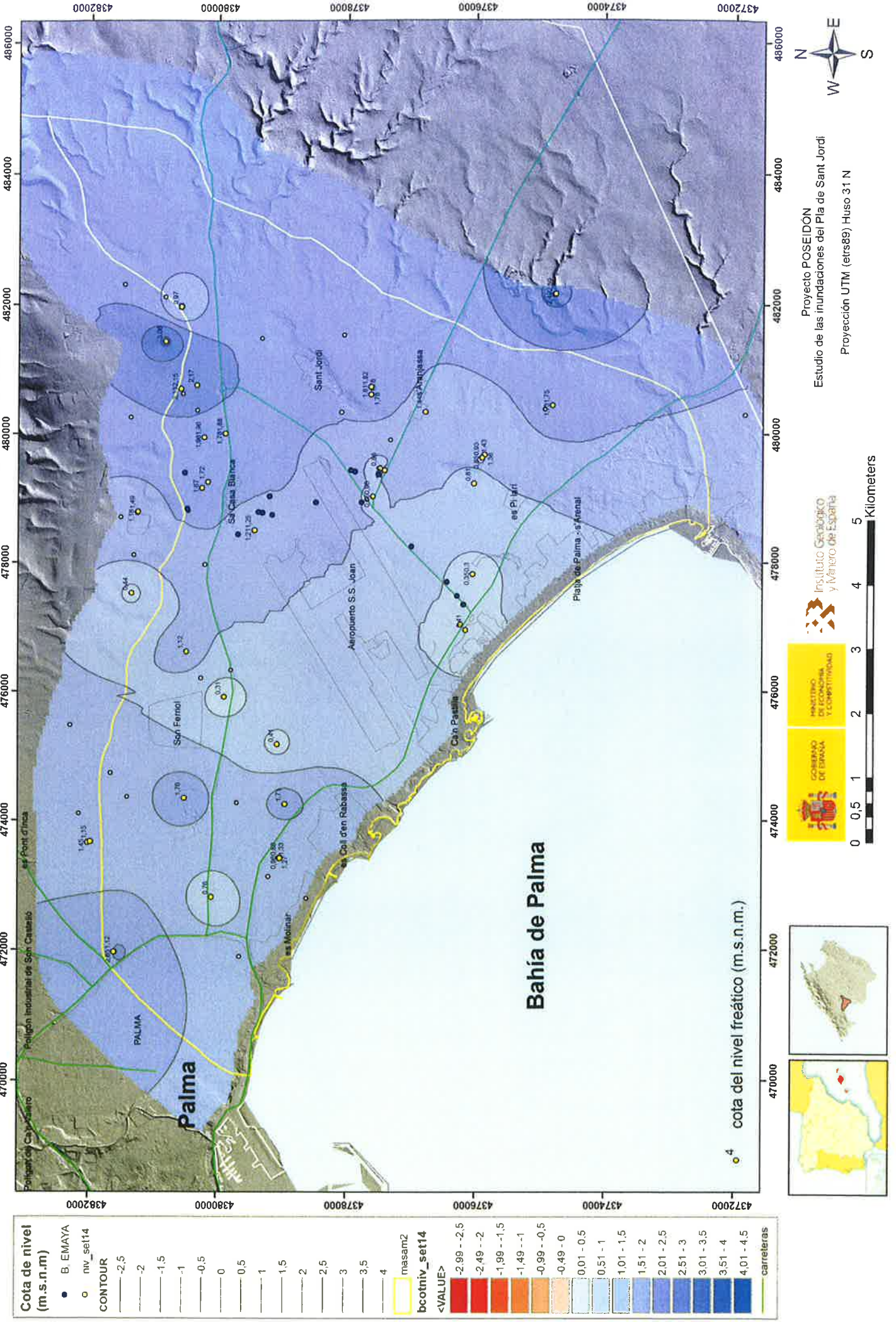
Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Agosto 2014

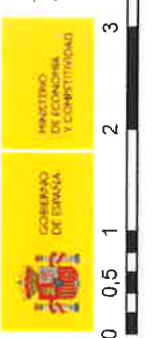


Cota de nivel (m.s.n.m)	● B EMAYA
	○ niv_ago14
CONTOUR	
	— 2.5
	— 2
	— 1.5
	— 1
	— 0.5
	— 0
	— 0.5
	— 1
	— 1.5
	— 2
	— 2.5
	— 3
	— 3.5
	— 4
carreteras	
	— masam2
bctotniv_ago14	
<VALUE>	
	-2.99 - -2.5
	-2.49 - -2
	-1.99 - -1.5
	-1.49 - -1
	-0.99 - -0.5
	-0.49 - 0
	0.01 - 0.5
	0.51 - 1
	1.01 - 1.5
	1.51 - 2
	2.01 - 2.5
	2.51 - 3
	3.01 - 3.5
	3.51 - 4
	4.01 - 4.5

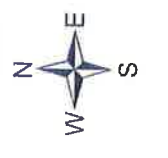
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 2014



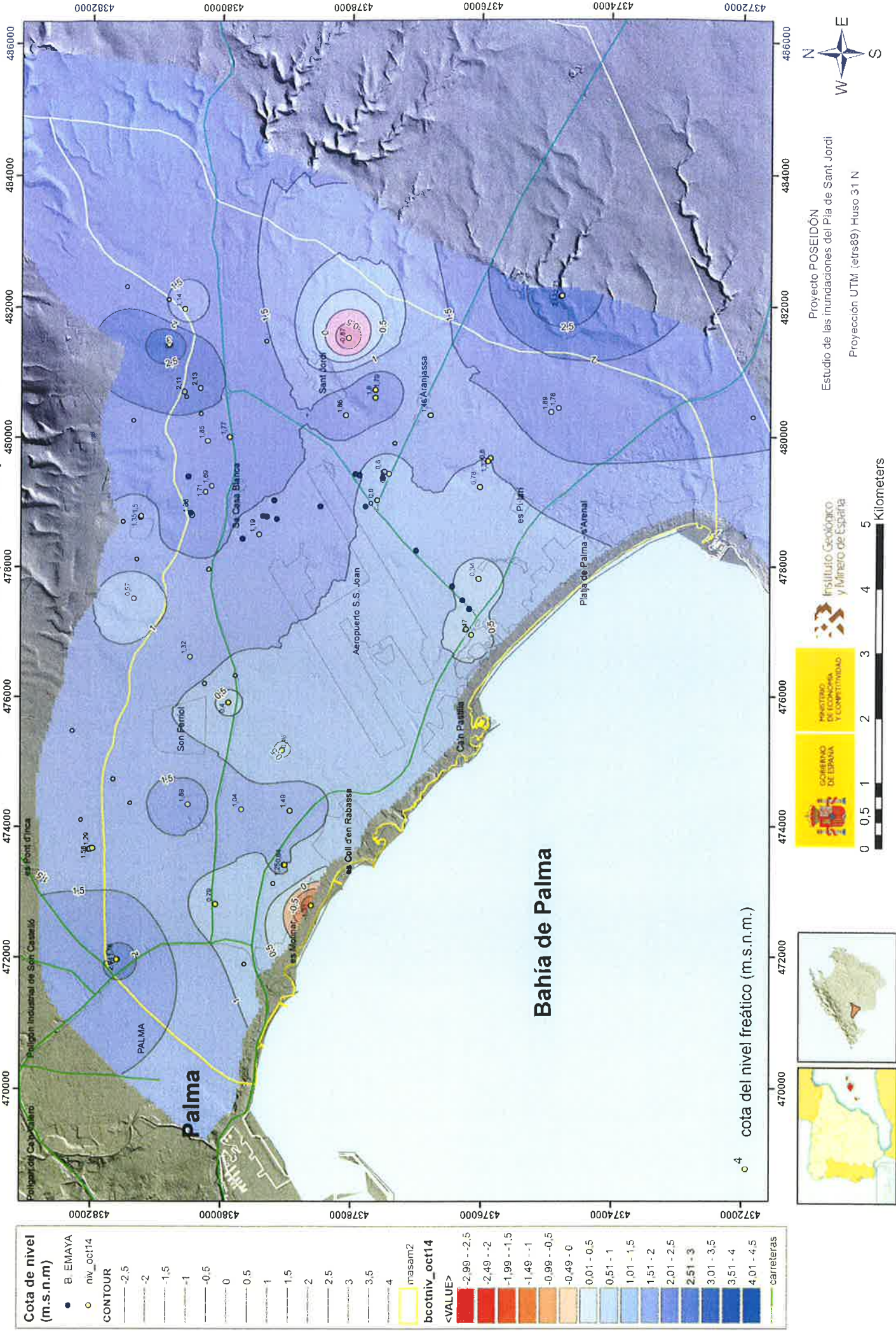
Cota de nivel (m.s.n.m.)	● B. EMAYA	○ niv_set14
CONTOUR	— -2.5	— -2
	— -1.5	— -1
	— -0.5	— 0
	— 0.5	— 1
	— 1.5	— 2
	— 2.5	— 3
	— 3.5	— 4
	— 4	— masam2
bcotniv_set14	<VALUE>	
	-2.99 - -2.5	-2.49 - -2
	-1.99 - -1.5	-1.49 - -1
	-0.99 - -0.5	-0.49 - 0
	0.01 - 0.5	0.51 - 1
	1.01 - 1.5	1.51 - 2
	2.01 - 2.5	2.51 - 3
	3.01 - 3.5	3.51 - 4
	4.01 - 4.5	carreteras



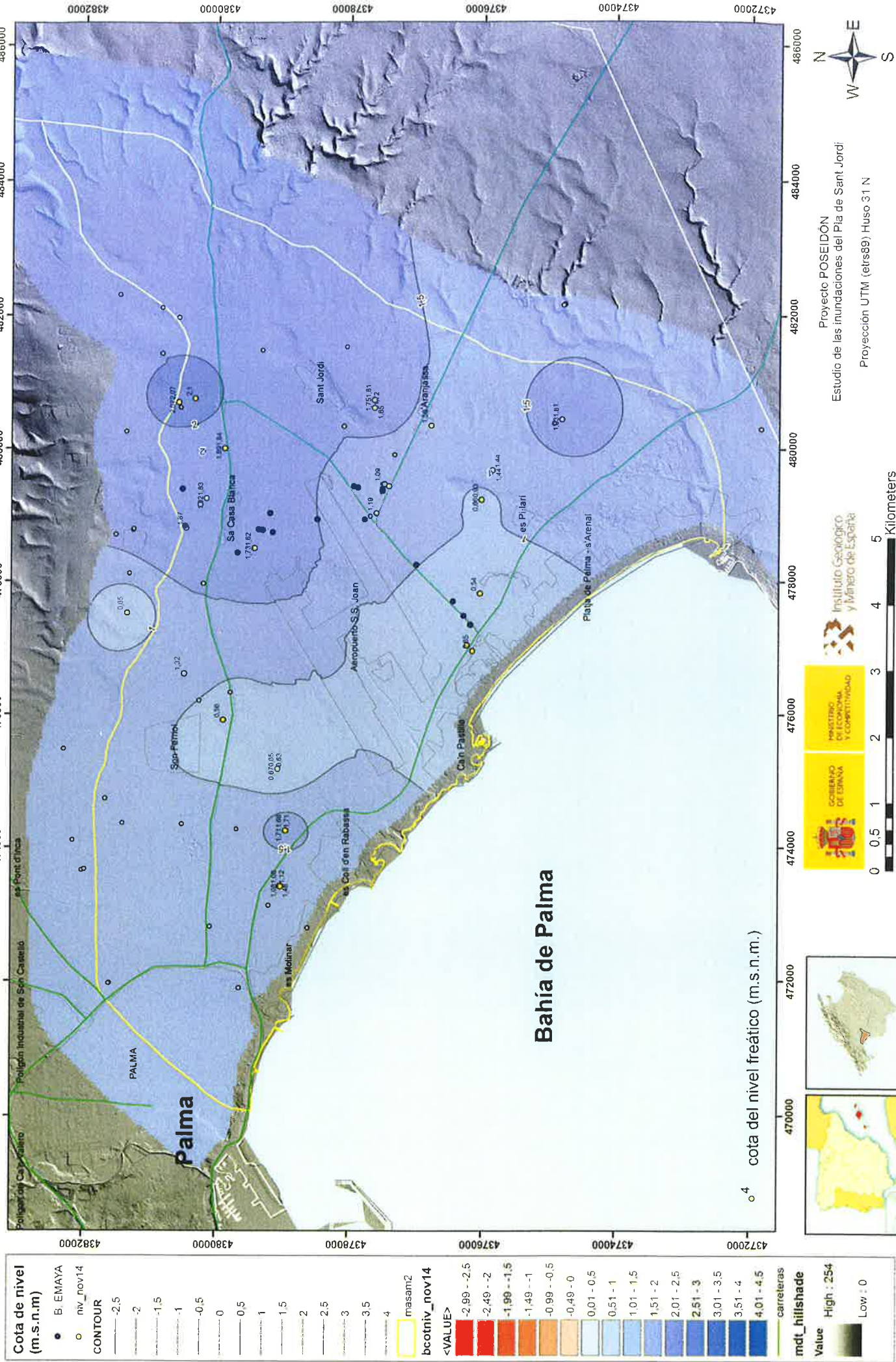
Proyecto POSEIDON
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



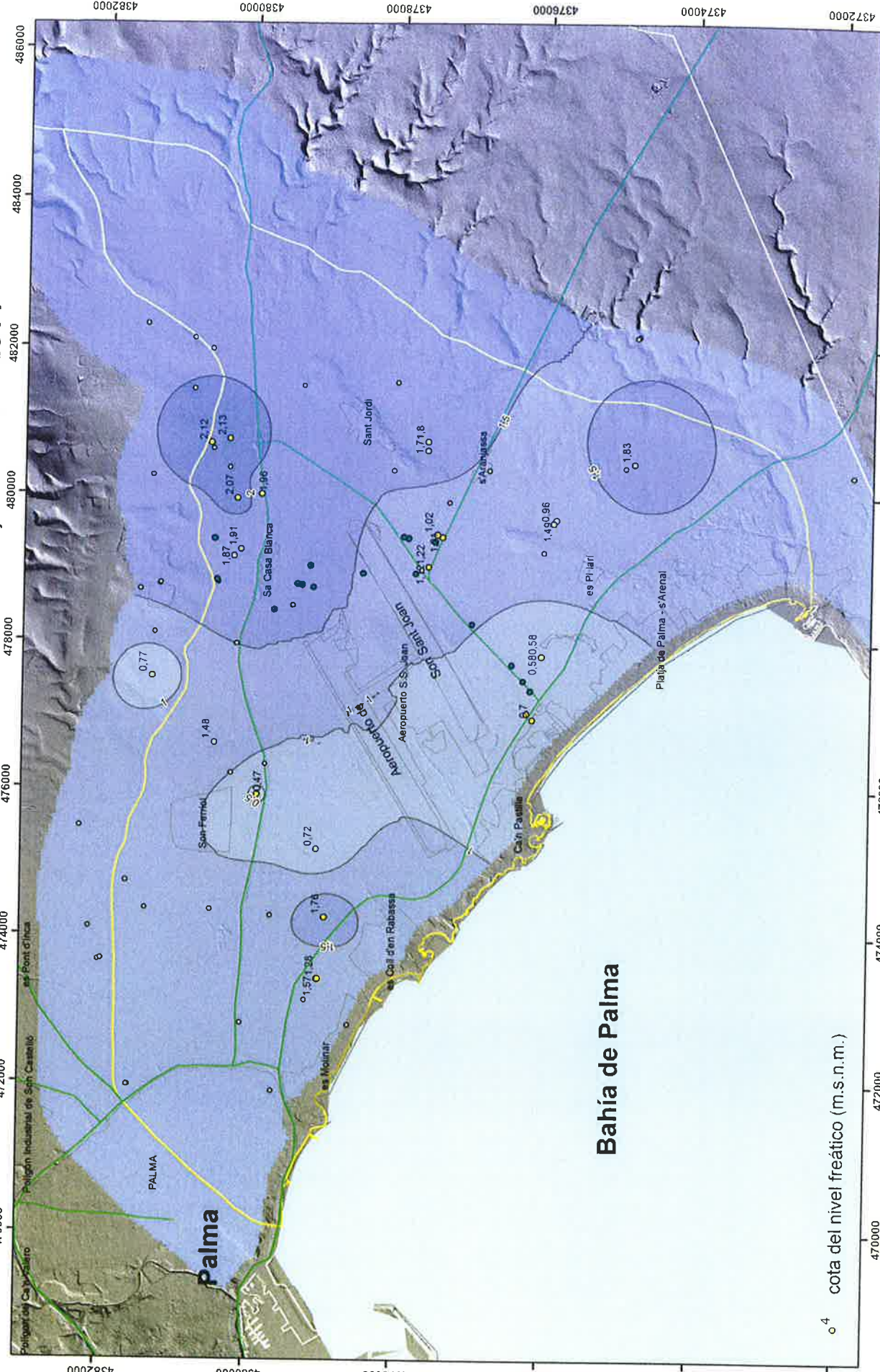
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 2014



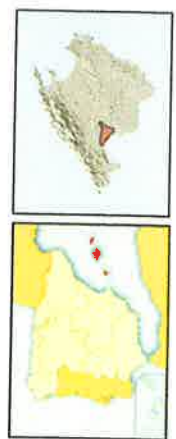
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Noviembre 2014








Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Diciembre 2014




Cota de nivel (m.s.n.m.)	● B. EMAYA
○ niv_dic14	
CONTOUR	
-2.5	
-2	
-1.5	
-1	
-0.5	
0	
0.5	
1	
1.5	
2	
2.5	
3	
3.5	
4	
carreteras	
masam2	
bcotniv_dic14	
<VALUE>	
-2.99 - -2.5	
-2.49 - -2	
-1.99 - -1.5	
-1.49 - -1	
-0.99 - -0.5	
-0.49 - 0	
0.01 - 0.5	
0.51 - 1	
1.01 - 1.5	
1.51 - 2	
2.01 - 2.5	
2.51 - 3	
3.01 - 3.5	
3.51 - 4	
4.01 - 4.5	



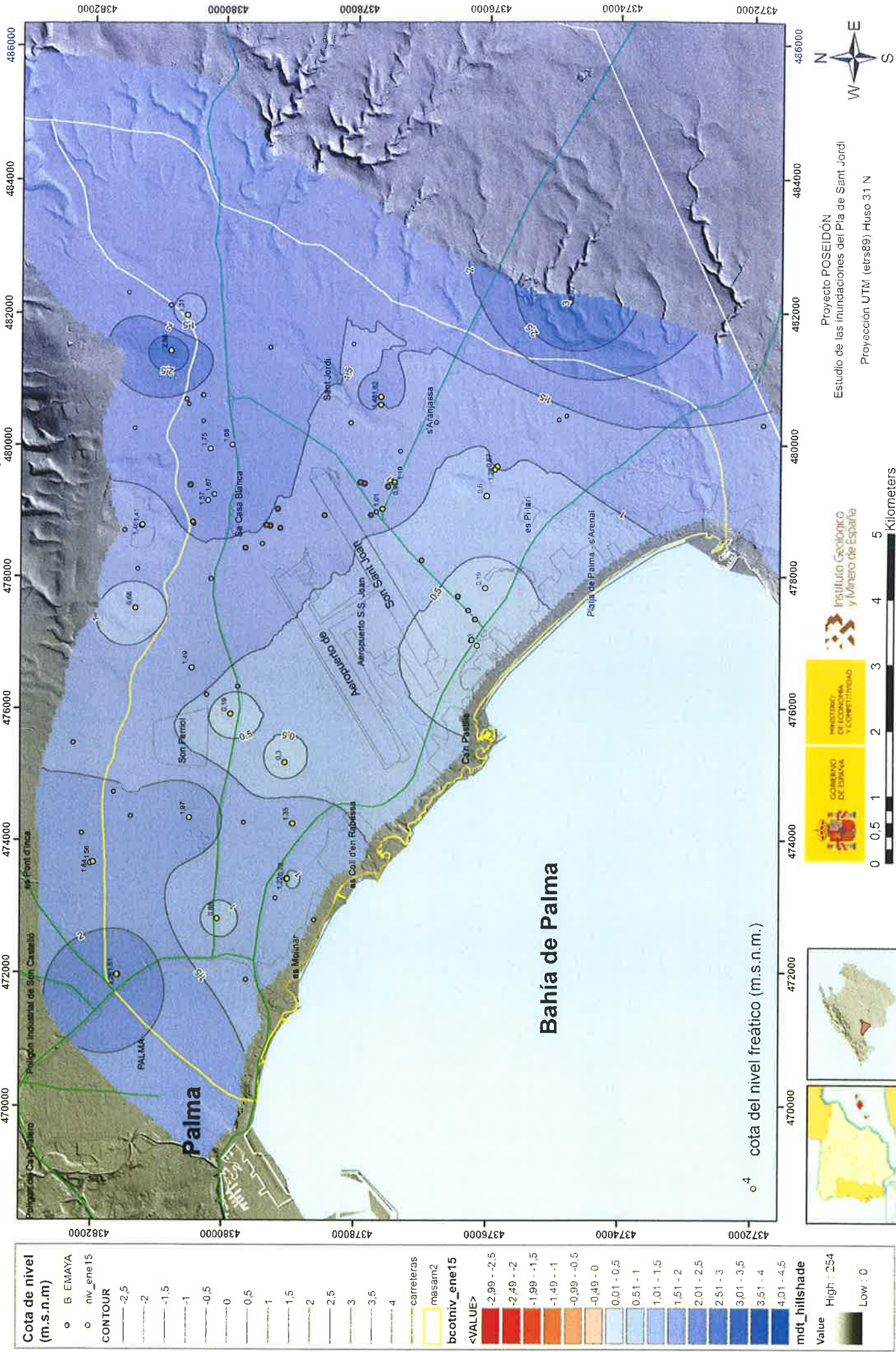






 0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

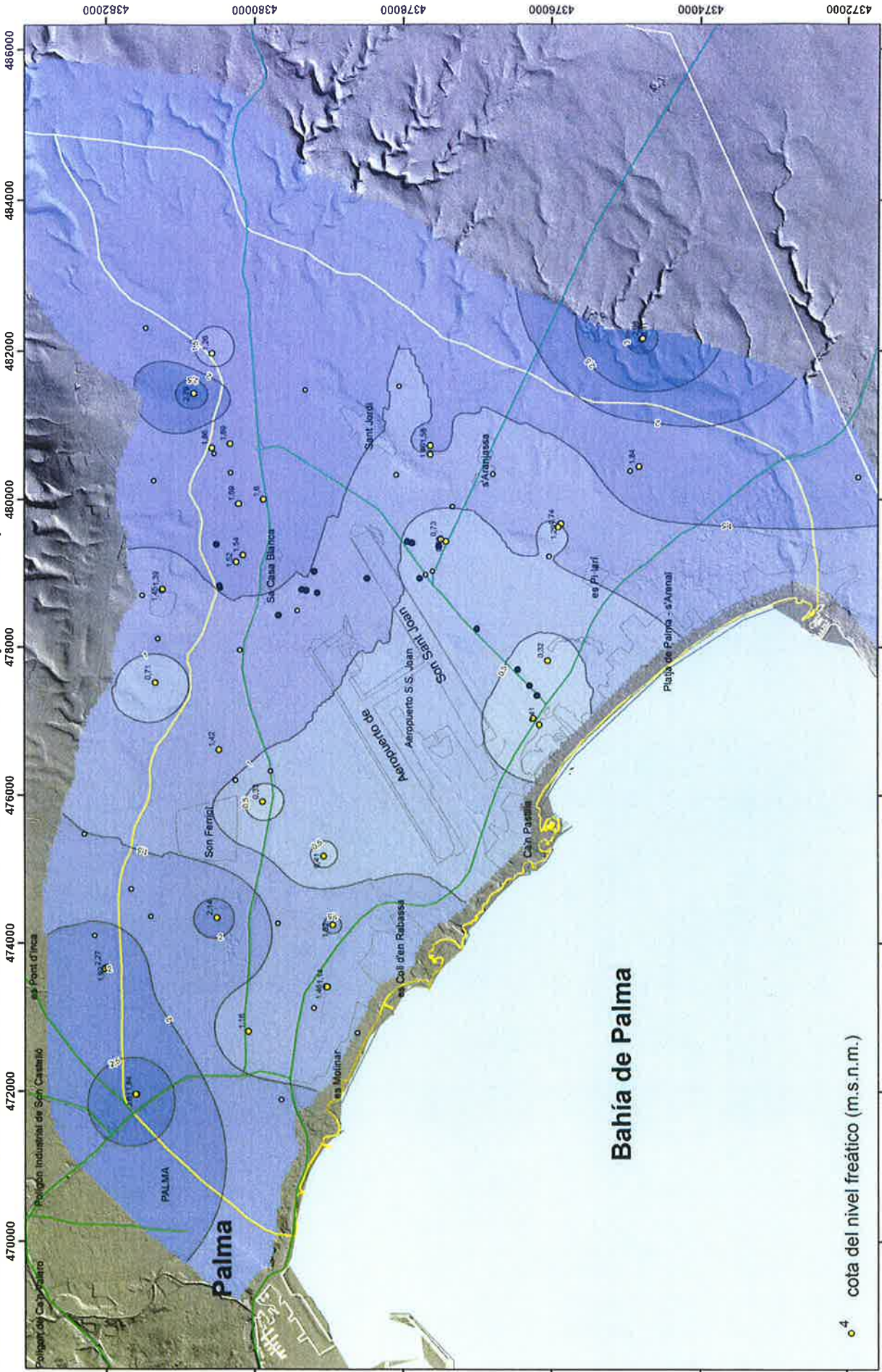
Proyecto POSEIDON
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Enero 2015



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Febrero 2015



Cota de nivel (m.s.n.m.)

- B. EMAYA
- niv_feb15

CONTOUR

- 2.5
- 2
- 1.5
- 1
- 0.5
- 0
- 0.5
- 1
- 1.5
- 2
- 2.5
- 3
- 3.5
- 4

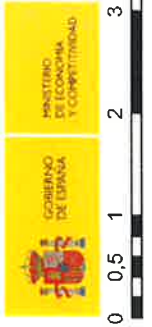
masam2

bcotniv_feb15

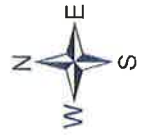
<VALUE>

- 2.99 - -2.5
- 2.49 - -2
- 1.99 - -1.5
- 1.49 - -1
- 0.99 - -0.5
- 0.49 - 0
- 0.01 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 4.5

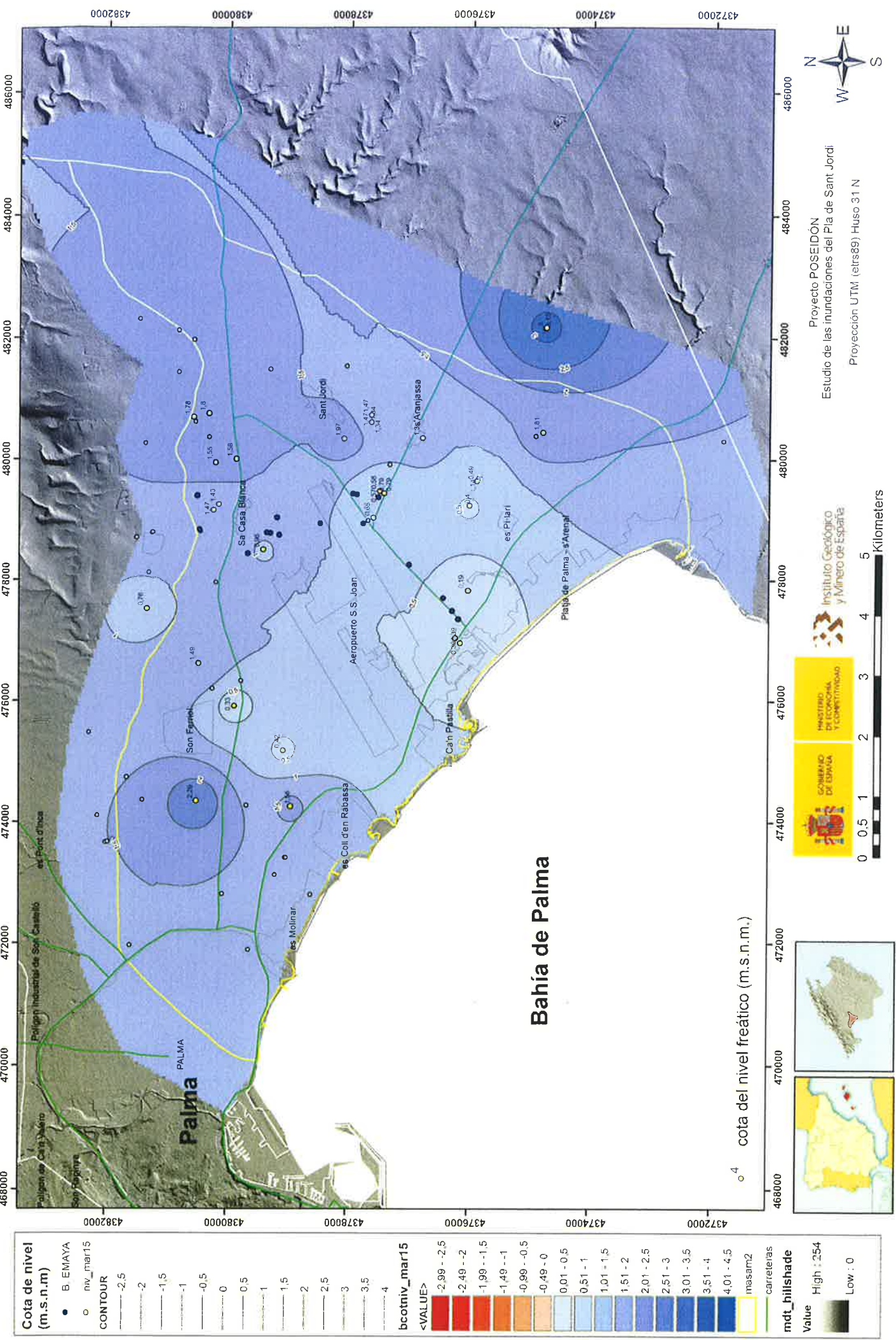
carreteras



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 2015



Cota de nivel (m.s.n.m)	● B. EMAYA	○ niv_mar15													
CONTOUR	-2.5	-2	-1.5	-1	-0.5	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	
bcotniv_mar15 <VALUE>	-2.99 - -2.5	-2.49 - -2	-1.99 - -1.5	-1.49 - -1	-0.99 - -0.5	-0.49 - 0	0.01 - 0.5	0.51 - 1	1.01 - 1.5	1.51 - 2	2.01 - 2.5	2.51 - 3	3.01 - 3.5	3.51 - 4	4.01 - 4.5
mdt_hillshade	masam2	carreteras													
Value	High : 254	Low : 0													

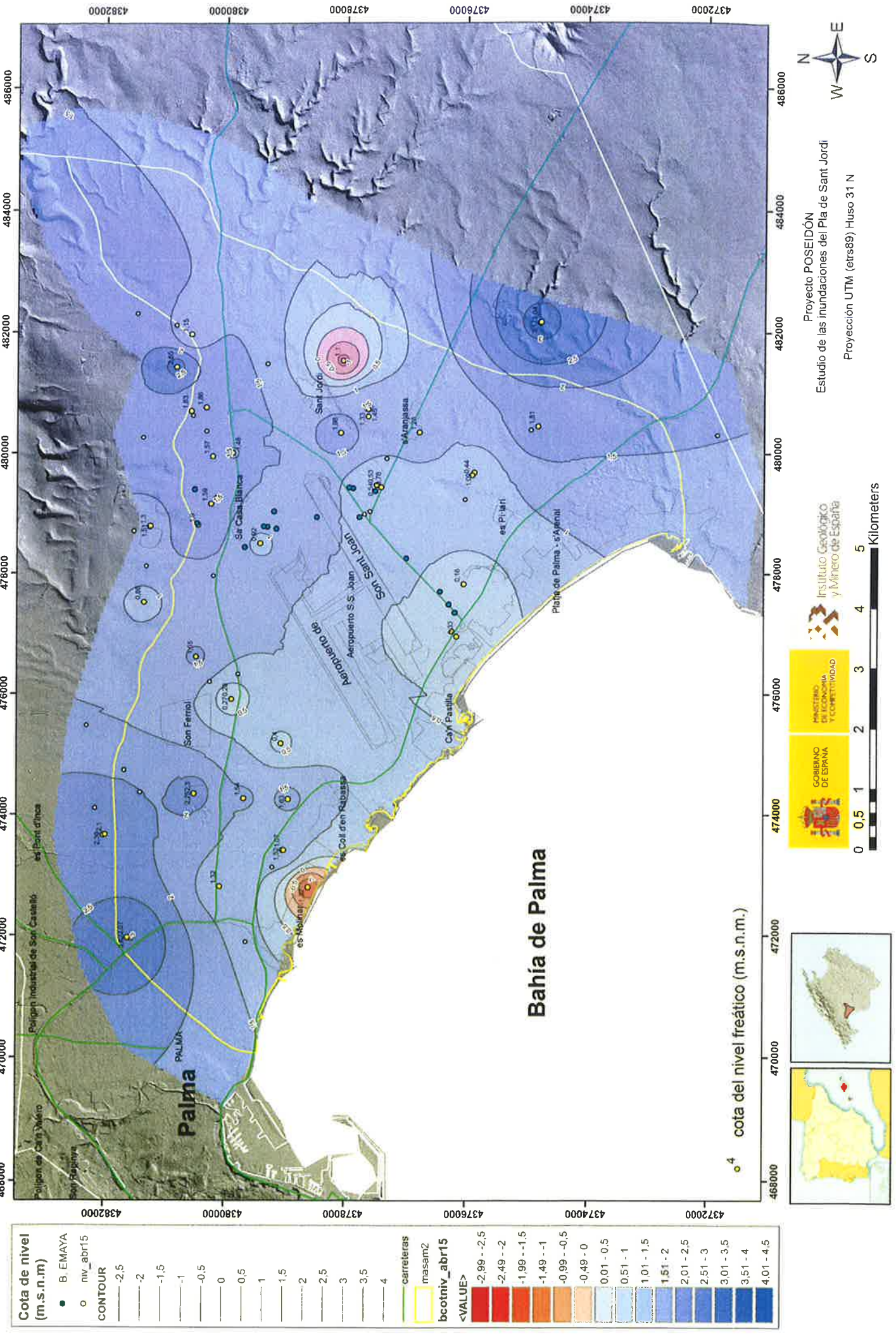


0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huuso 31 N



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 2015



Cota de nivel (m.s.n.m)	● B. EMAYA
	○ niv_abr15
CONTOUR	
-----	-2.5
-----	-2
-----	-1.5
-----	-1
-----	-0.5
-----	0
-----	0.5
-----	1
-----	1.5
-----	2
-----	2.5
-----	3
-----	3.5
-----	4
	carreteras
	masam2
bcotniv_abr15	
<VALUE>	
	-2.99 - -2.5
	-2.49 - -2
	-1.99 - -1.5
	-1.49 - -1
	-0.99 - -0.5
	-0.49 - 0
	0.01 - 0.5
	0.51 - 1
	1.01 - 1.5
	1.51 - 2
	2.01 - 2.5
	2.51 - 3
	3.01 - 3.5
	3.51 - 4
	4.01 - 4.5

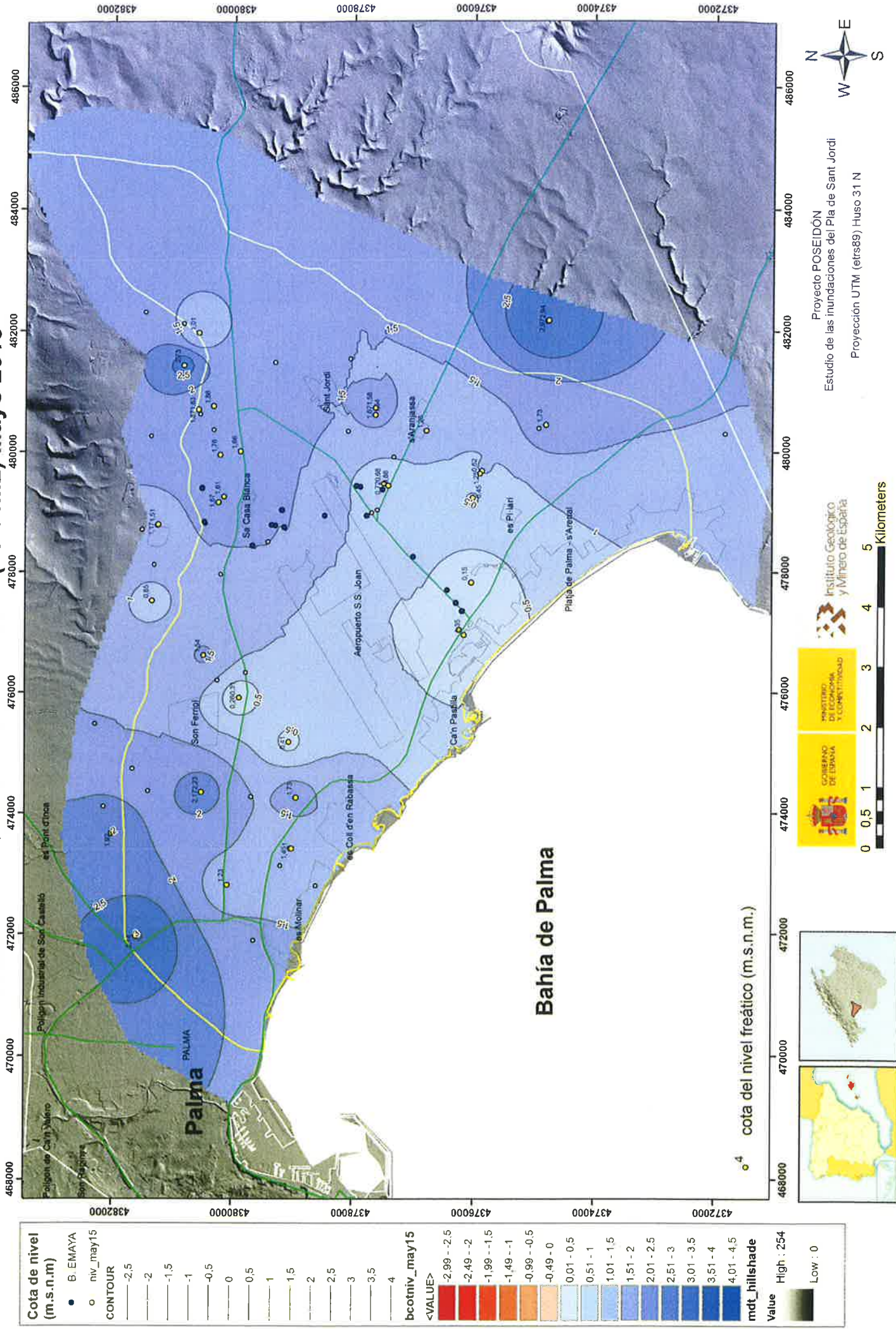


0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

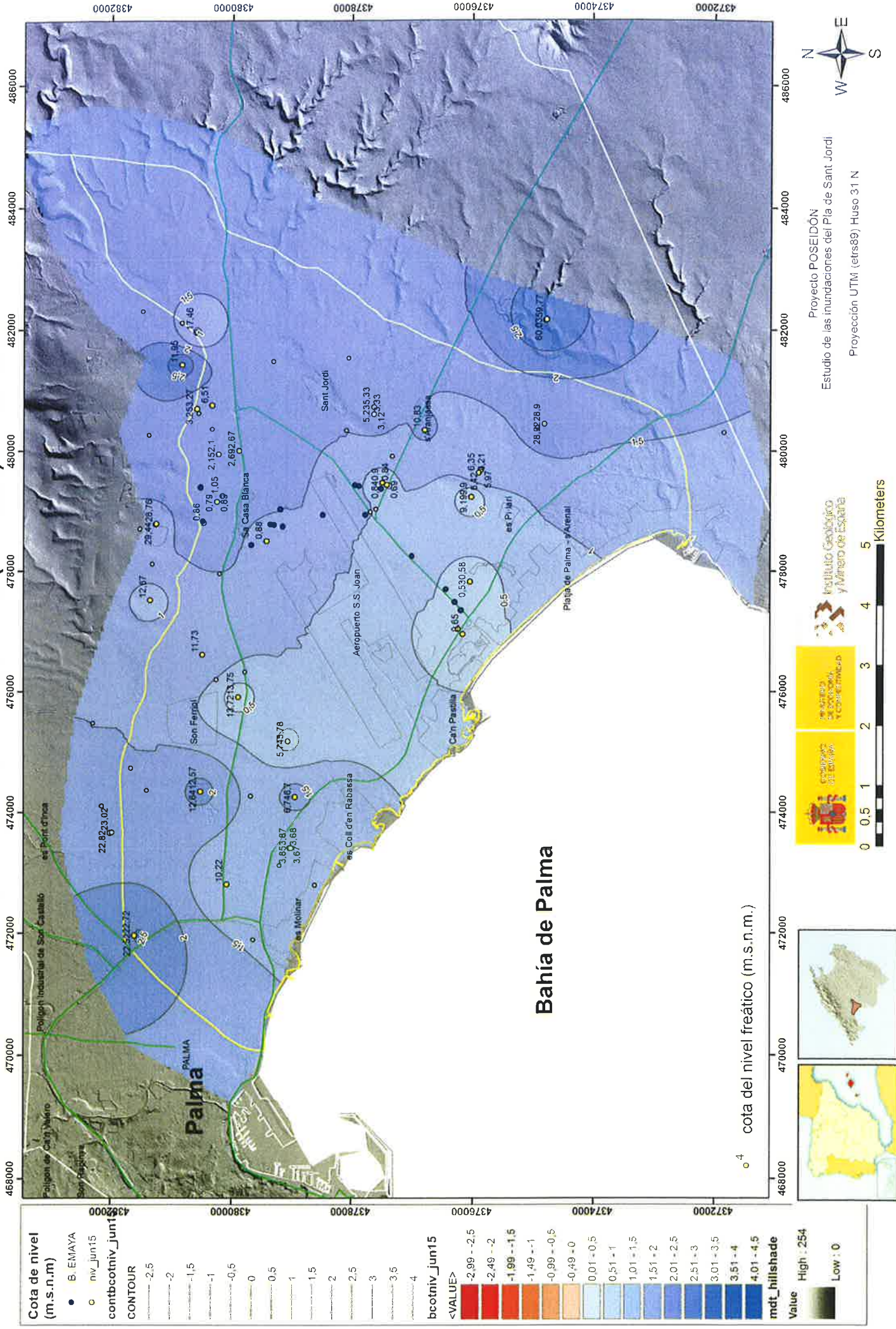
Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Mayo 2015

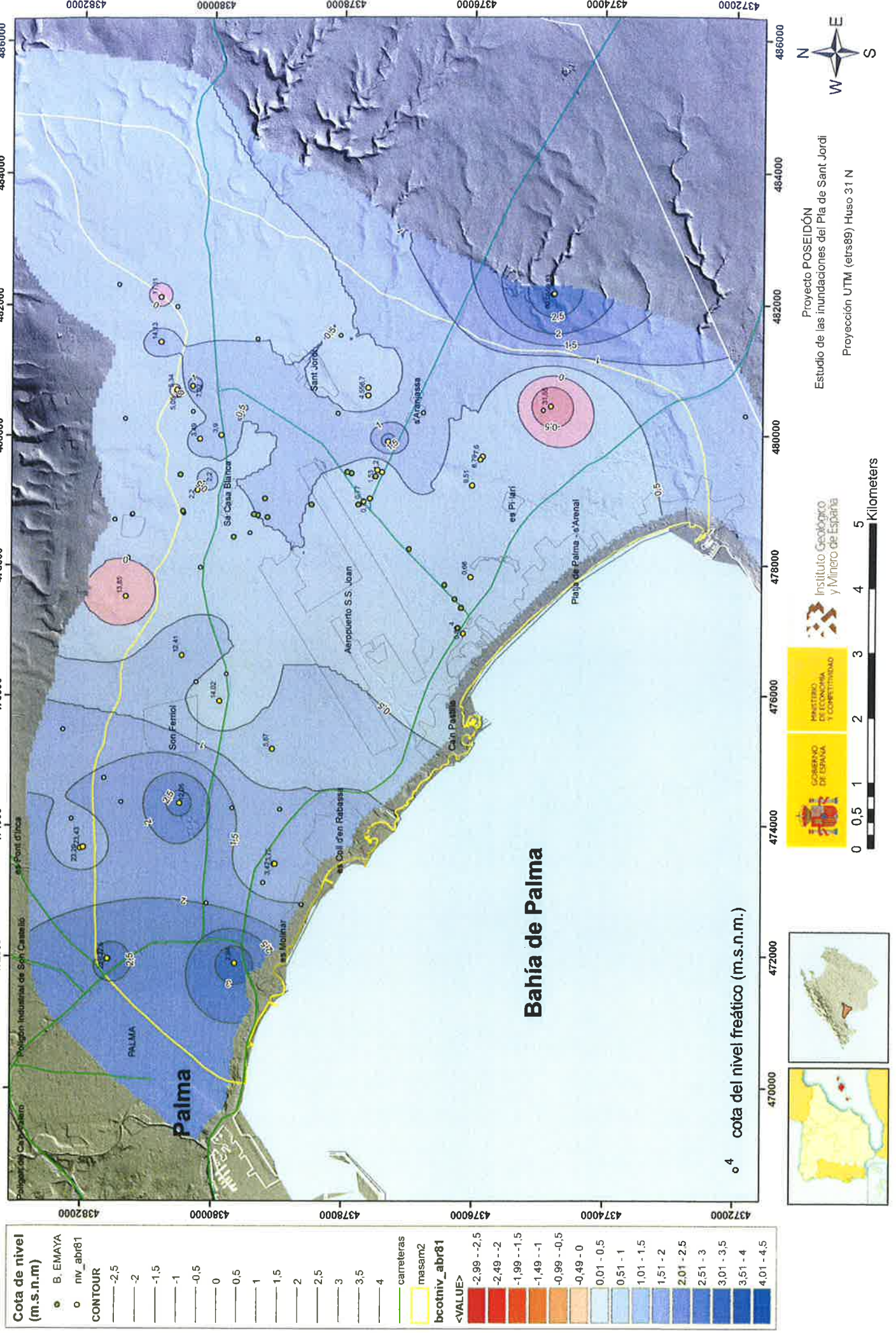


Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Junio 2015

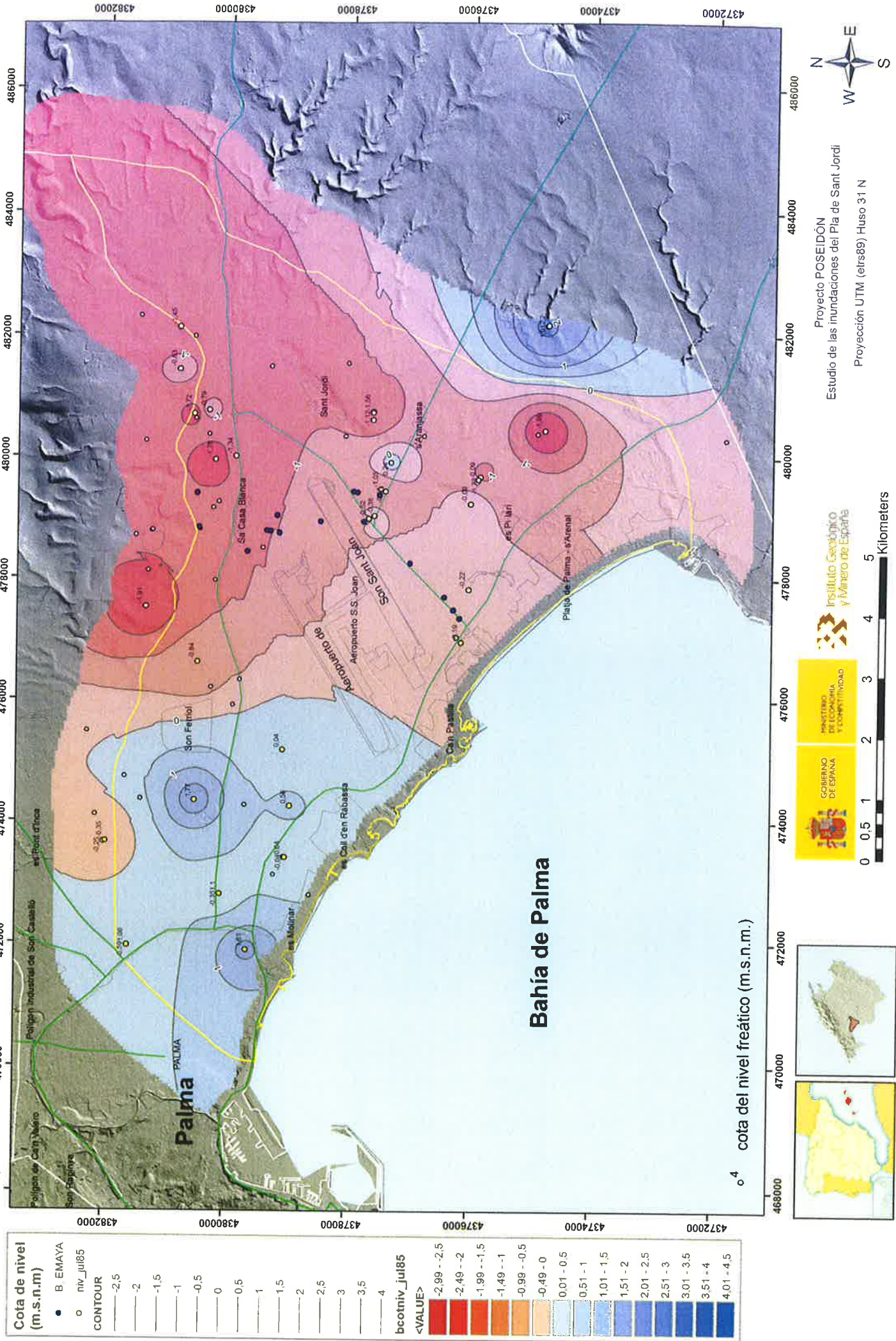


ANEXO 1 B
MAPAS MENSUALES DE PIEZOMETRÍA
Año hidrológico 1985-1986

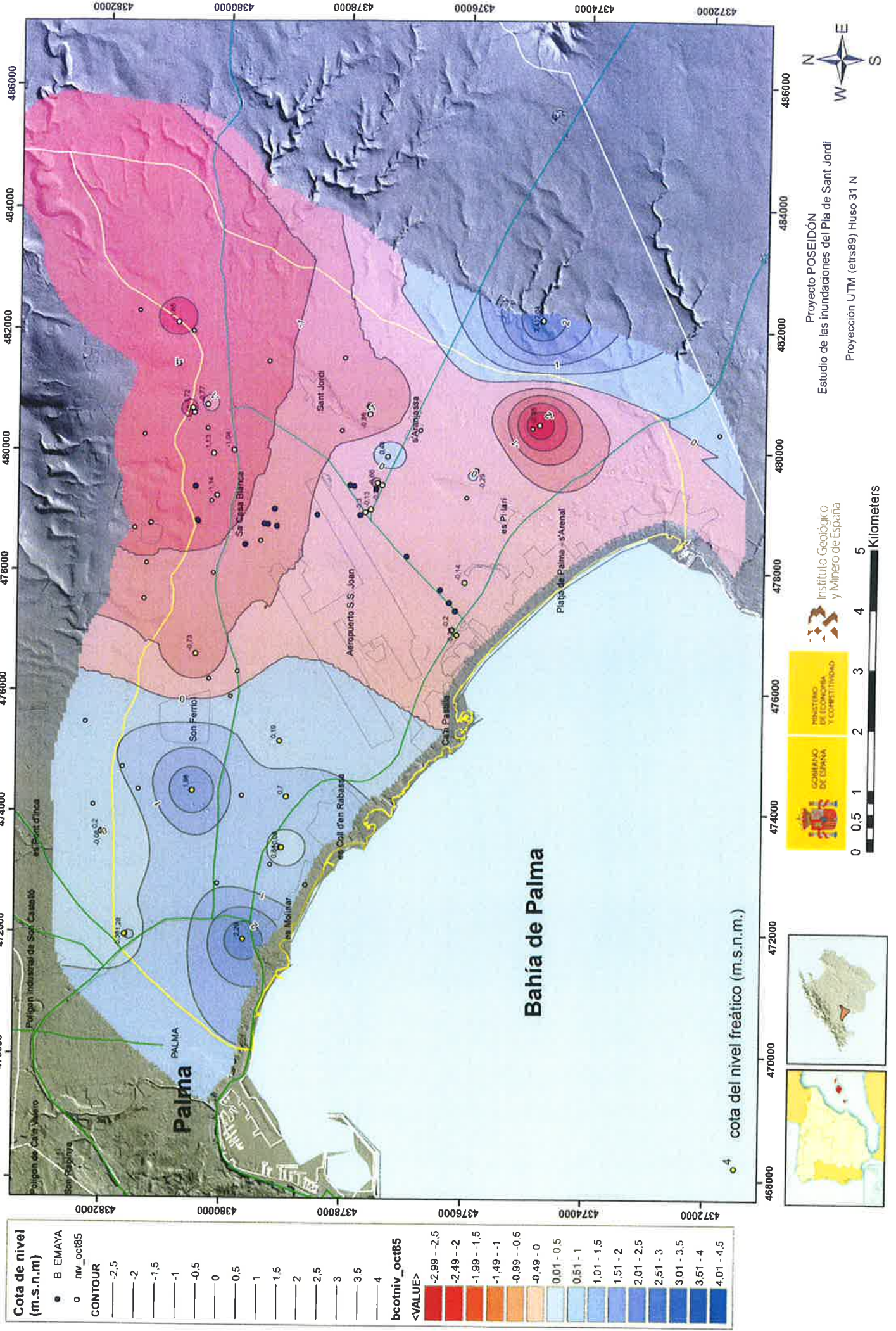
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 1981



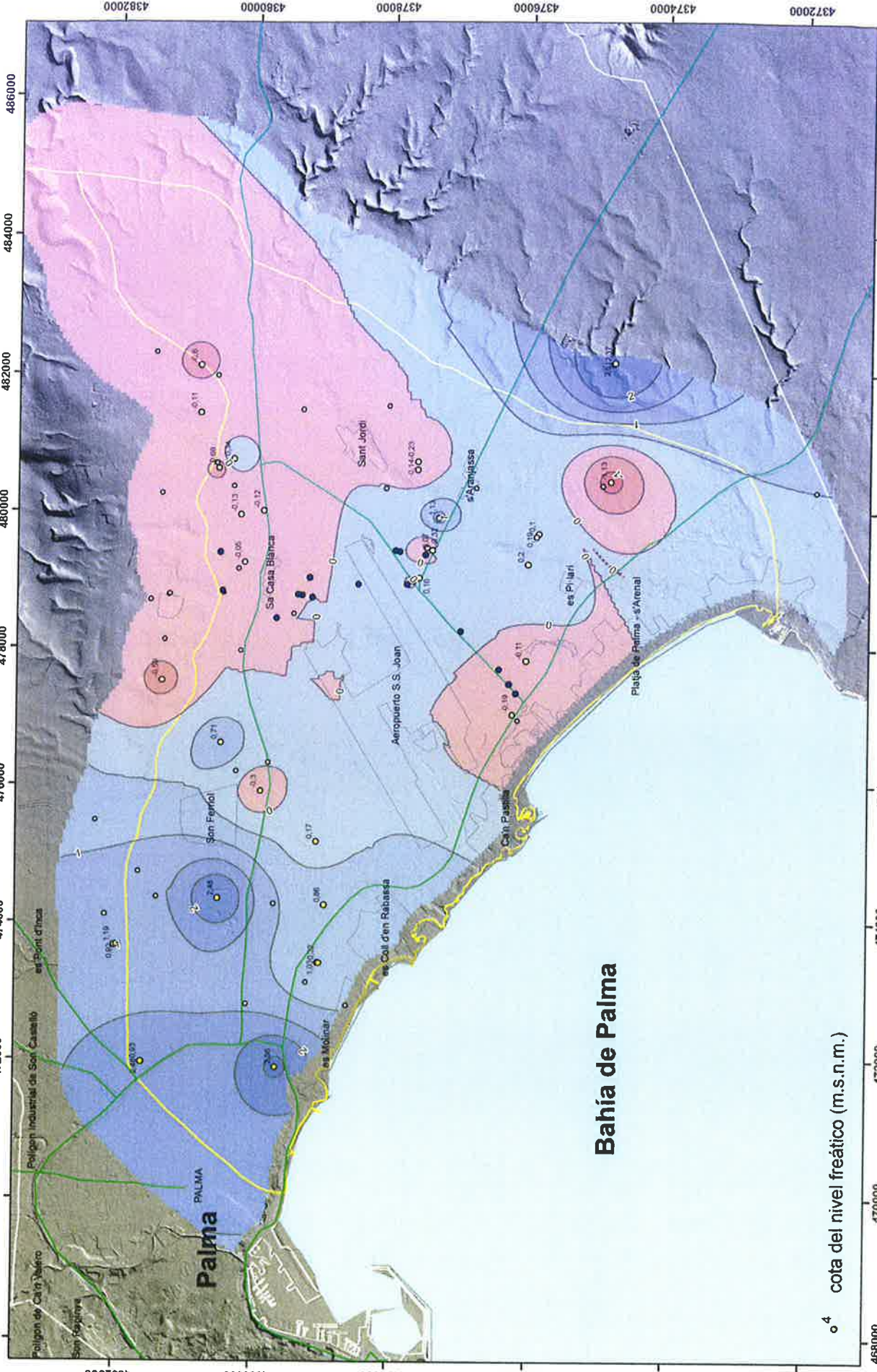
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Julio 1985



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 1985



Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 1986



Cota de nivel (m.s.n.m)

- B EMAYA
- niv_mar86

CONTOUR

- 2.5
- 2
- 1.5
- 1
- 0.5
- 0
- 0.5
- 1
- 1.5
- 2
- 2.5
- 3
- 3.5
- 4

bcoativ_mar86

<VALUE>

- 2.99 - -2.5
- 2.49 - -2
- 1.99 - -1.5
- 1.49 - -1
- 0.99 - -0.5
- 0.49 - 0
- 0.01 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 4.5



0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE ESPAÑA

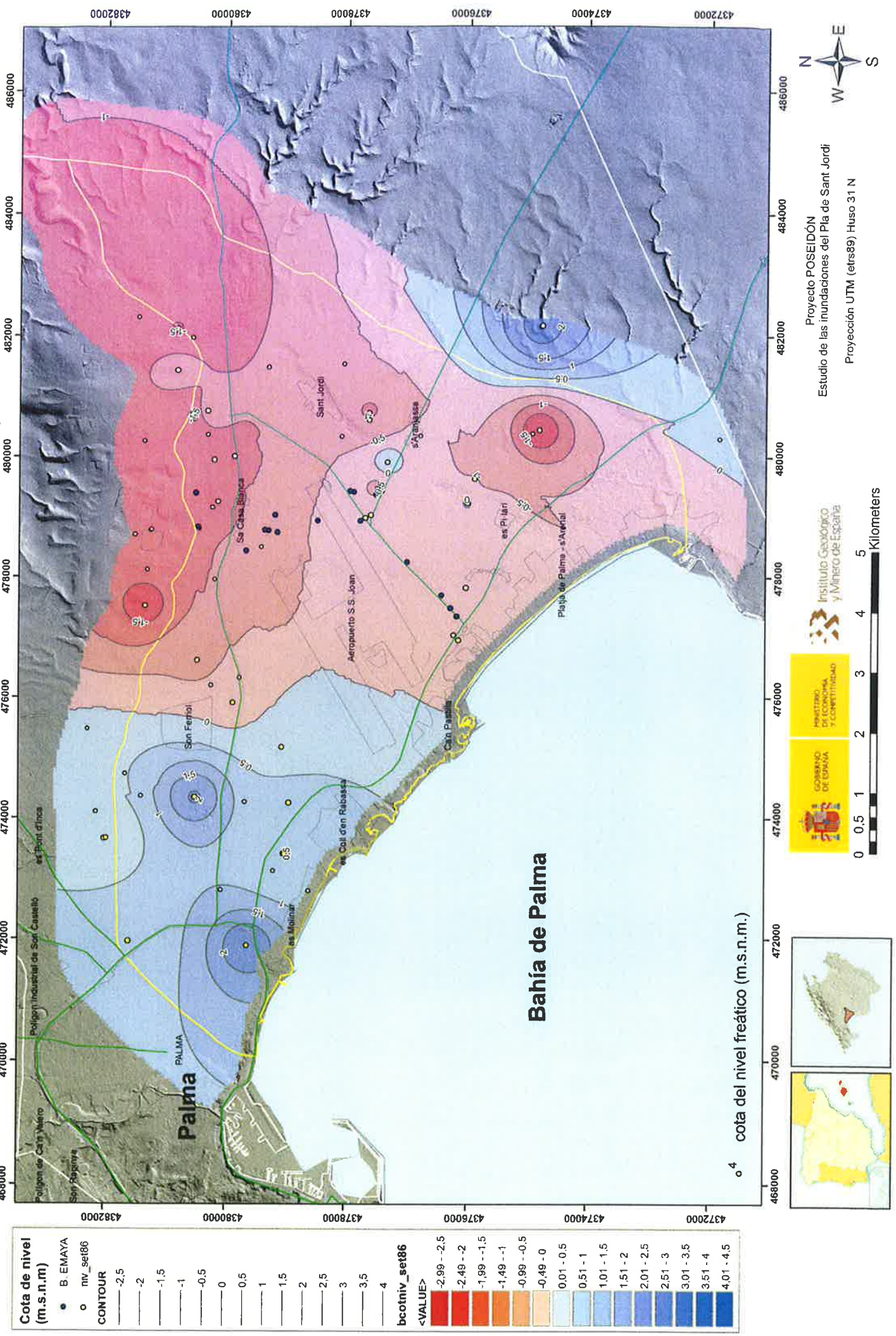
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA

Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

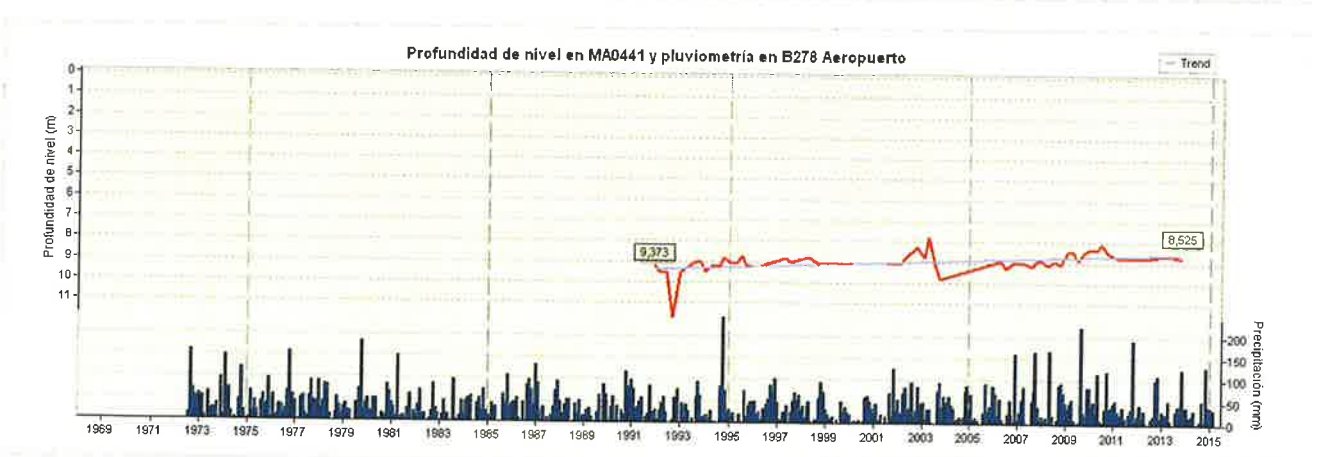
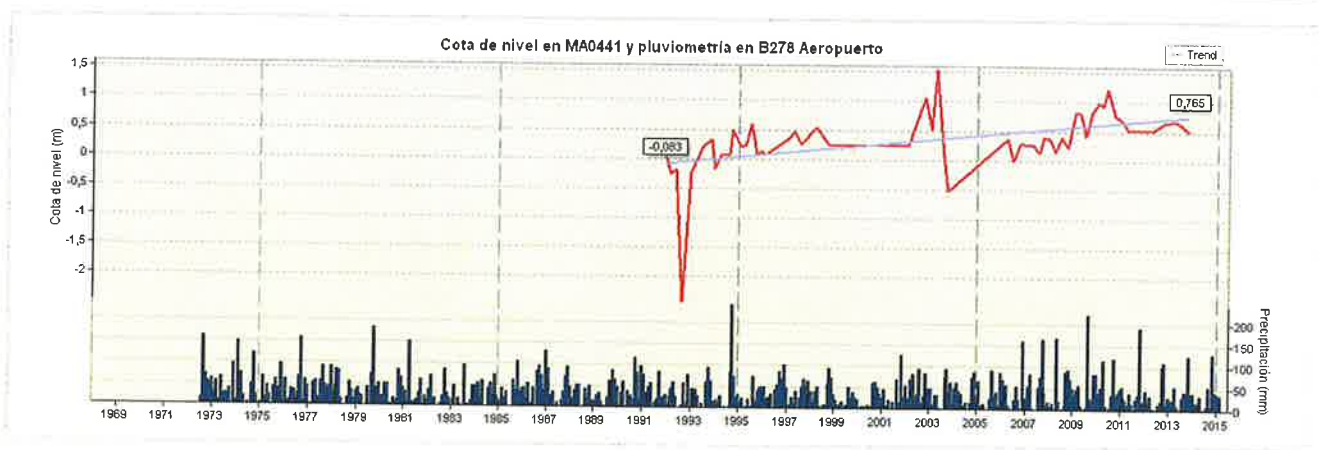
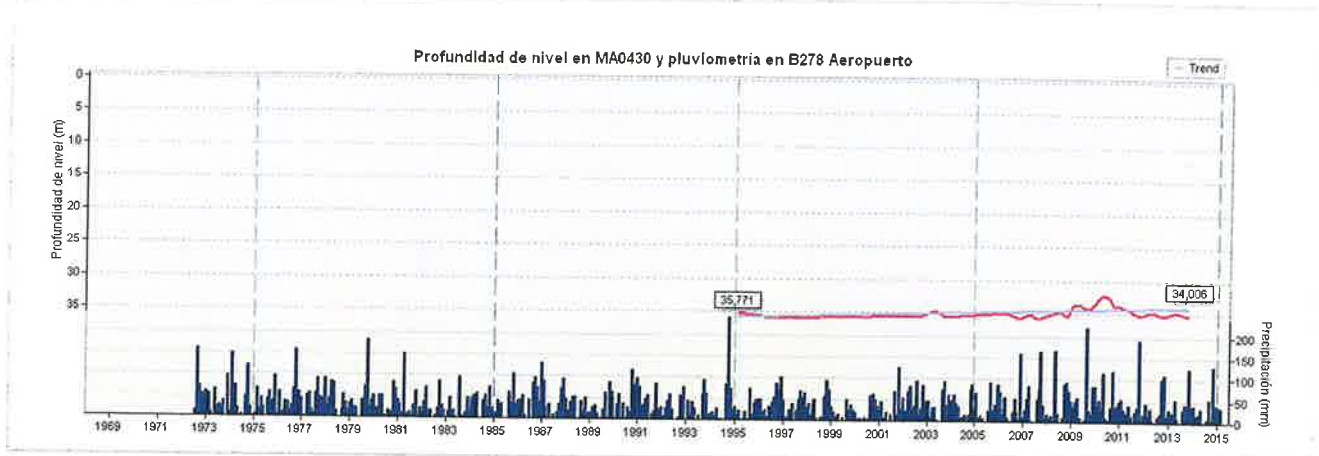
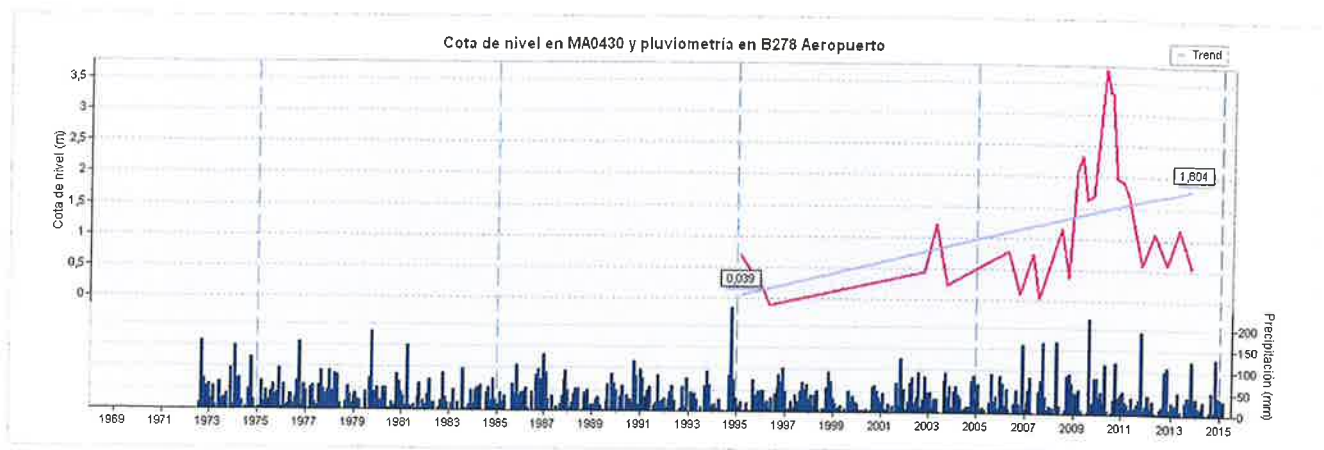


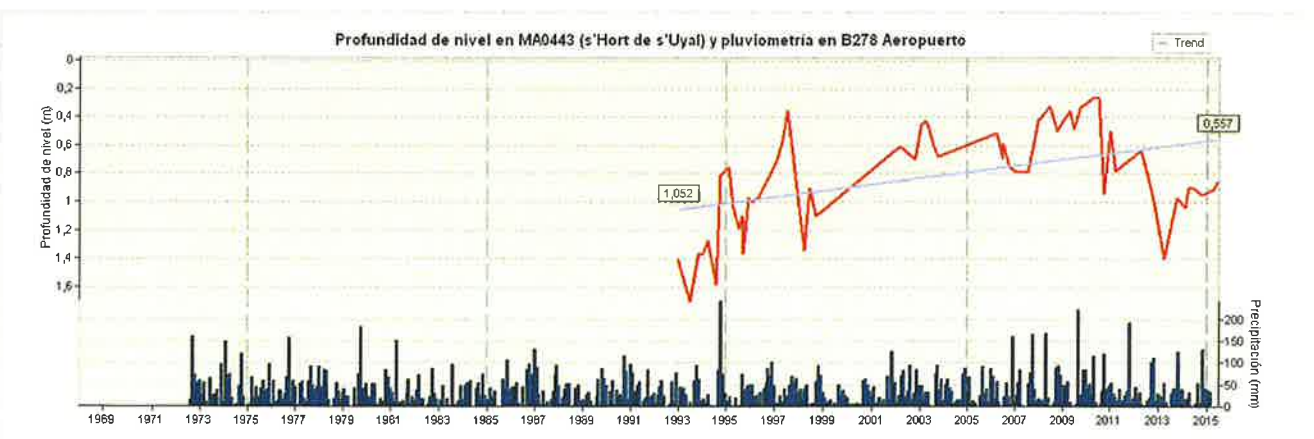
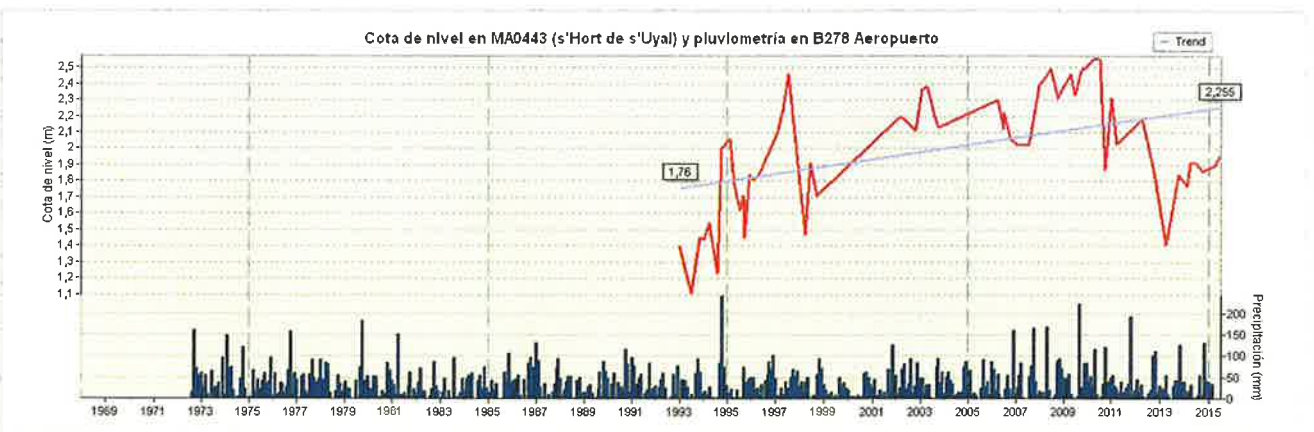
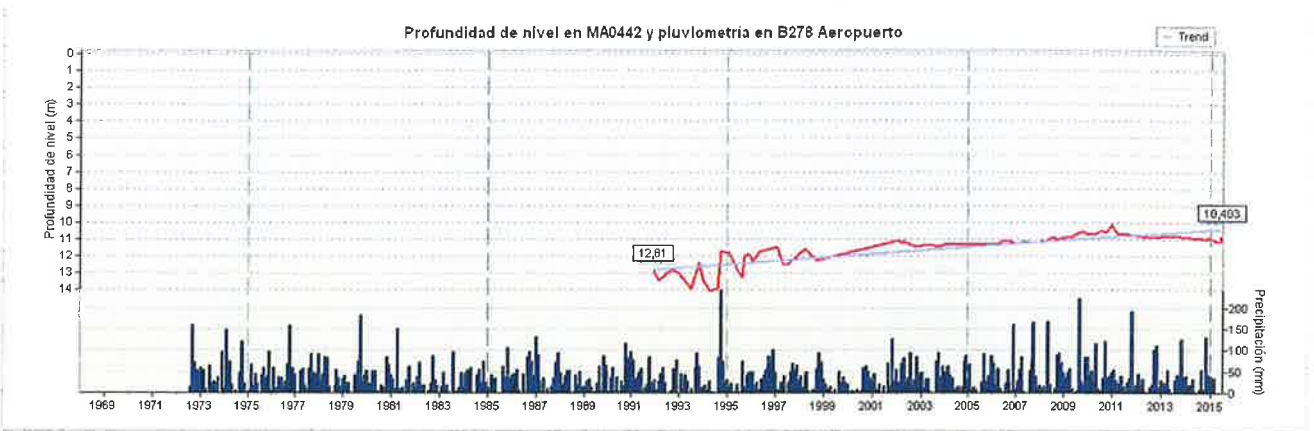
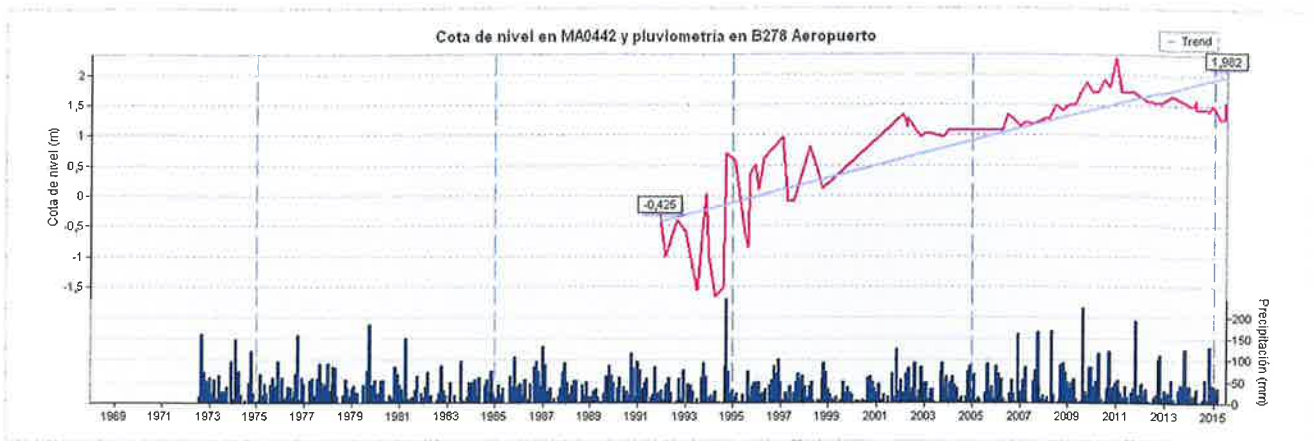
Piezometría del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 1986

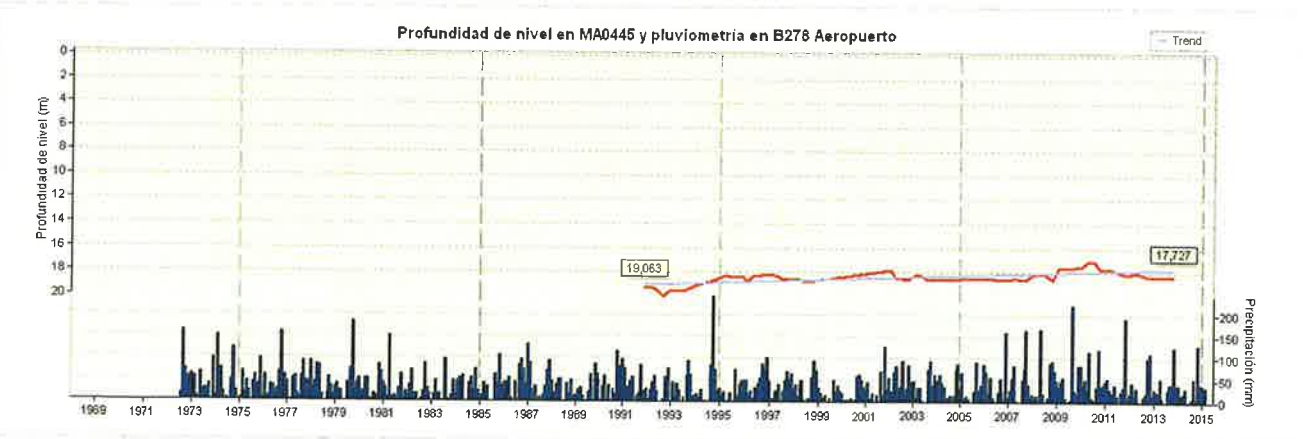
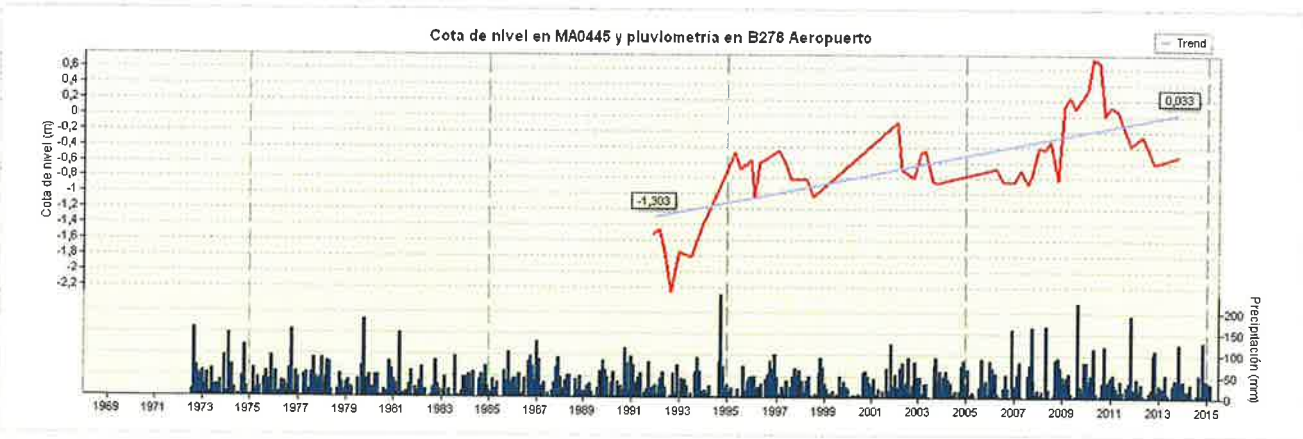
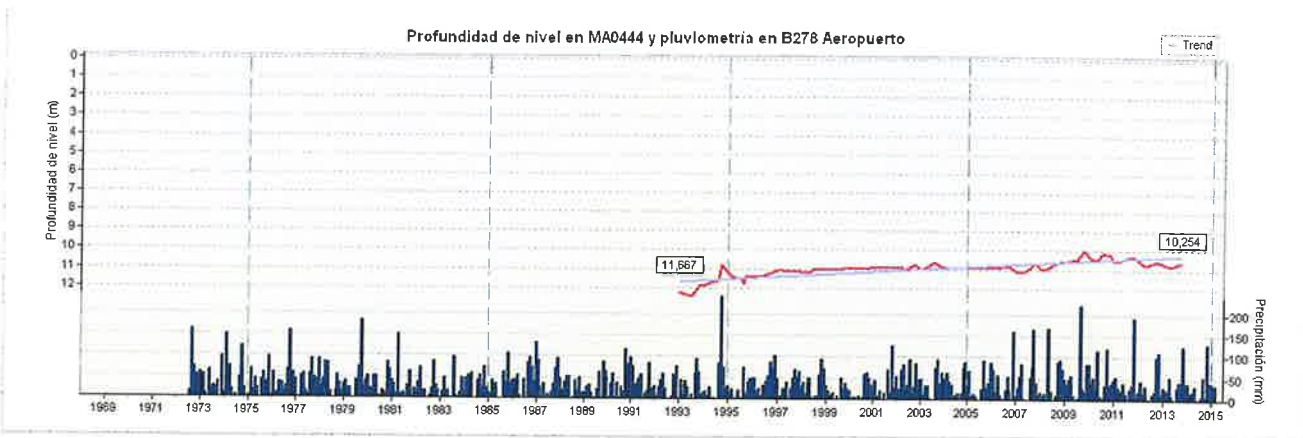
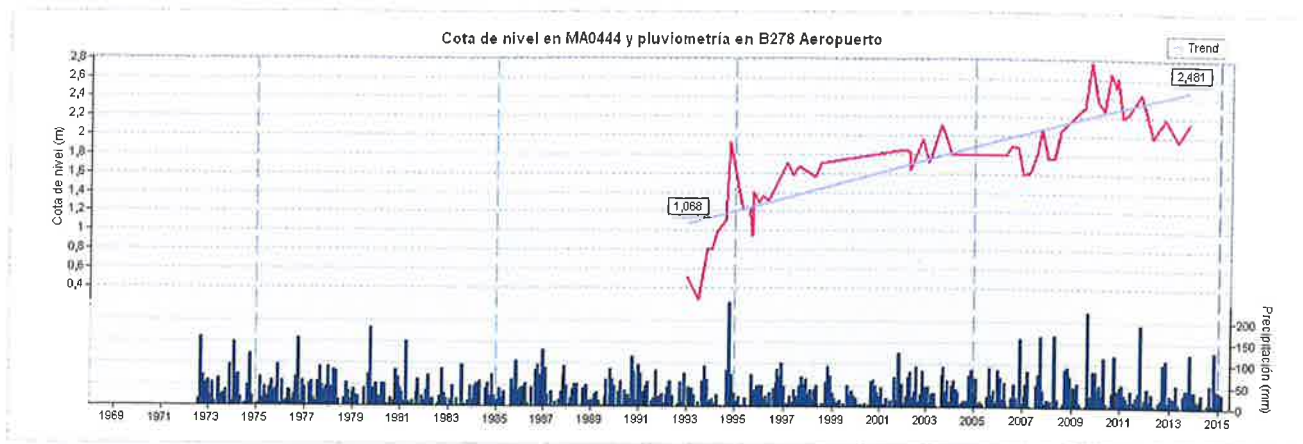


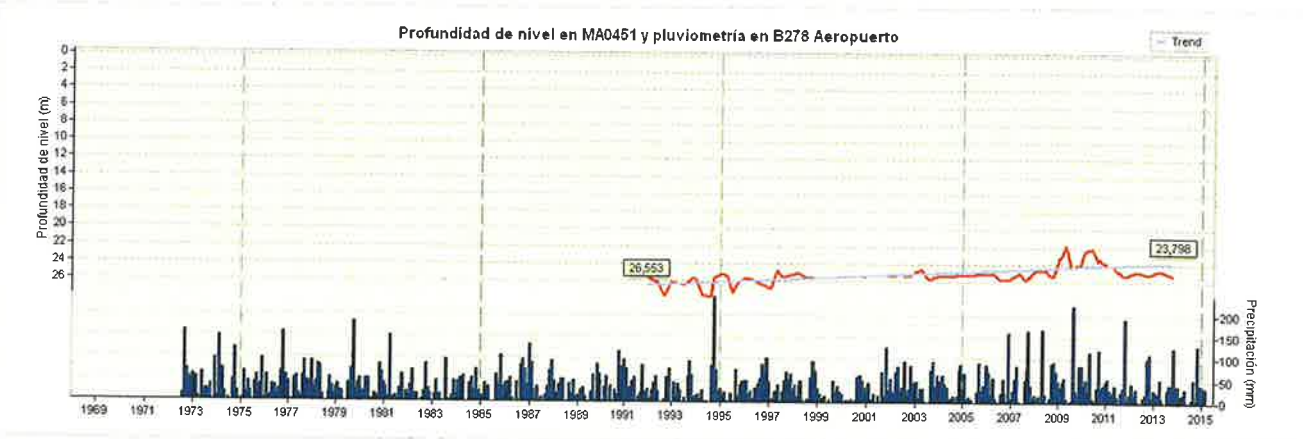
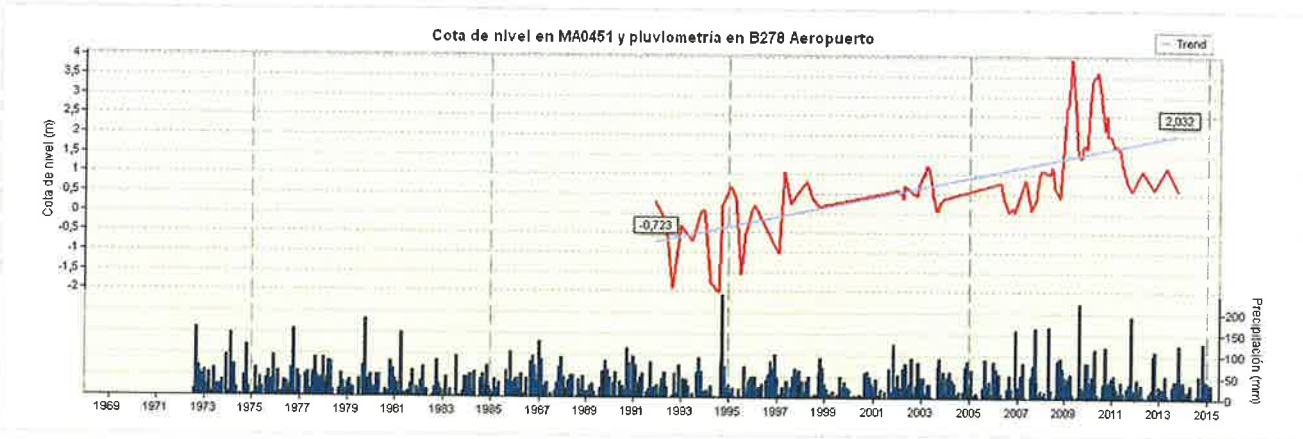
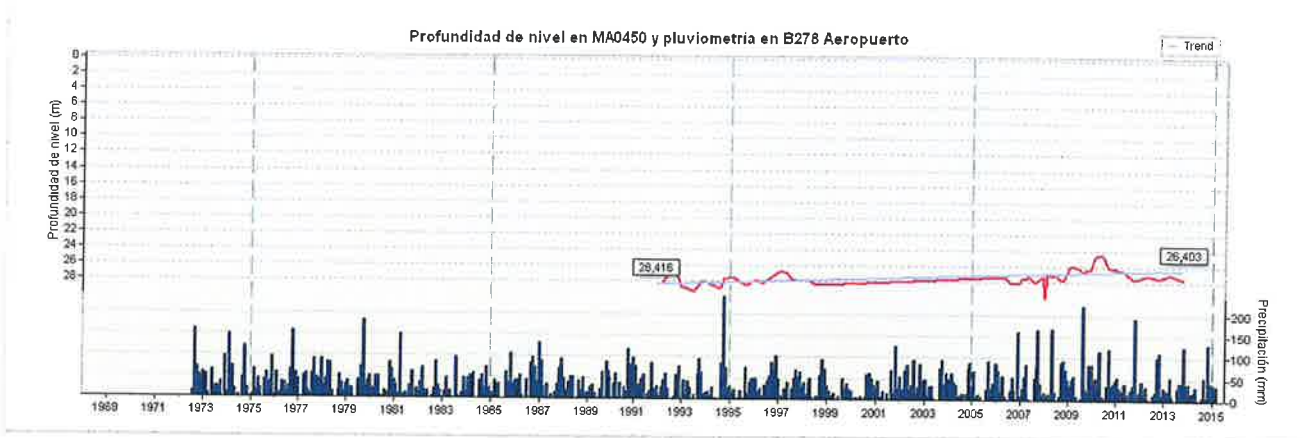
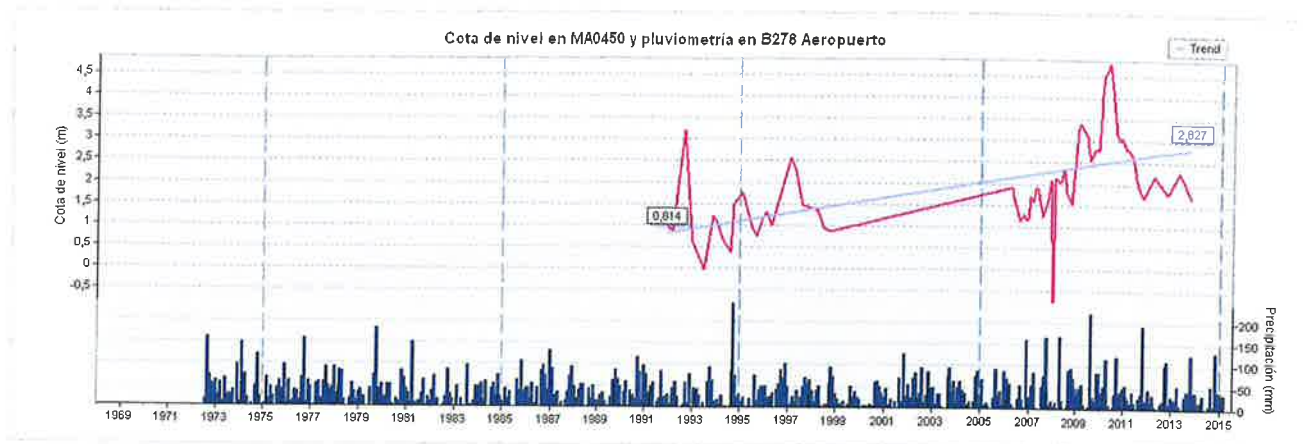
ANEXO 2

GRÁFICOS DE EVOLUCIÓN DE COTA Y PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

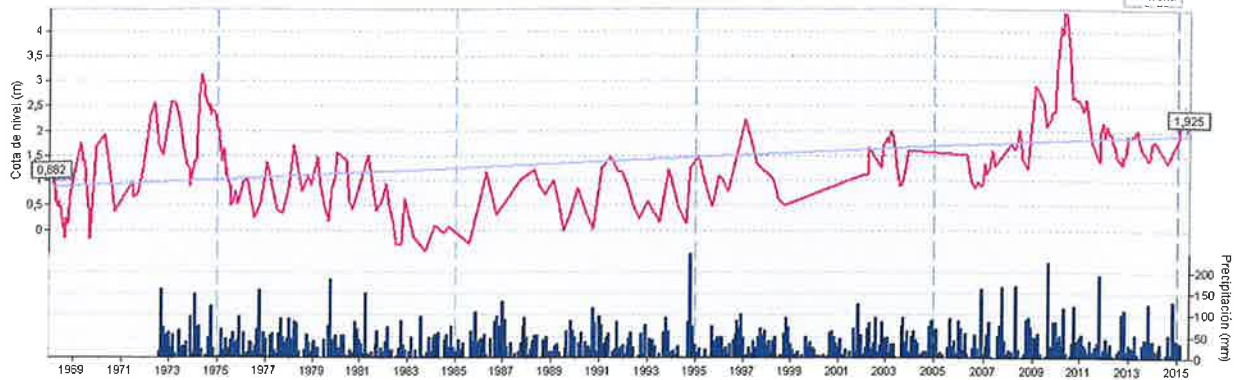




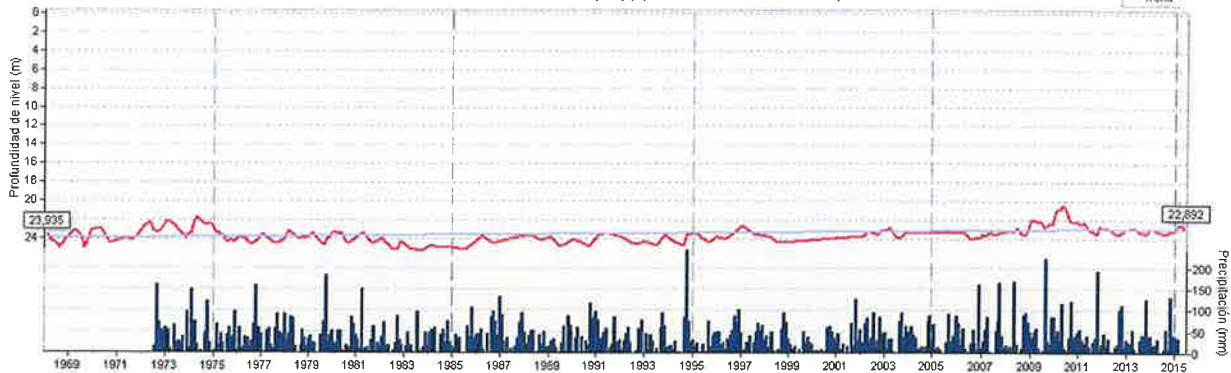




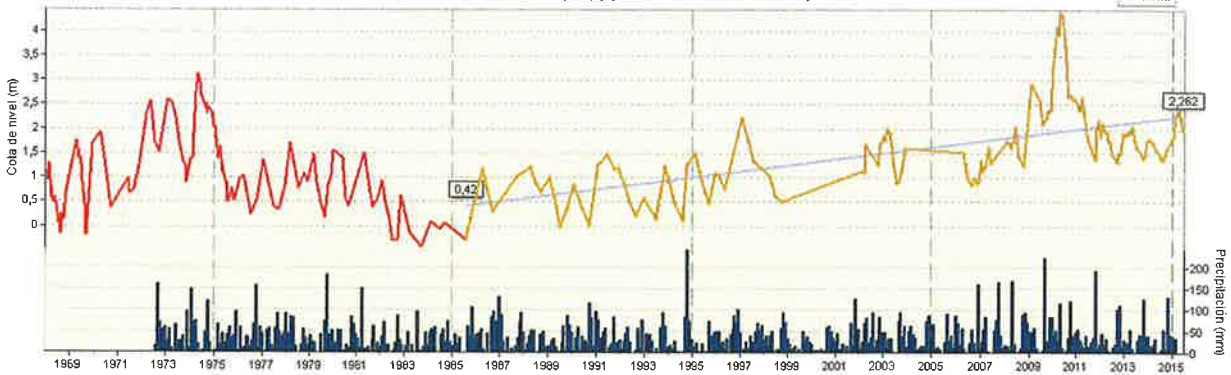
Cota de nivel en MA0460 (A-4) y pluviometría en B278 Aeropuerto



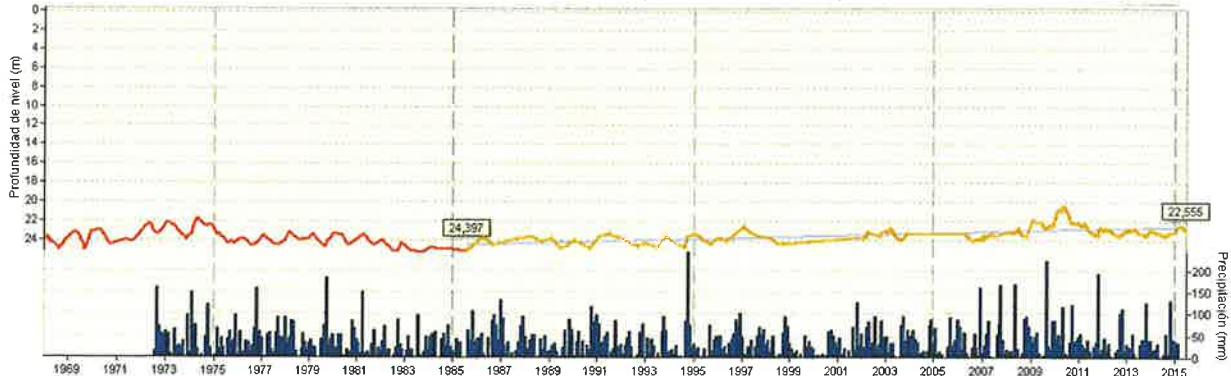
Profundidad de nivel en MA0460 (A-4) y pluviometría en B278 Aeropuerto

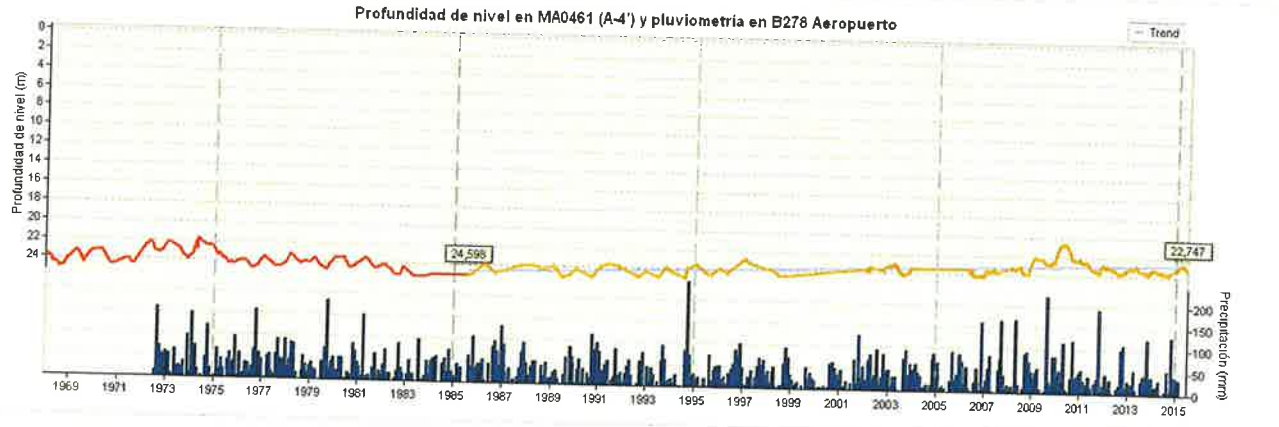
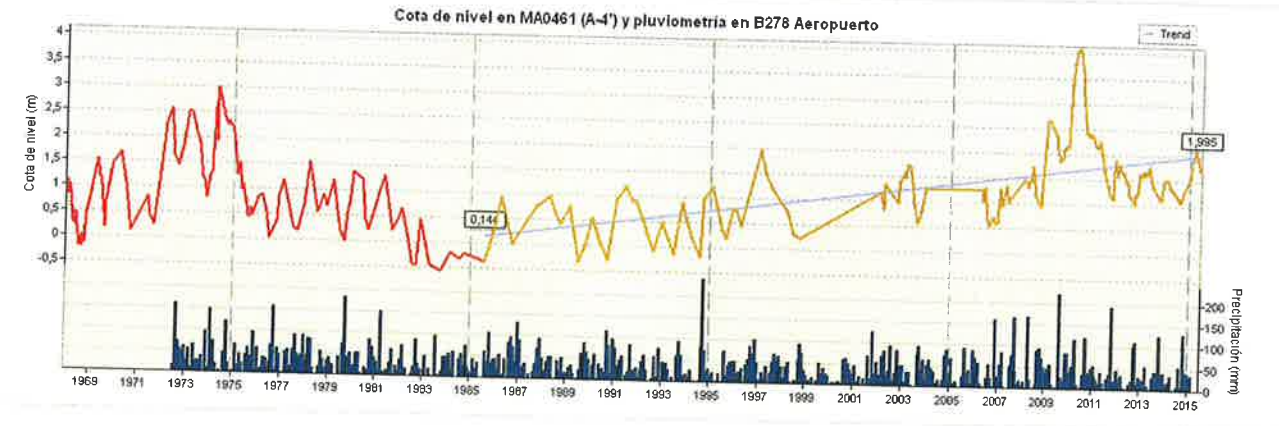
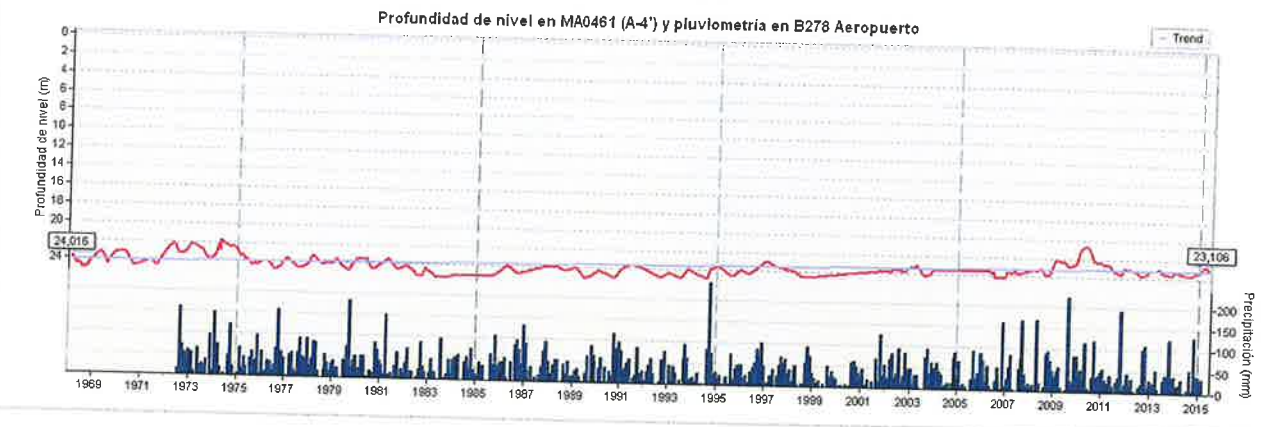
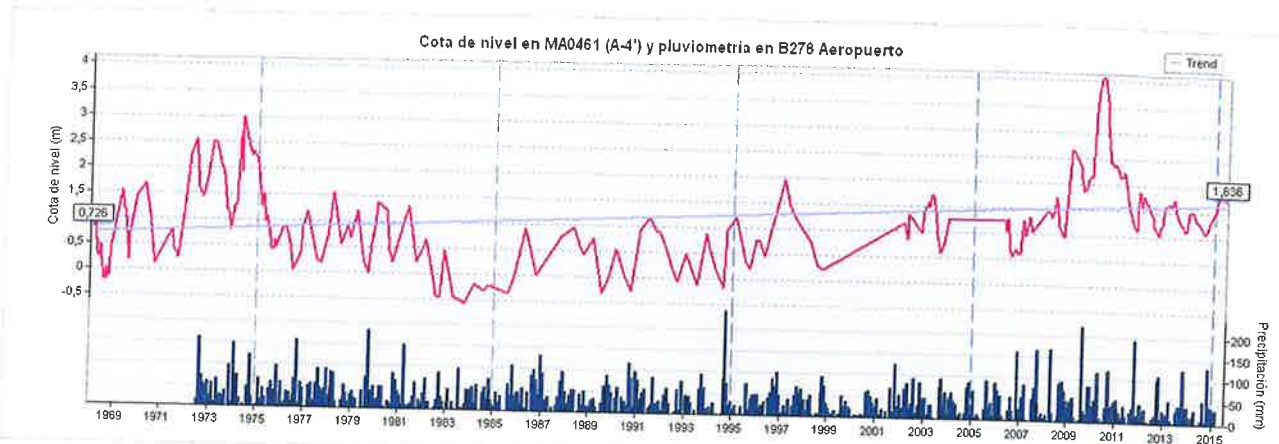


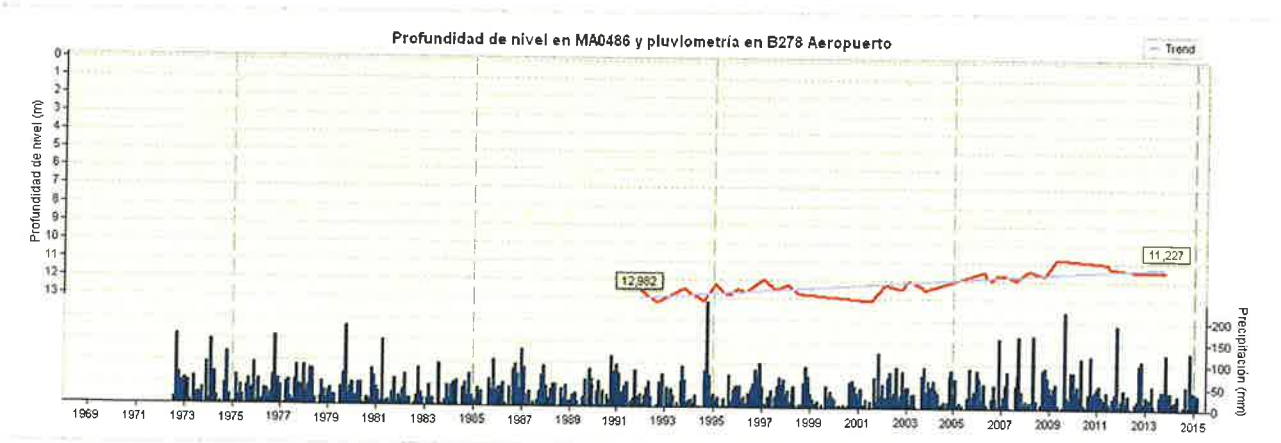
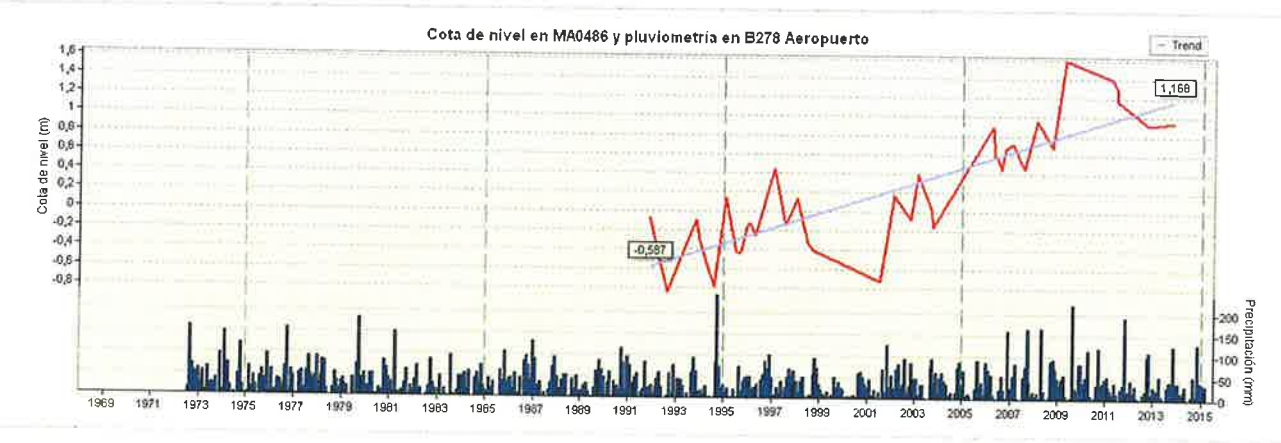
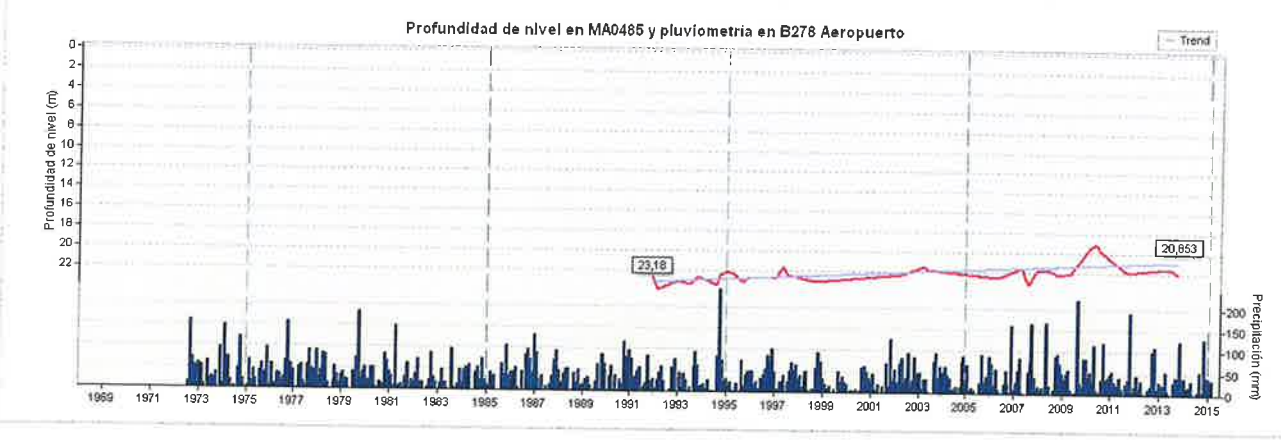
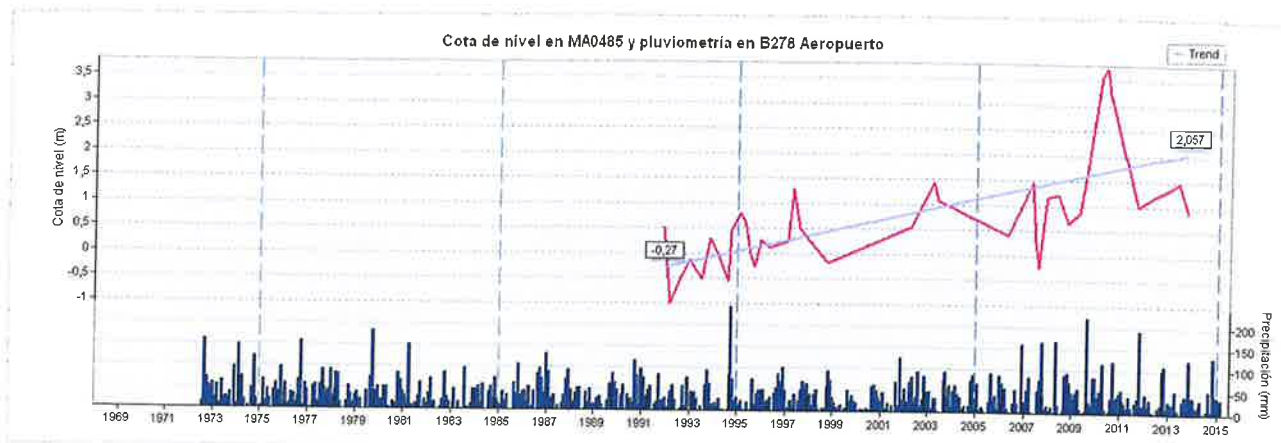
Cota de nivel en MA0460 (A-4) y pluviometría en B278 Aeropuerto



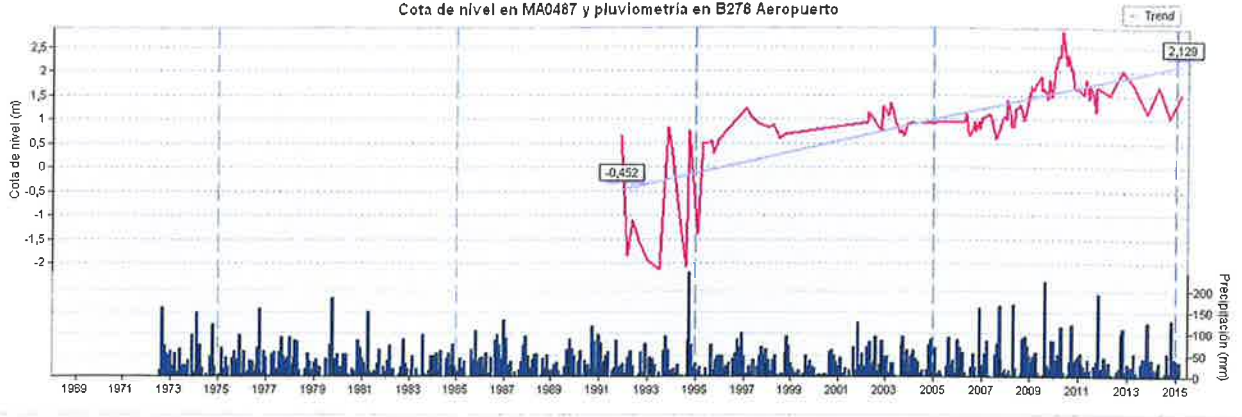
Profundidad de nivel en MA0460 (A-4) y pluviometría en B278 Aeropuerto



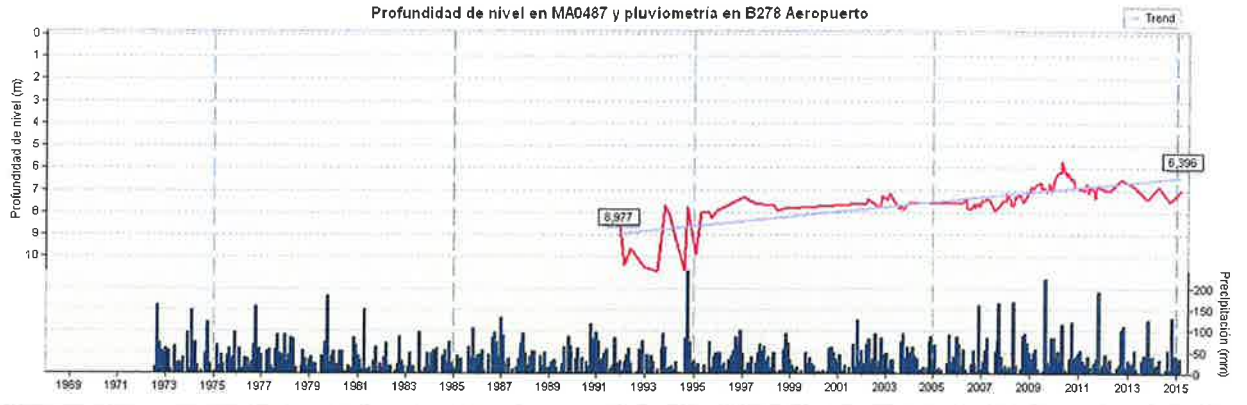




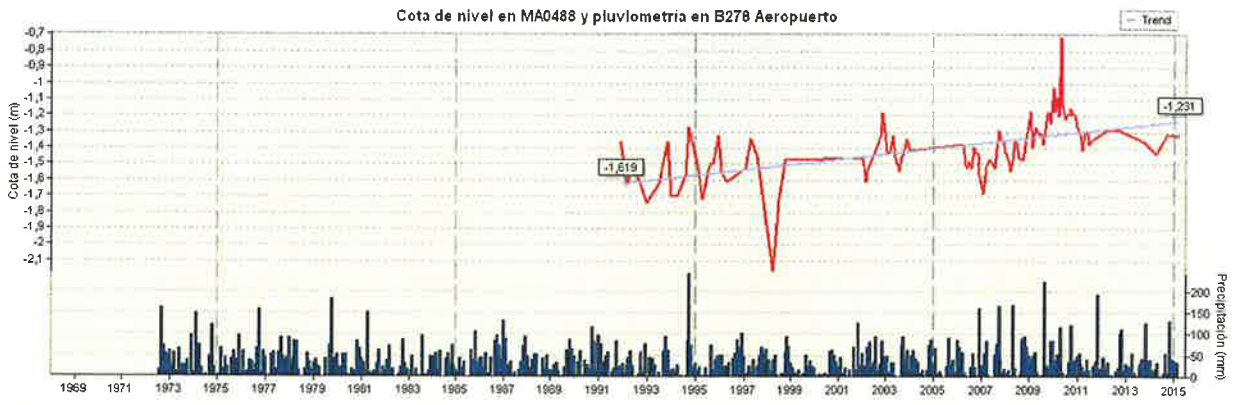
Cota de nivel en MA0487 y pluviometría en B278 Aeropuerto



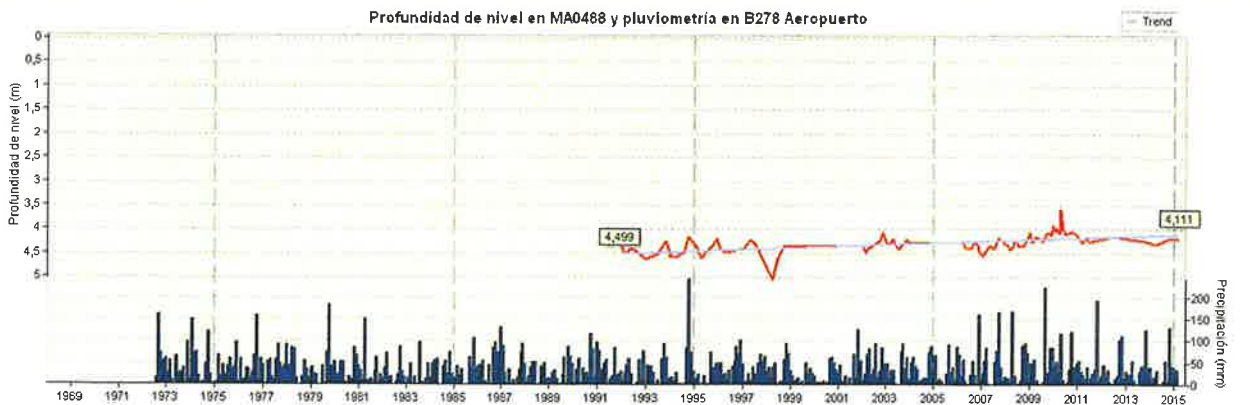
Profundidad de nivel en MA0487 y pluviometría en B278 Aeropuerto

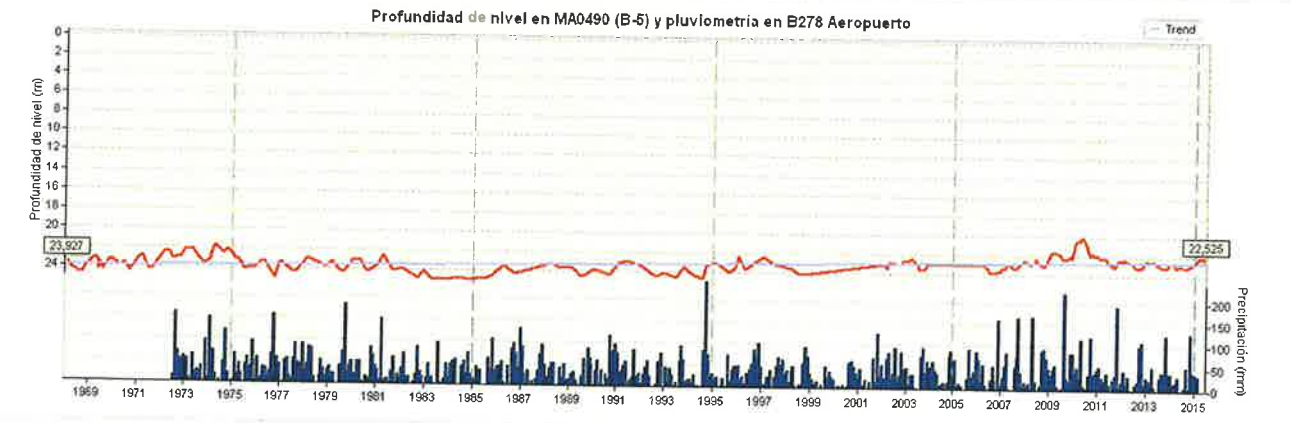
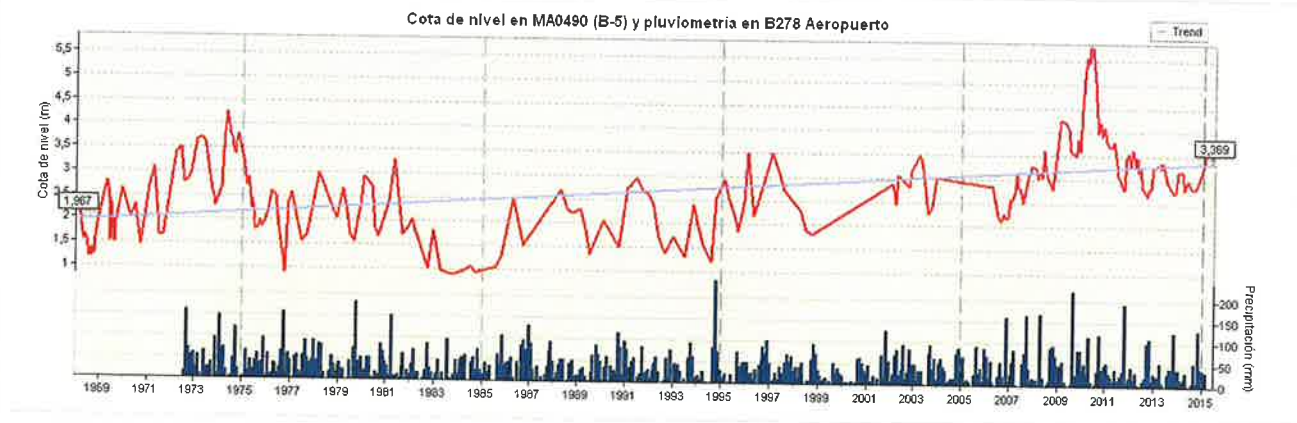
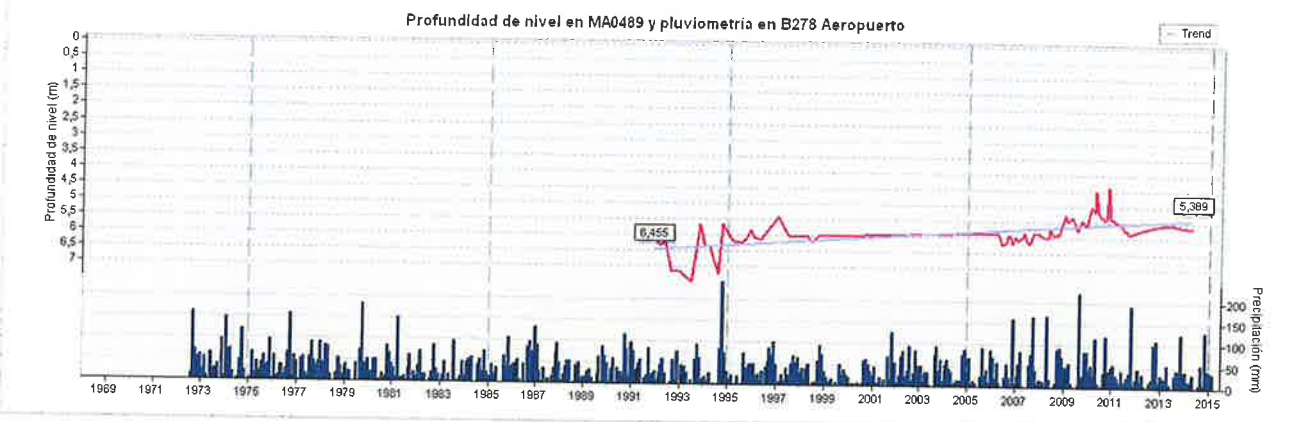


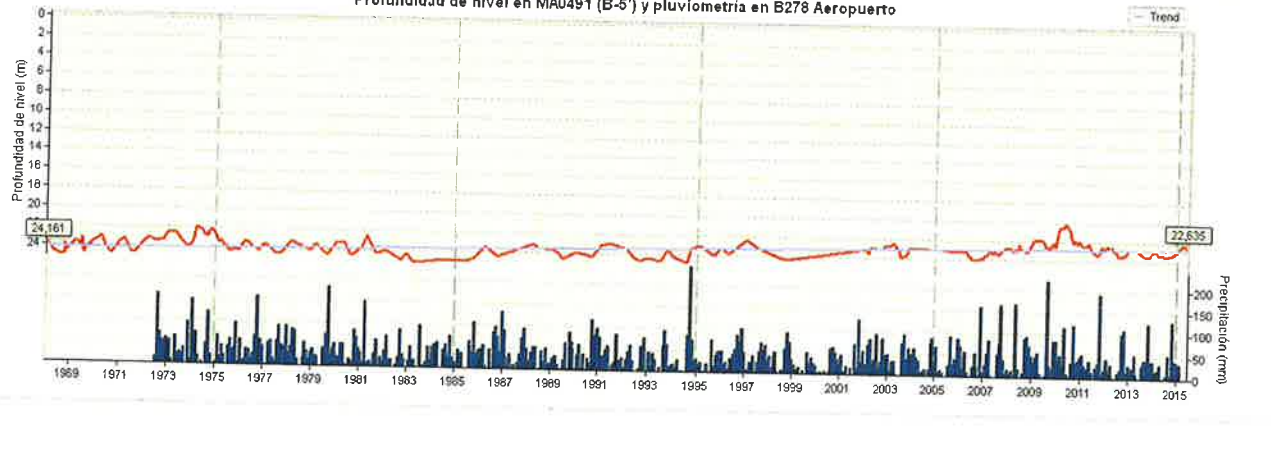
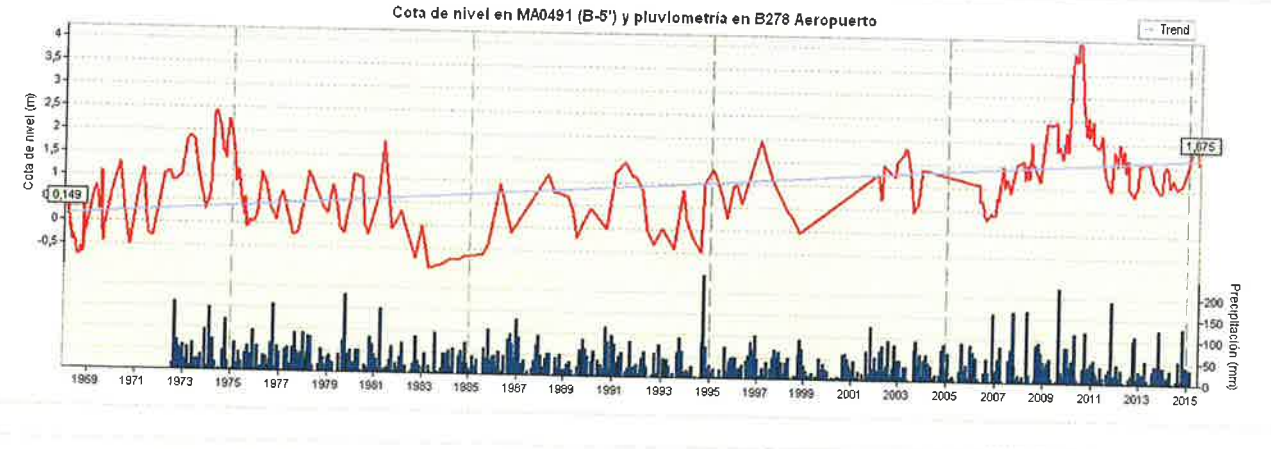
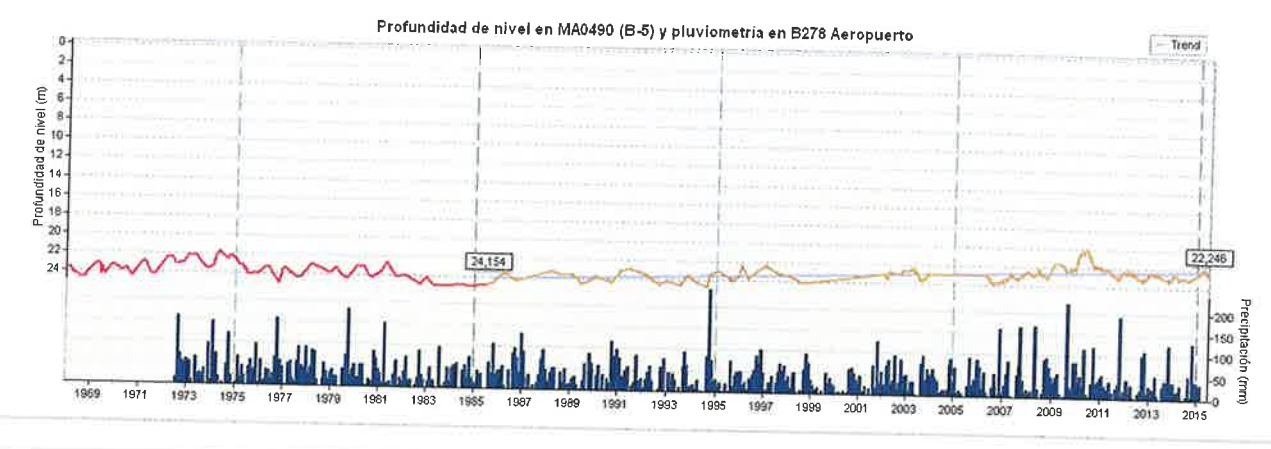
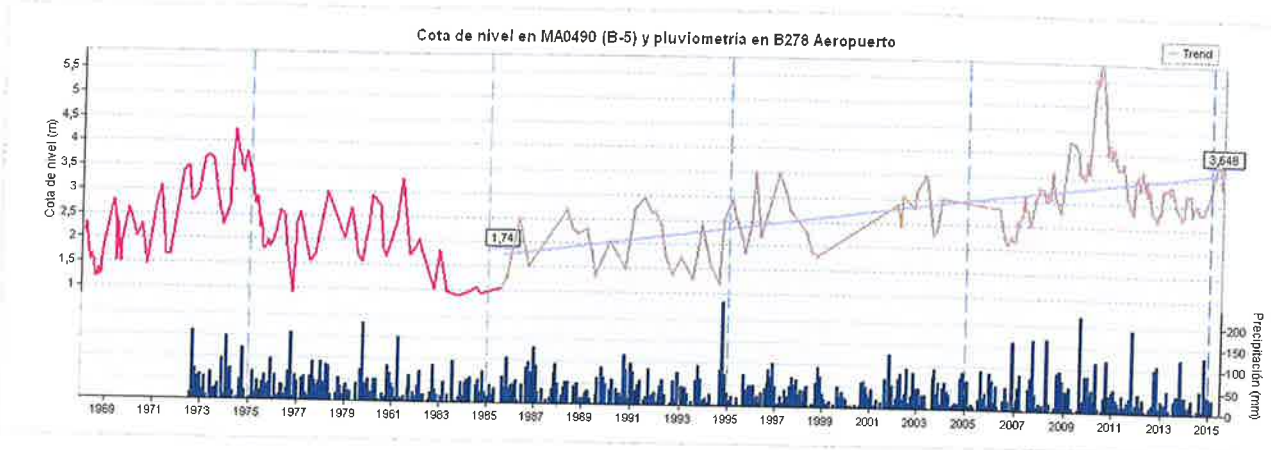
Cota de nivel en MA0488 y pluviometría en B278 Aeropuerto

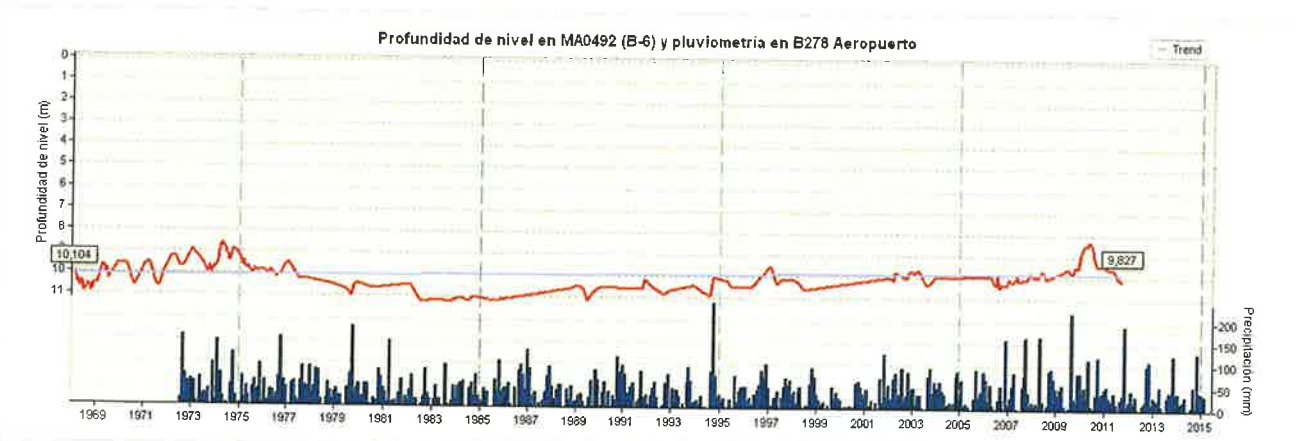
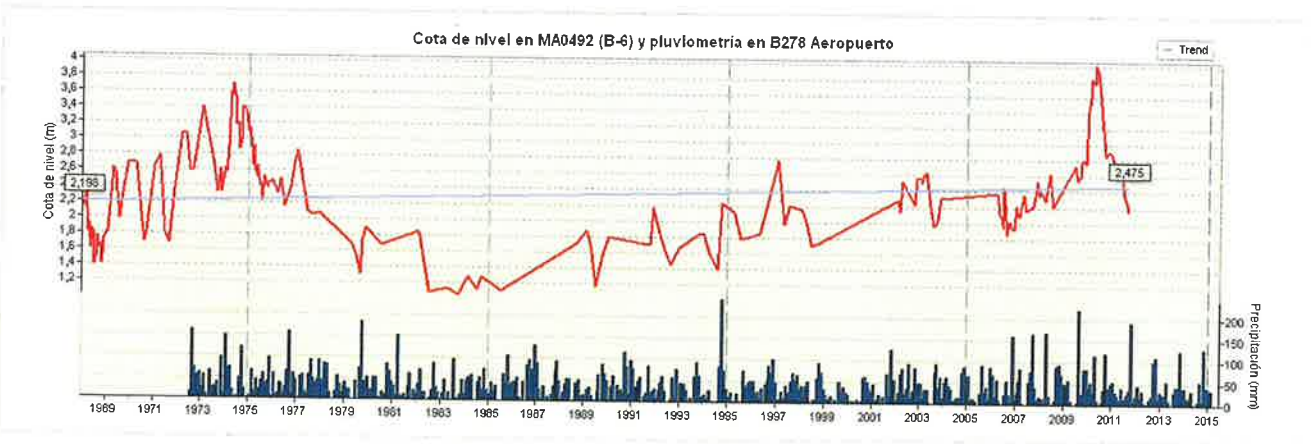
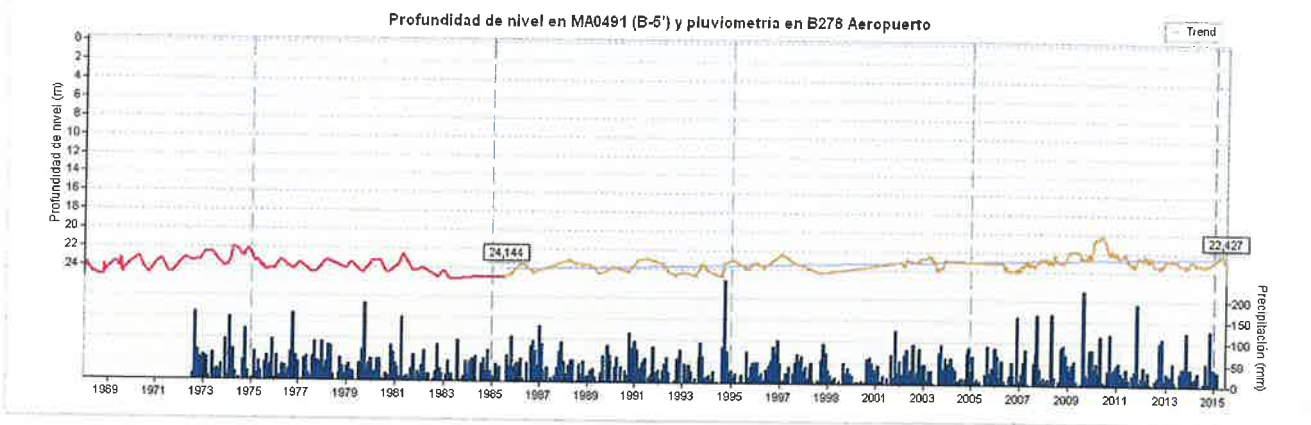
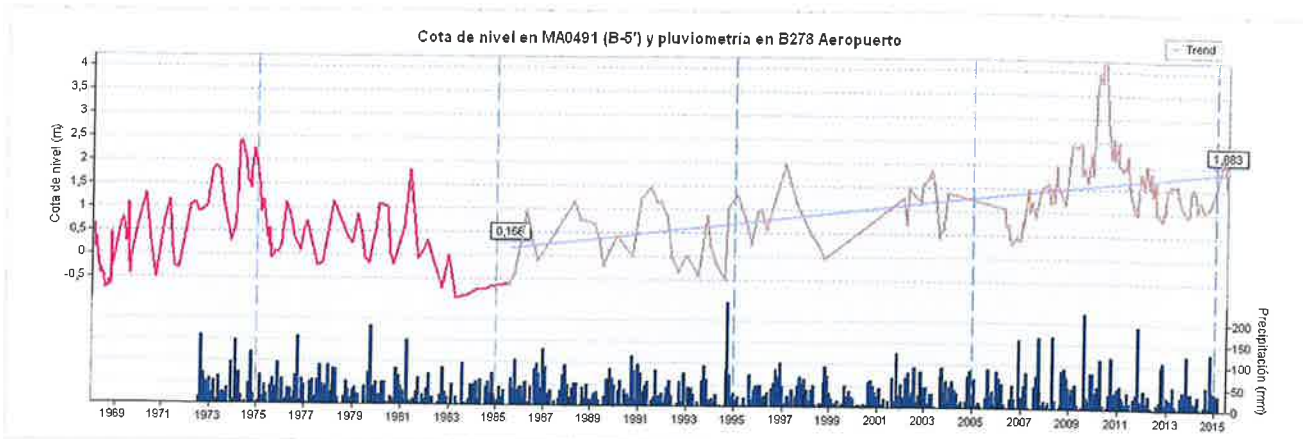


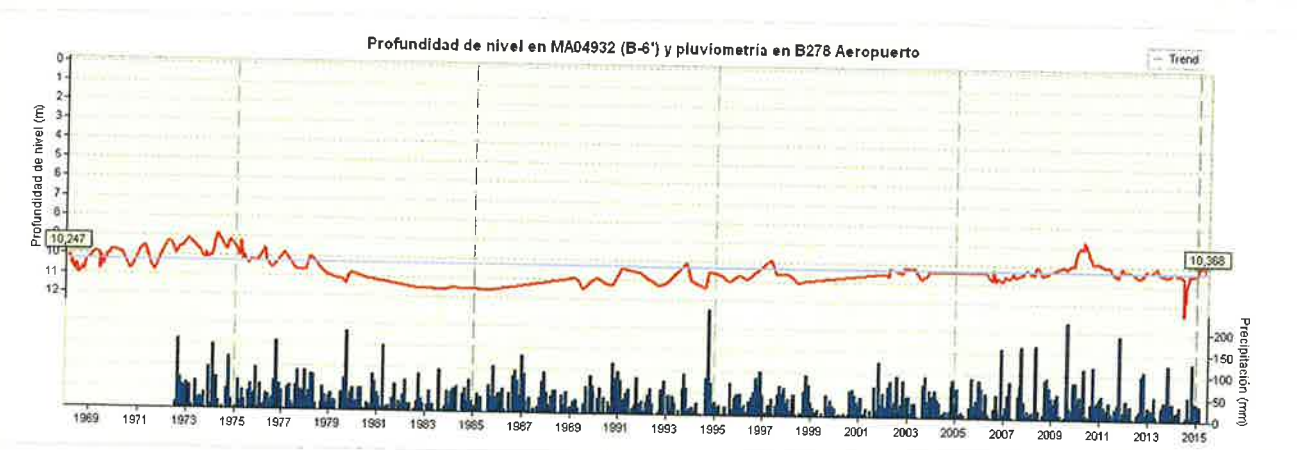
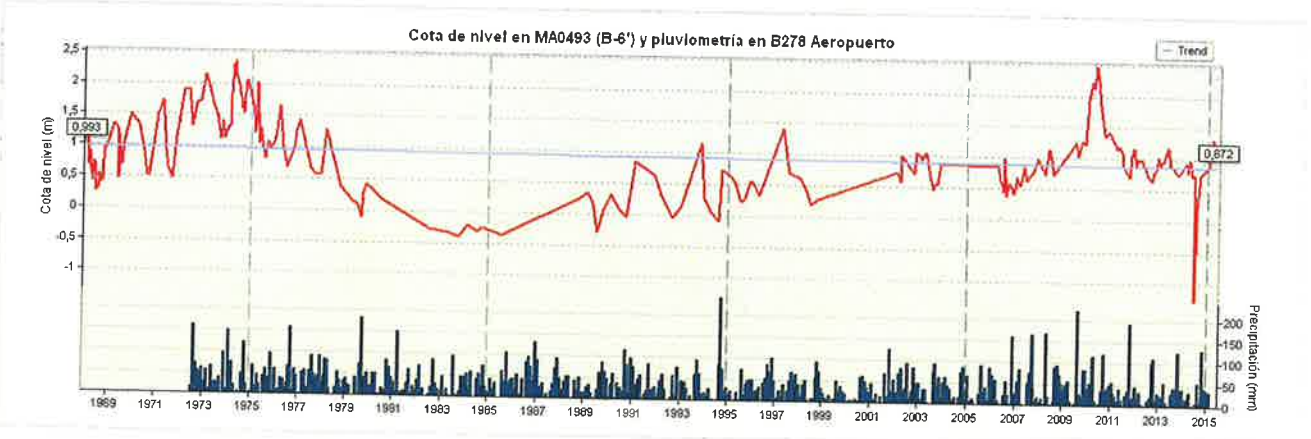
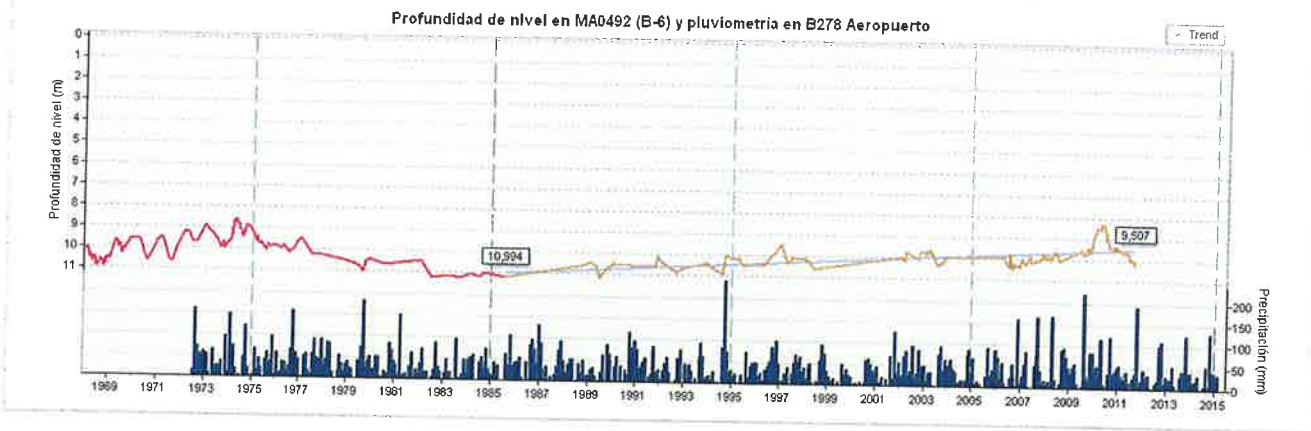
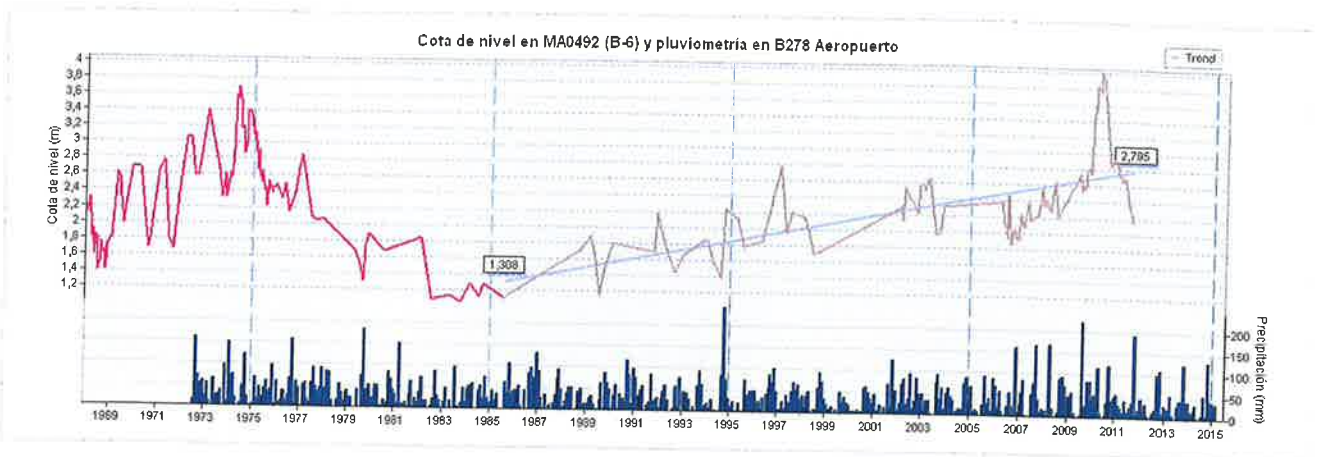
Profundidad de nivel en MA0488 y pluviometría en B278 Aeropuerto

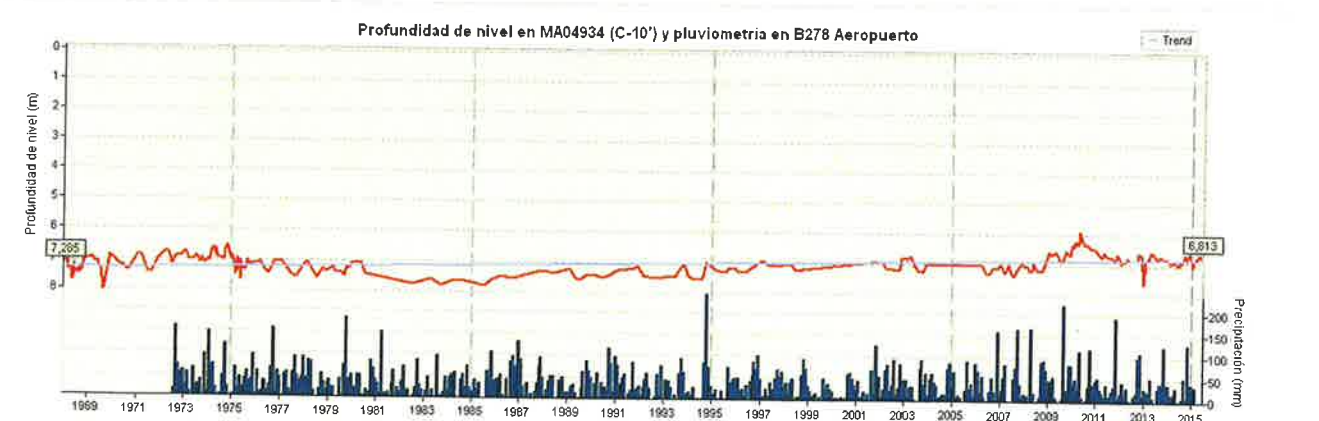
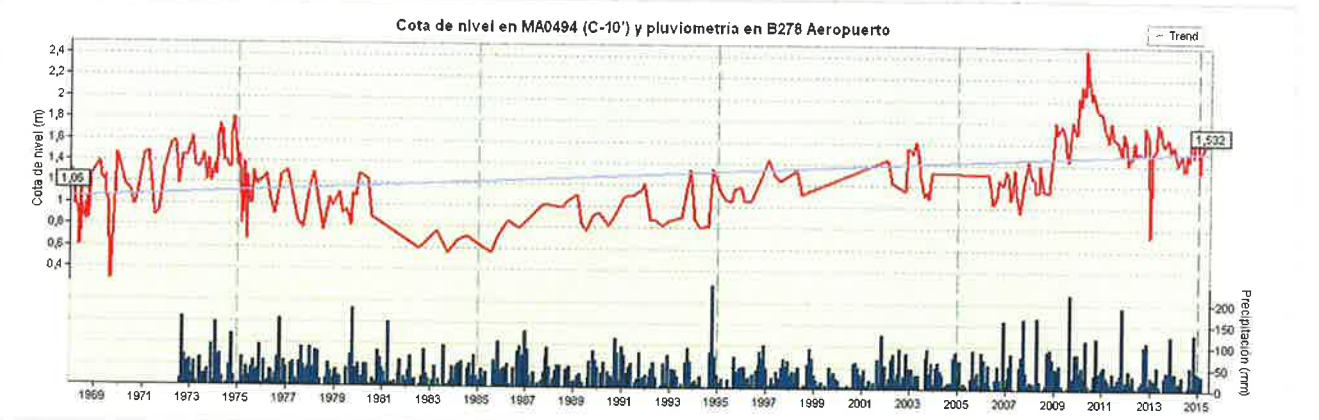
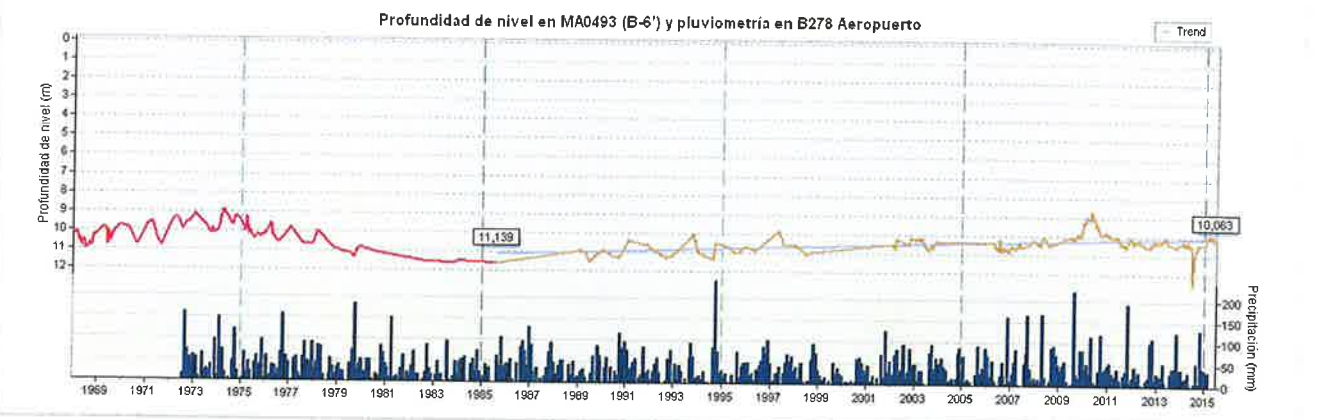
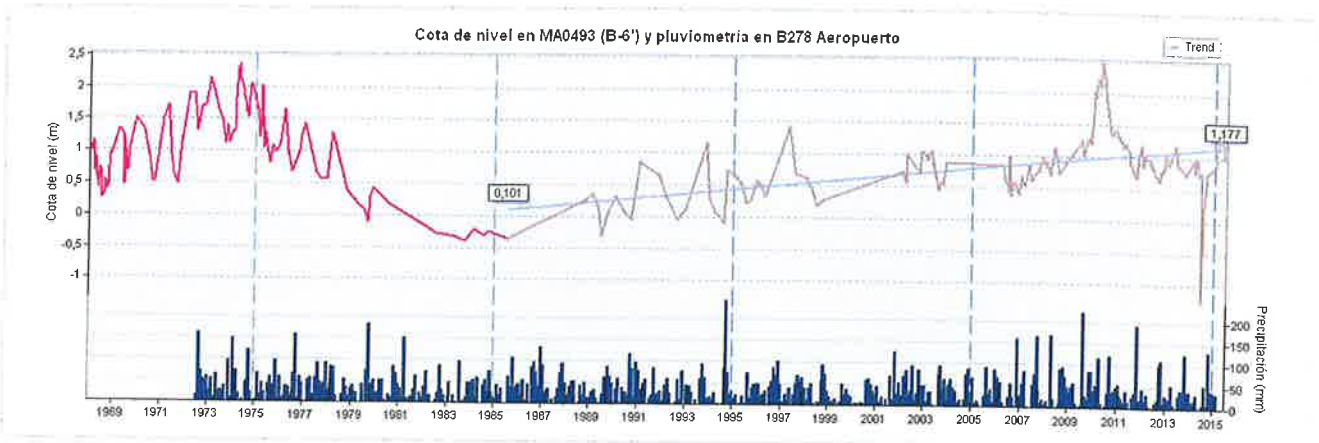


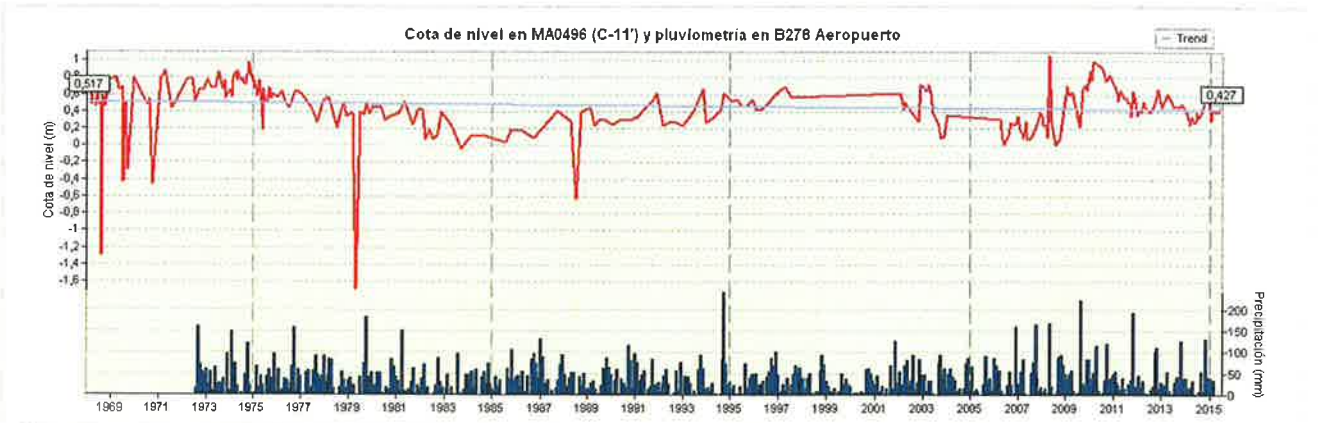
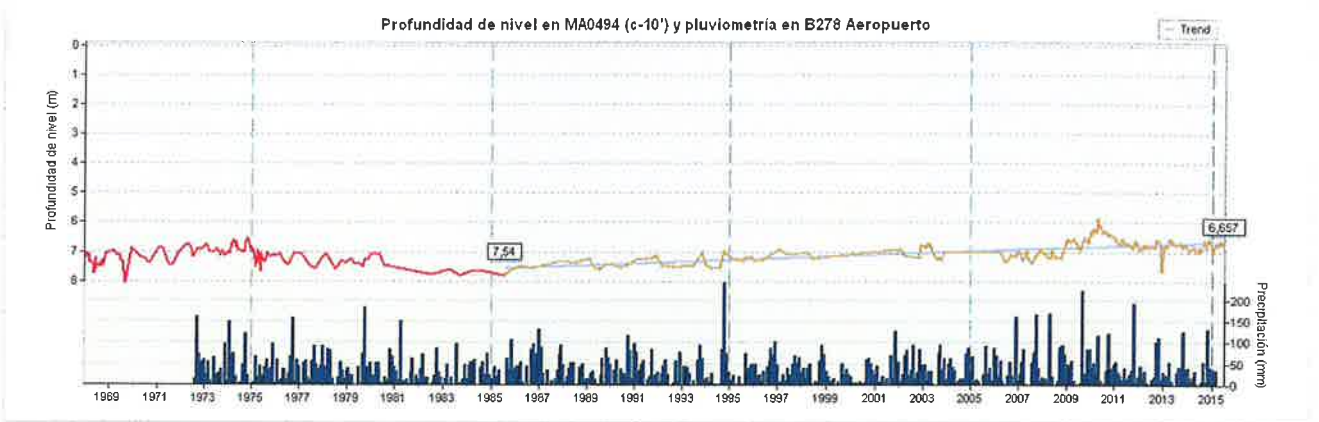
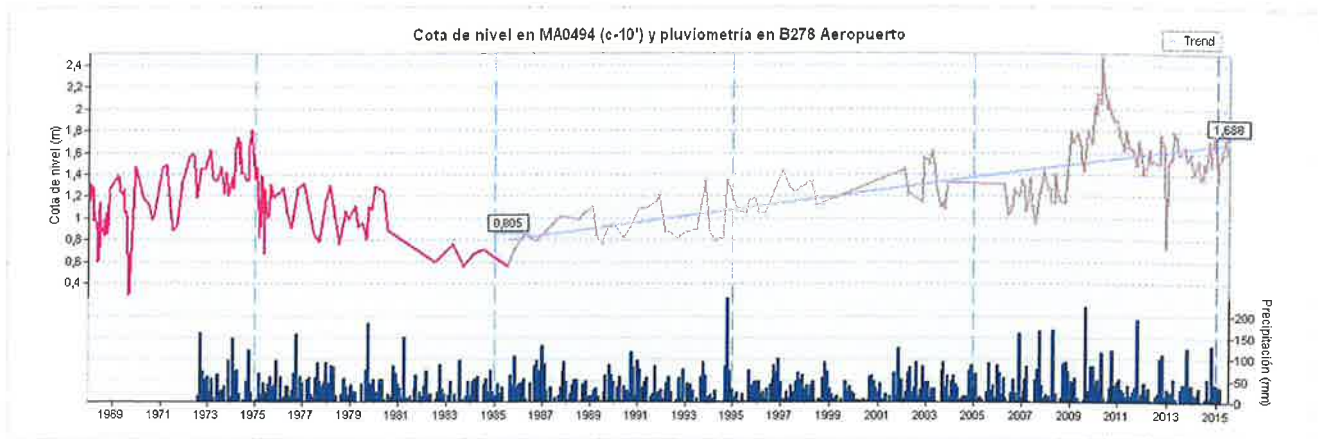


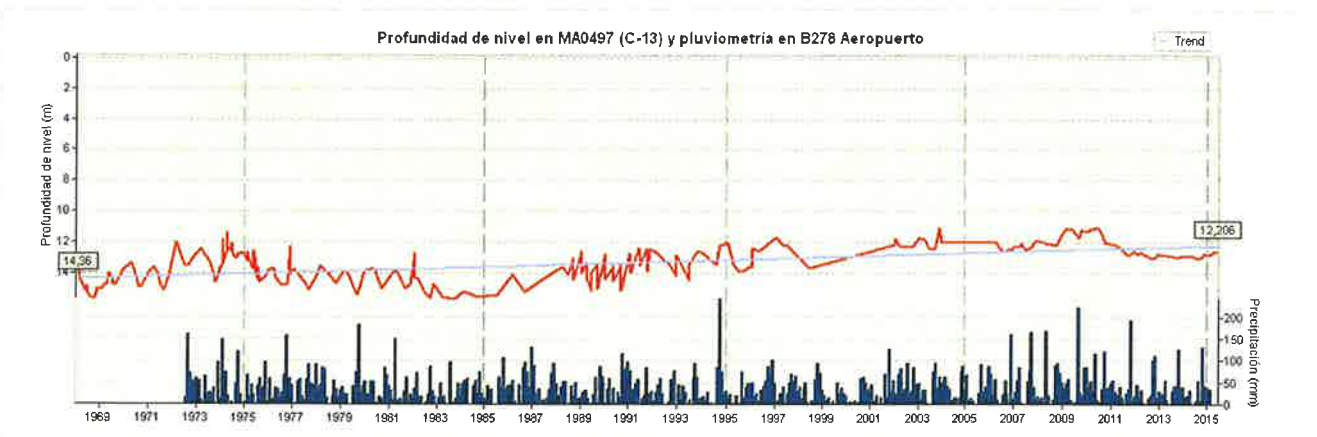
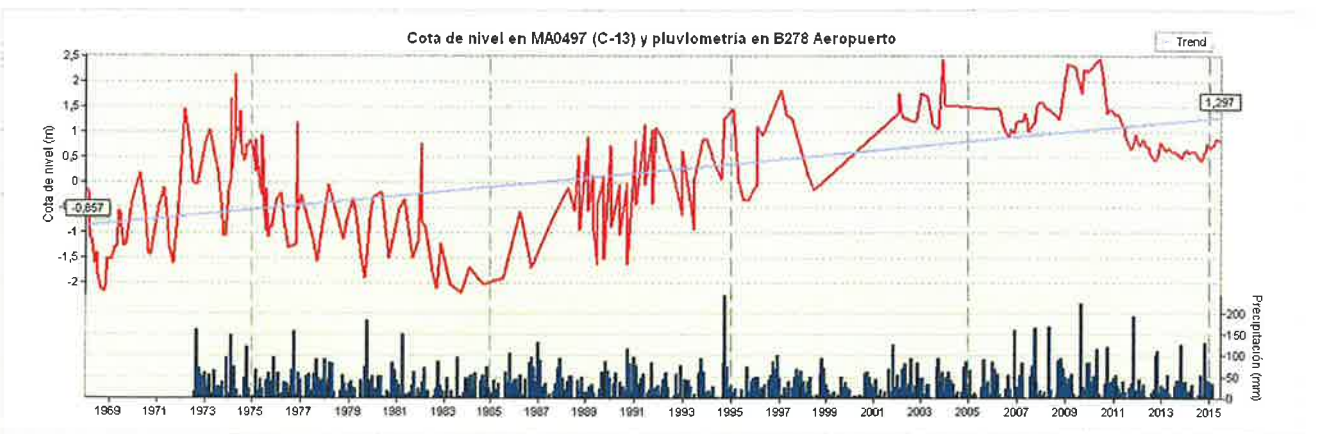
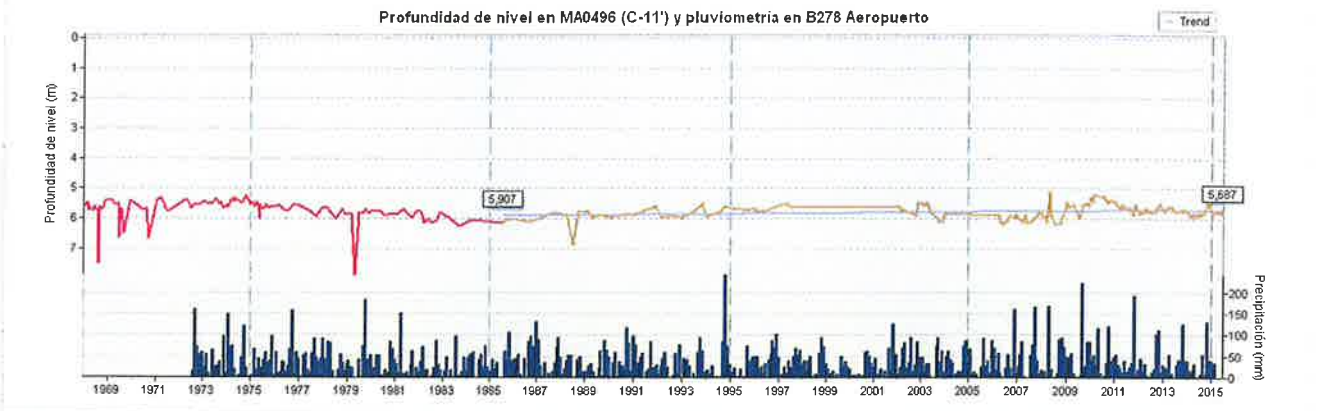
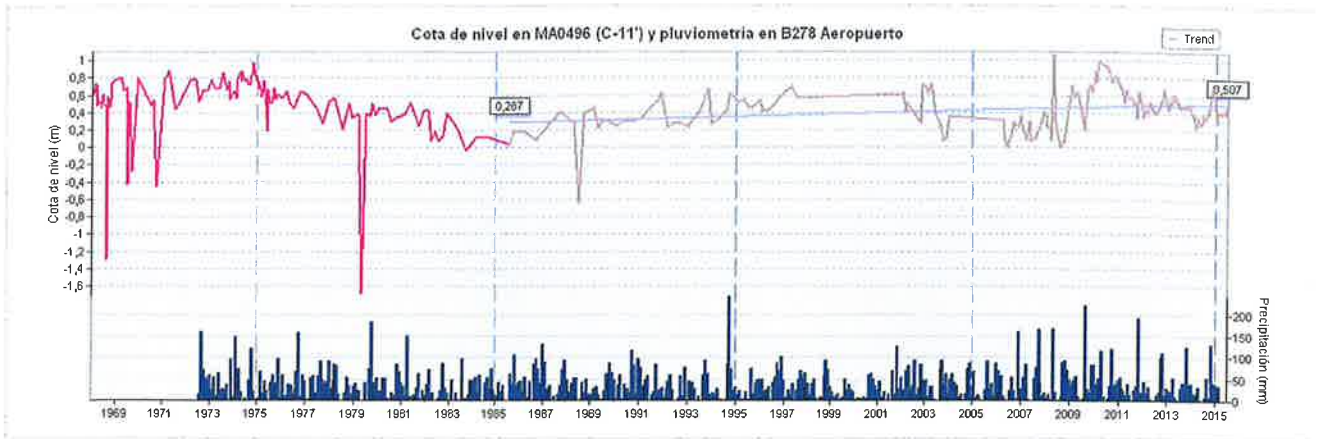


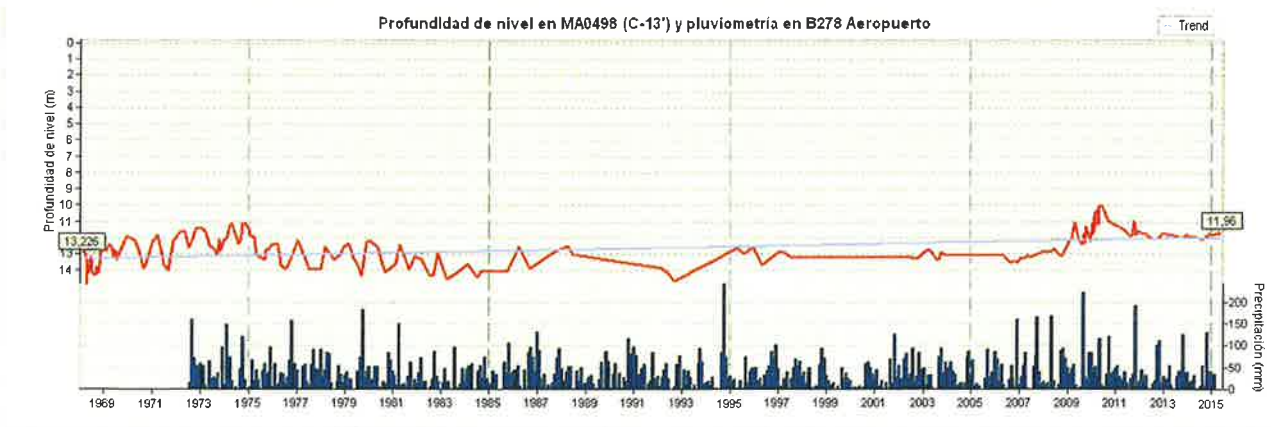
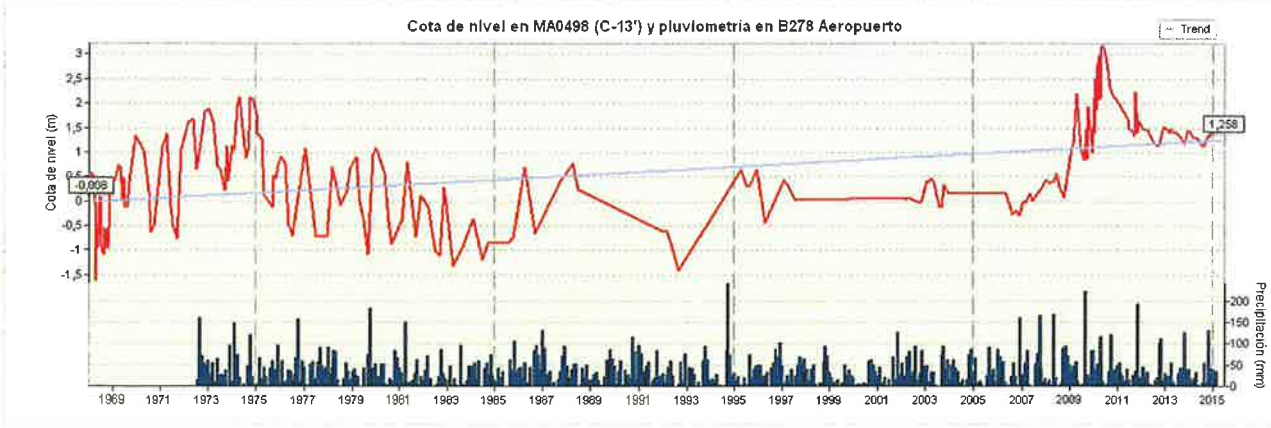
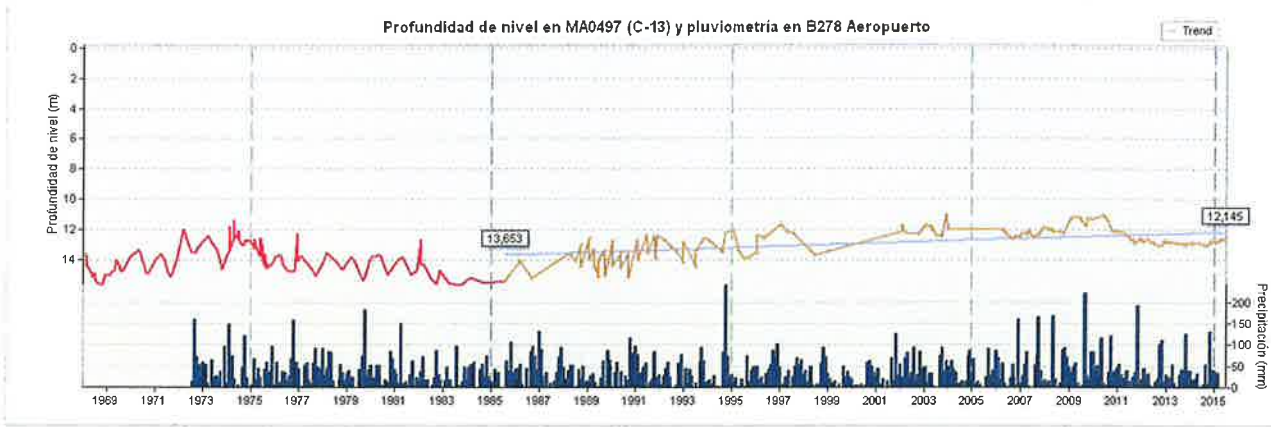
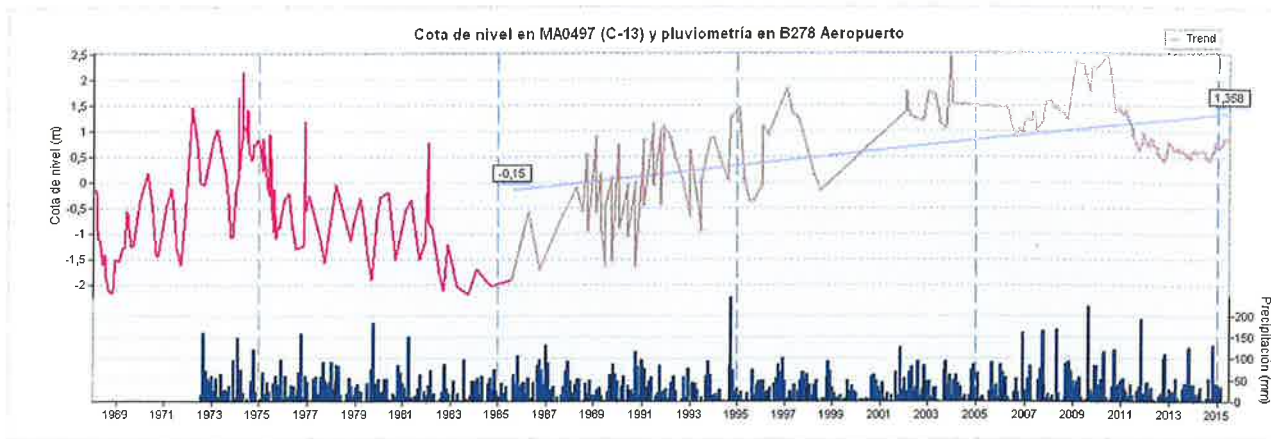


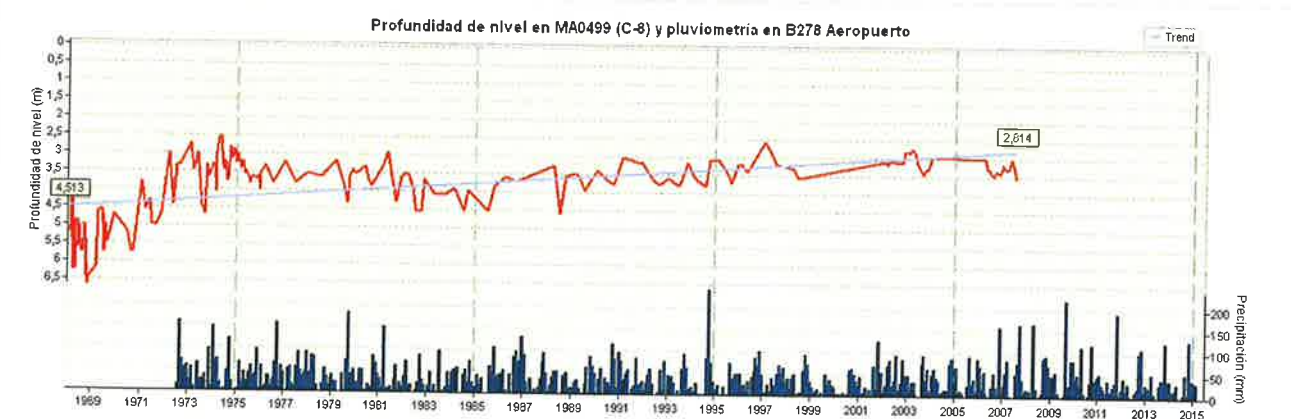
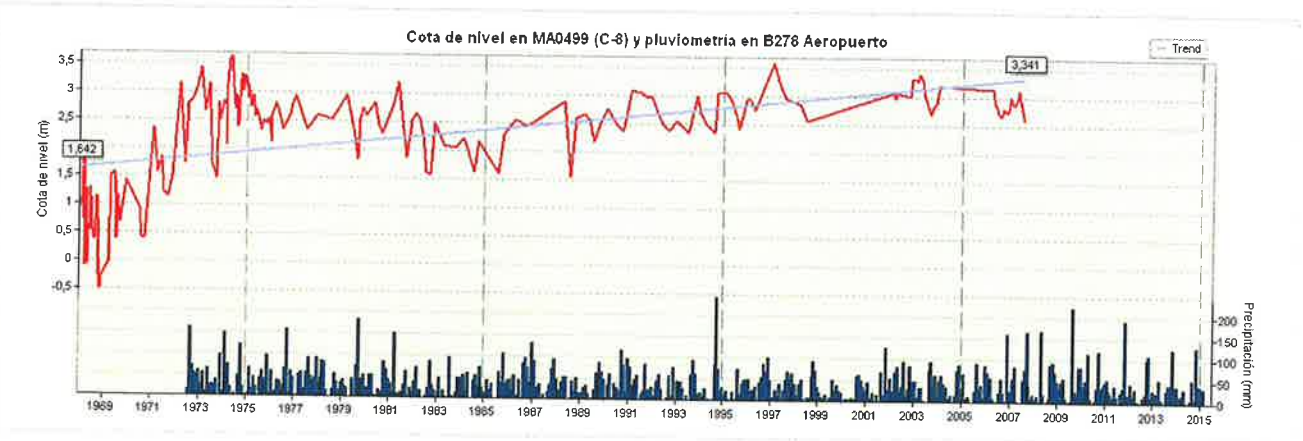
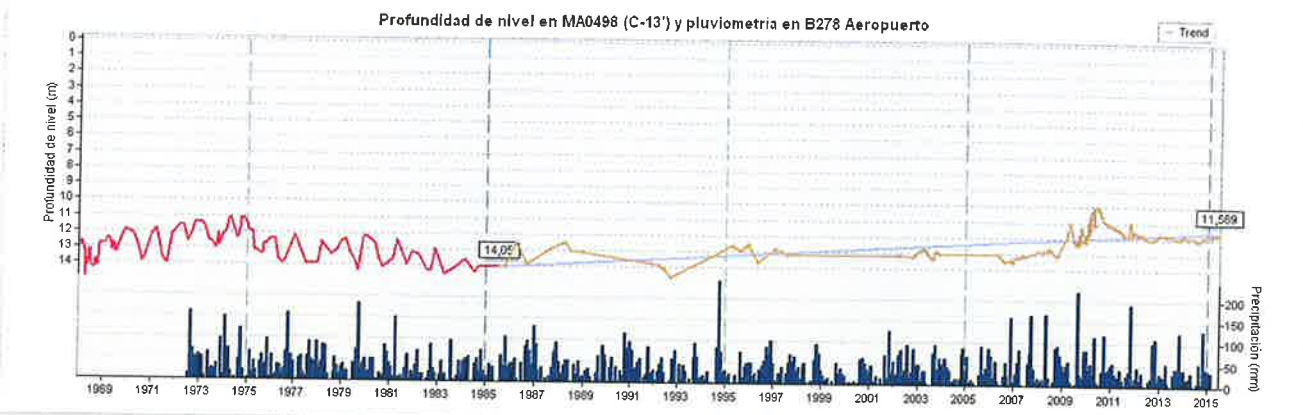


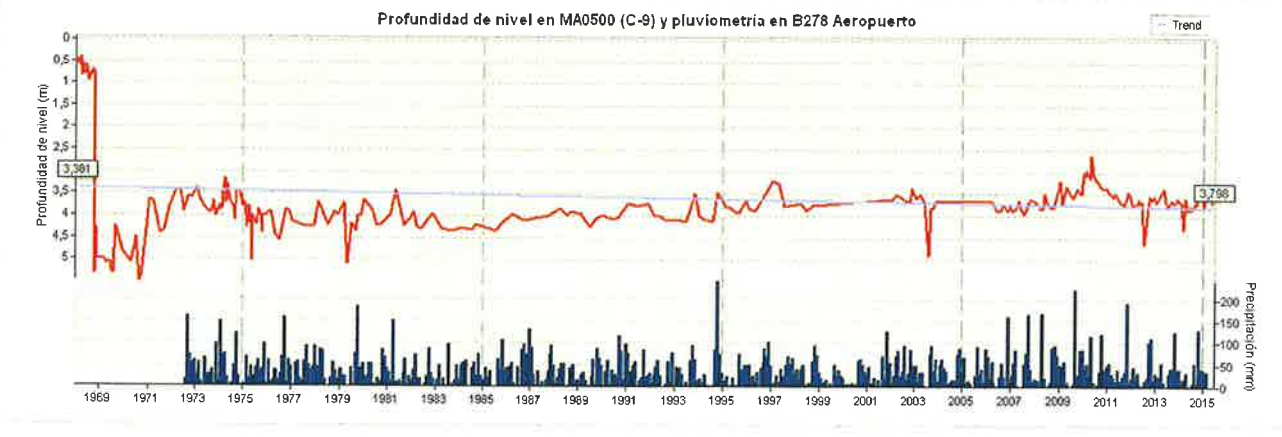
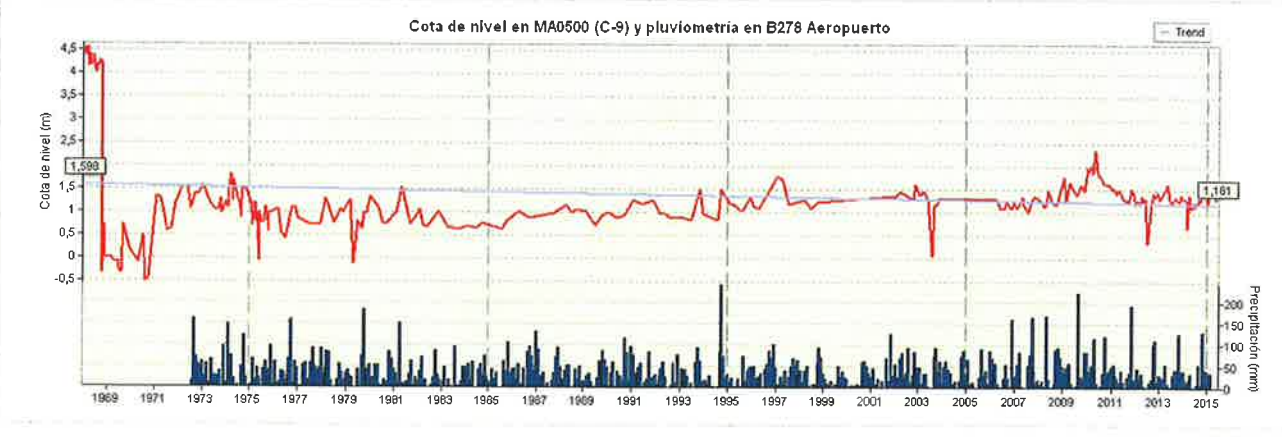
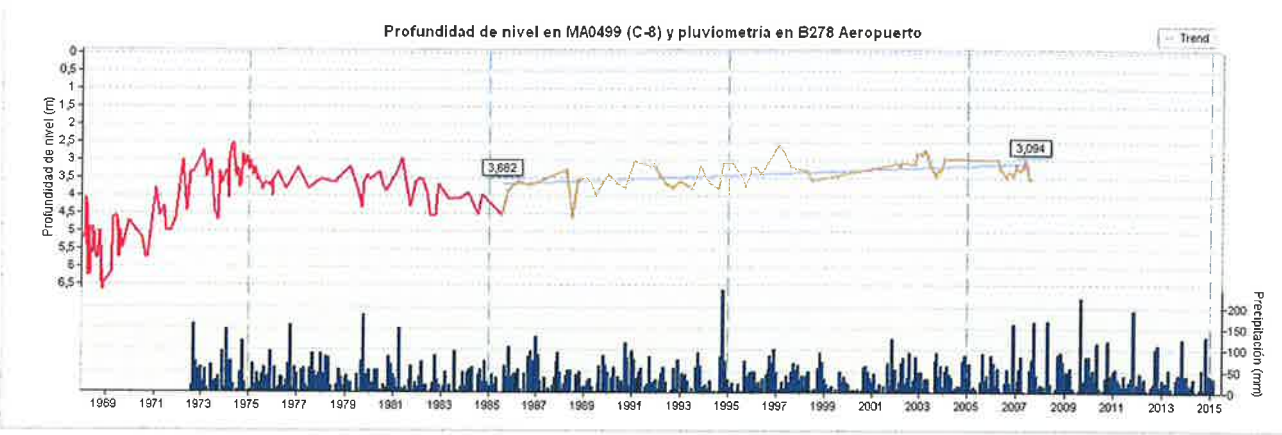
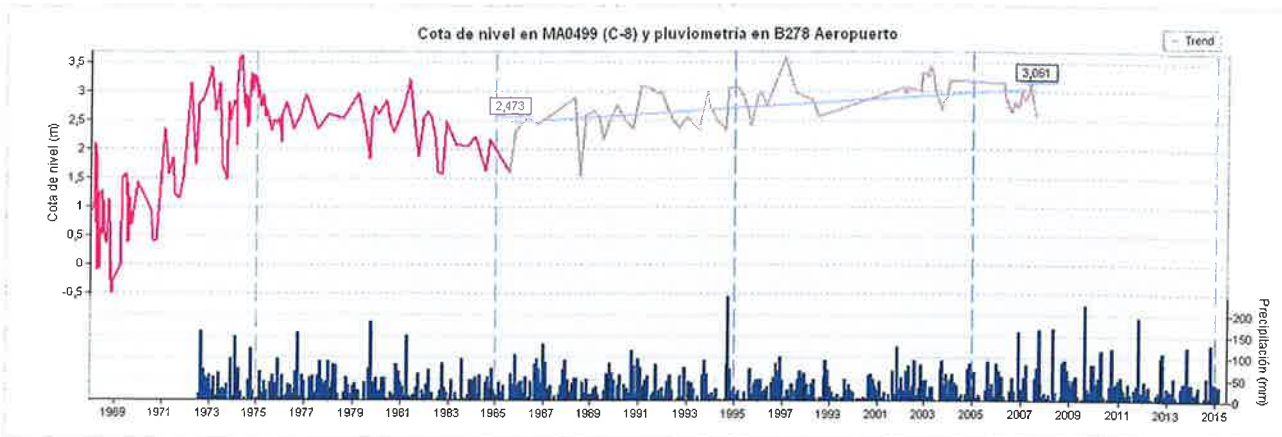


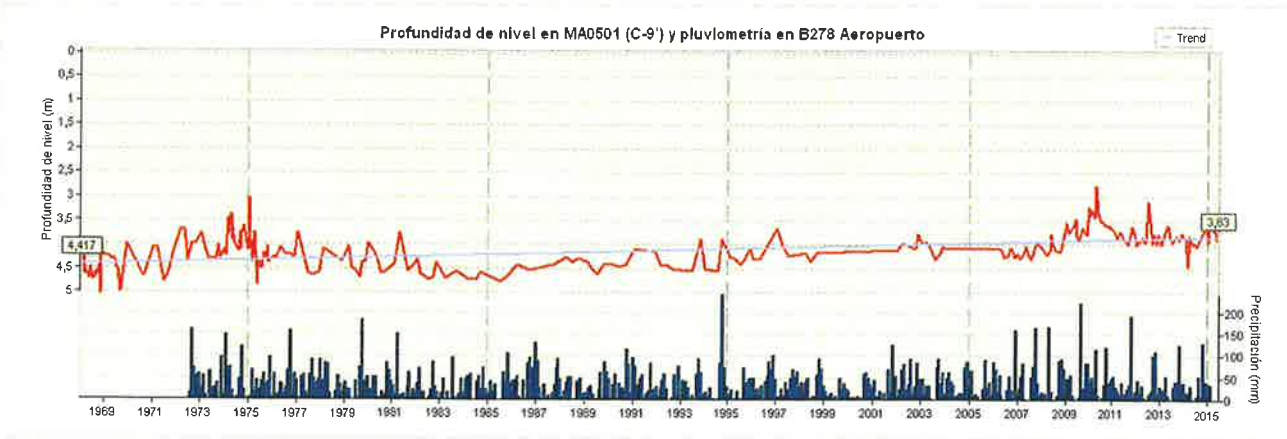
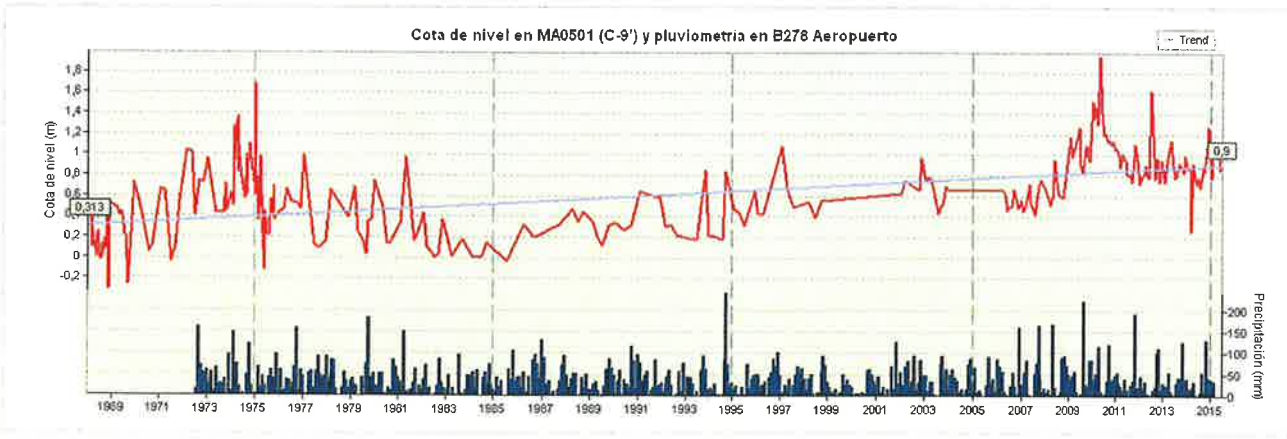
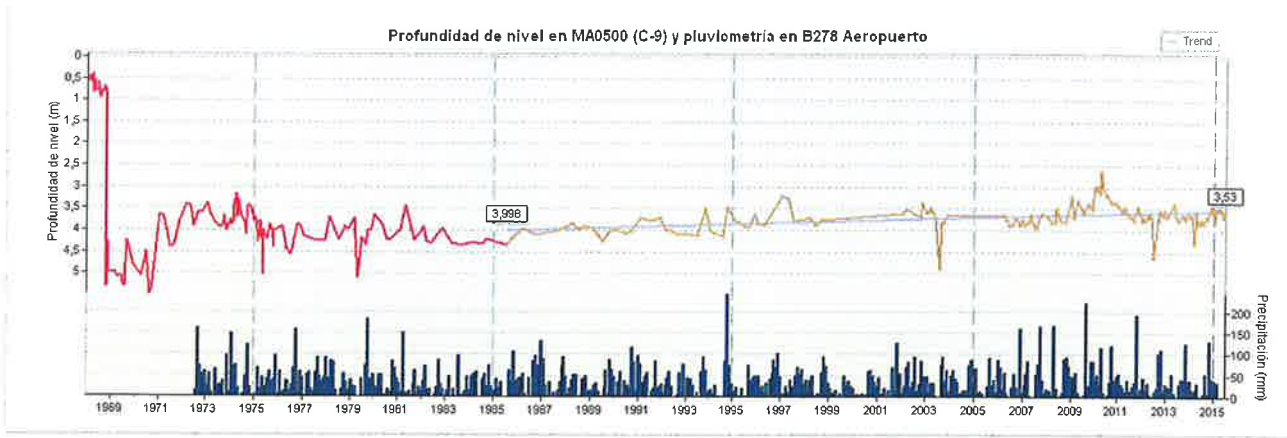
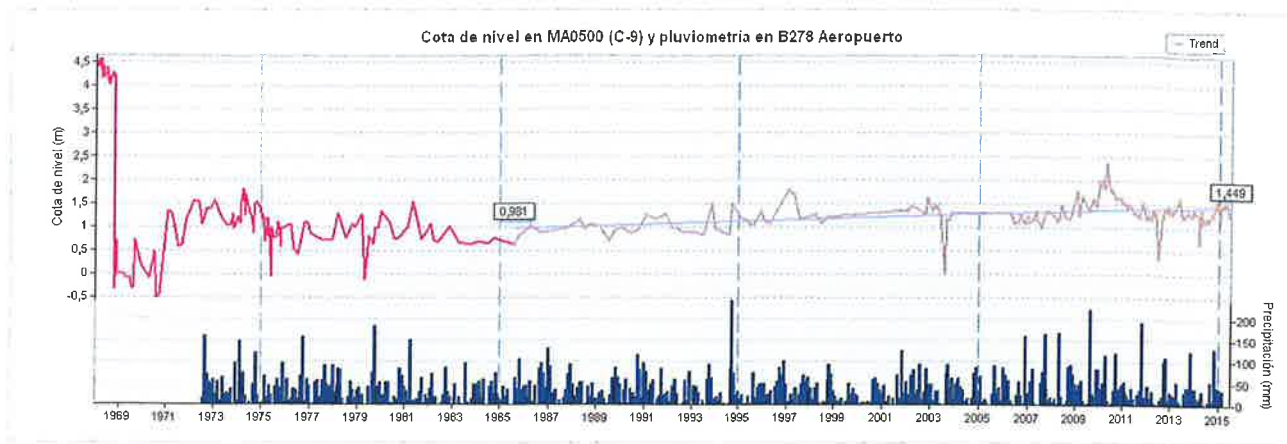


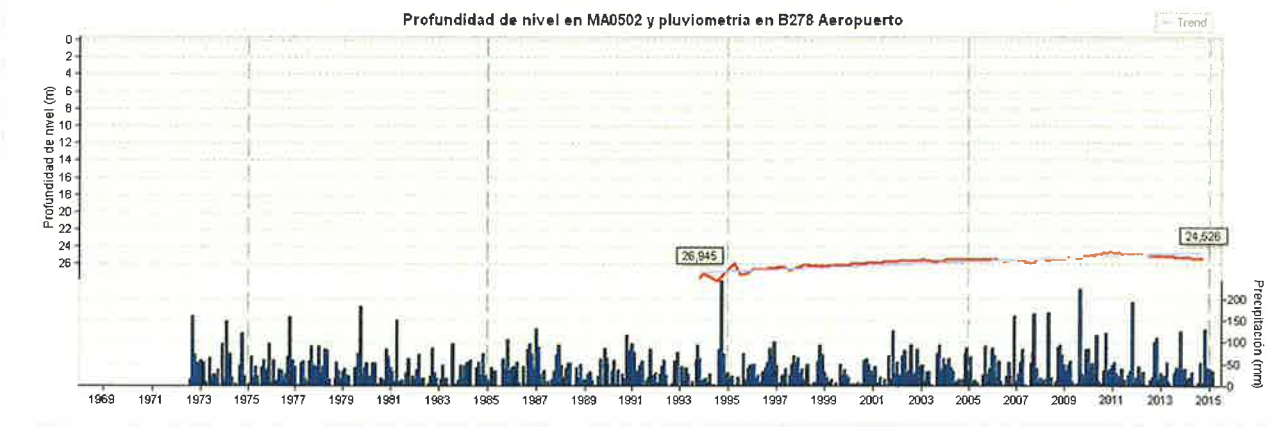
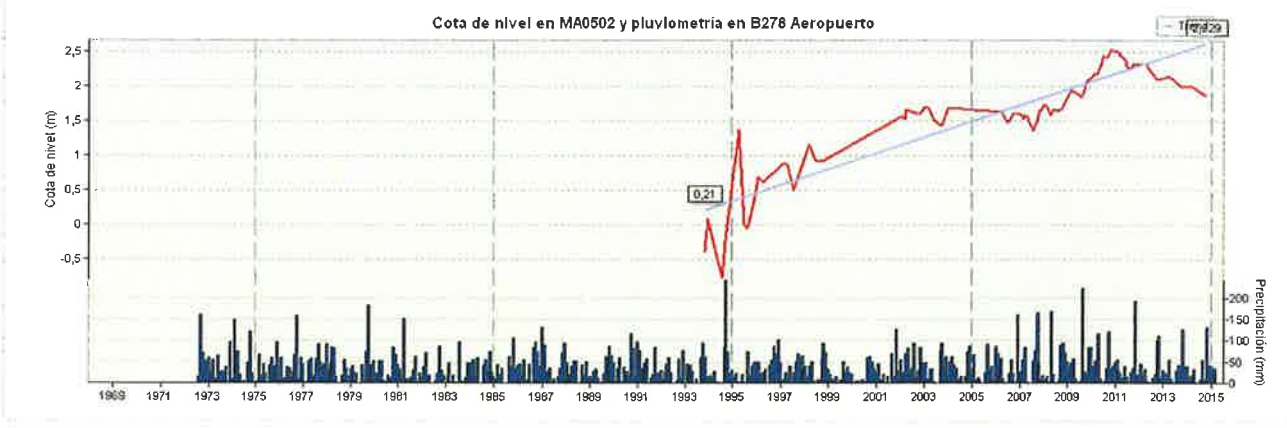
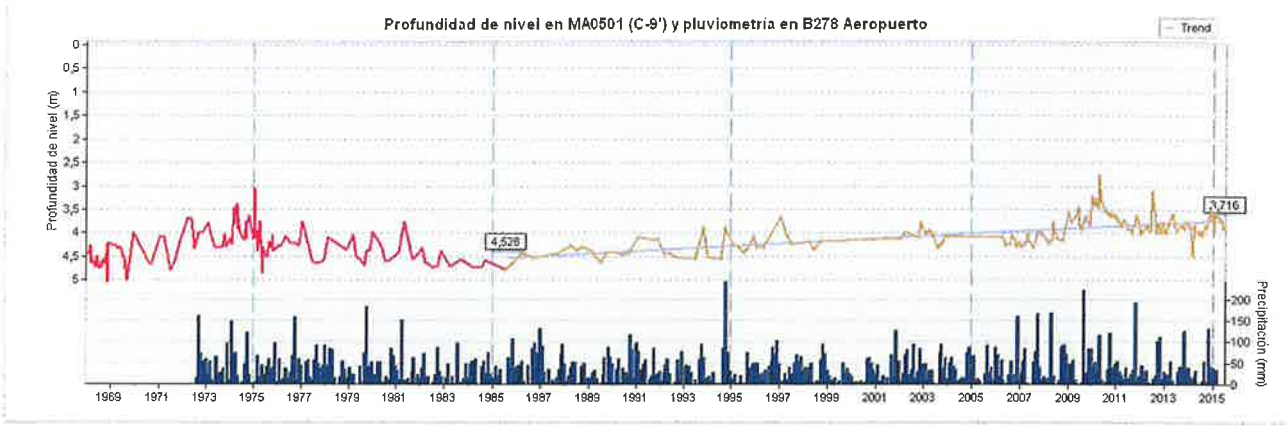
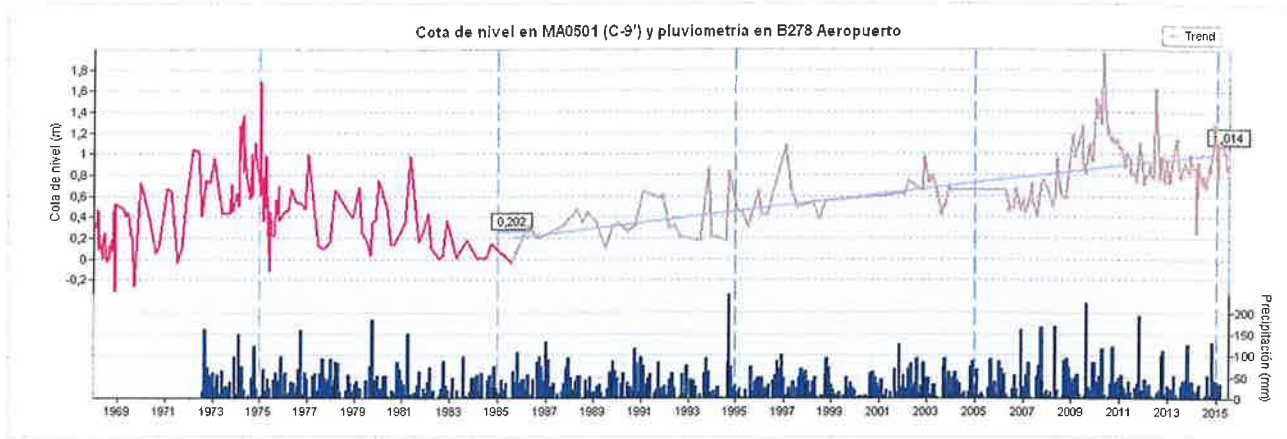


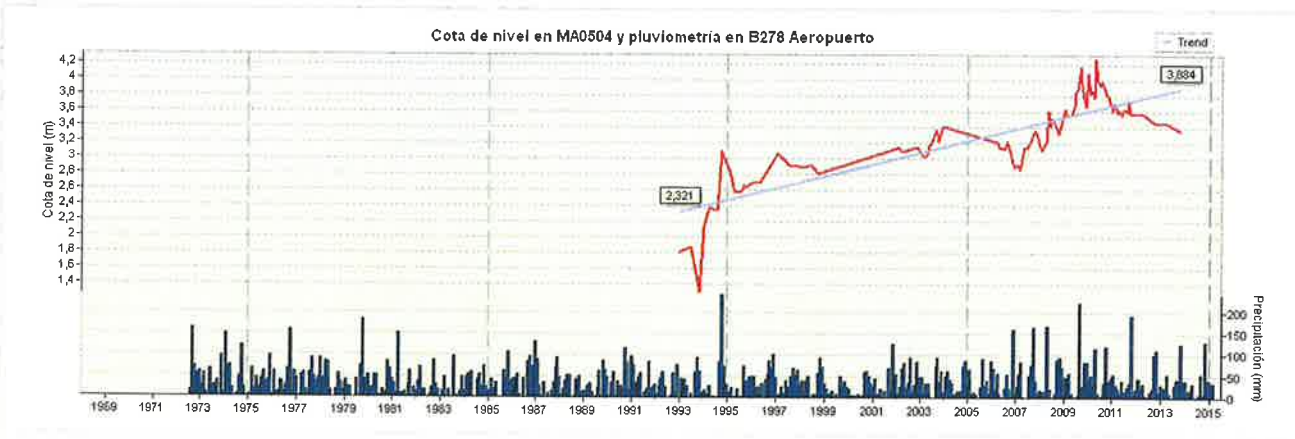
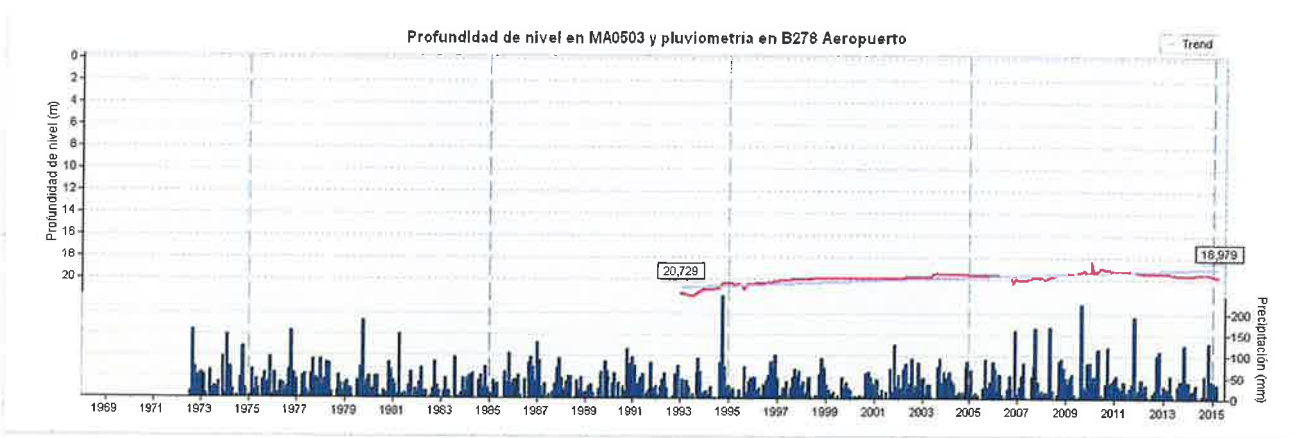
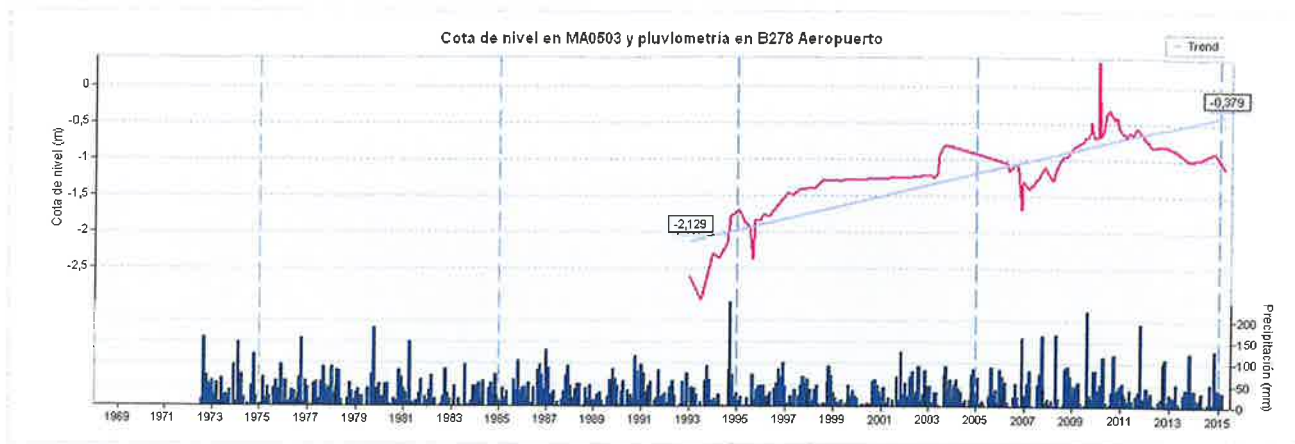


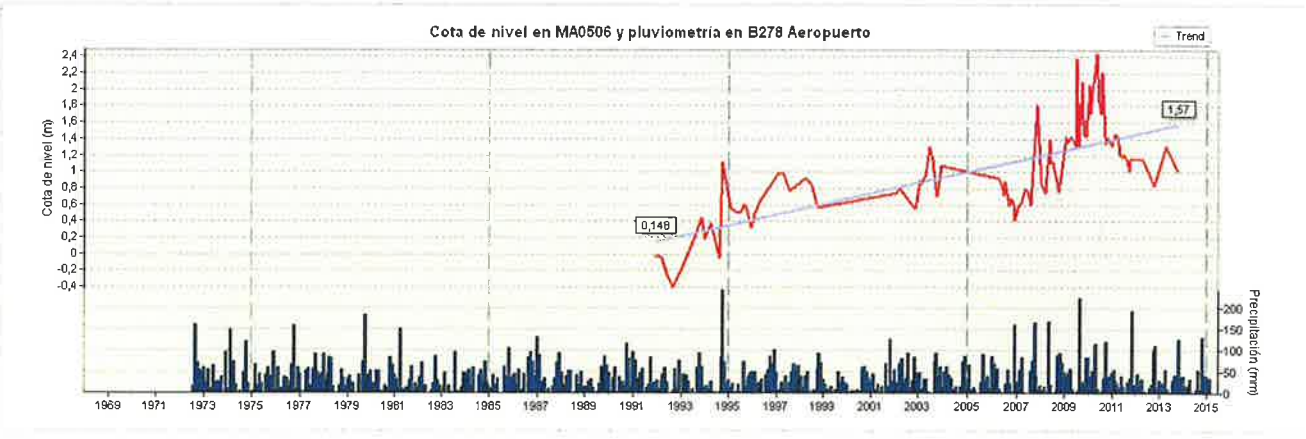
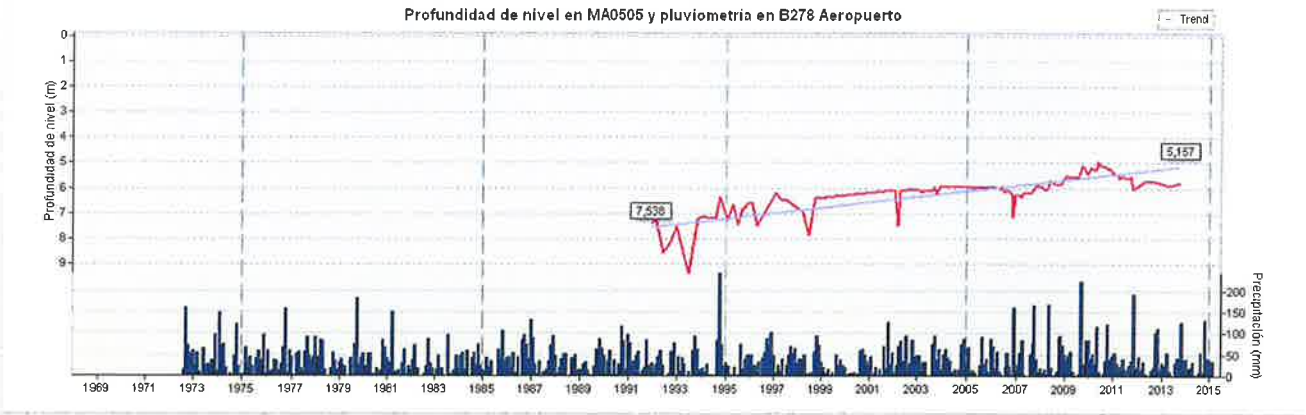


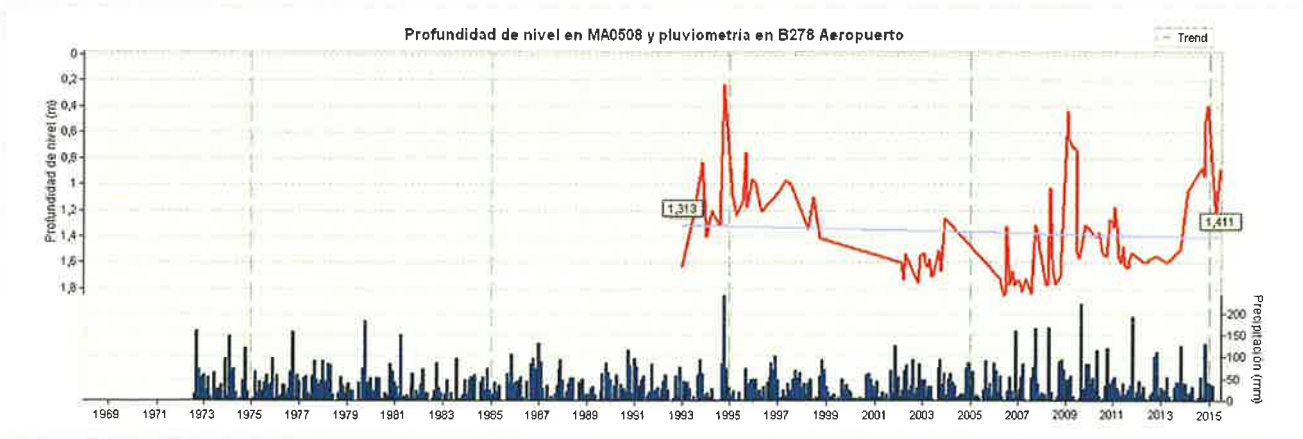
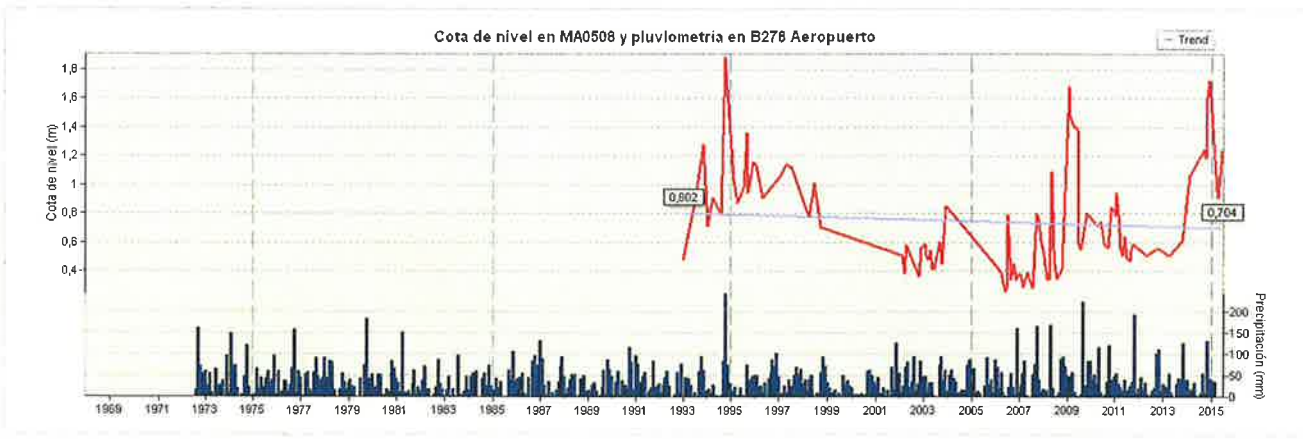
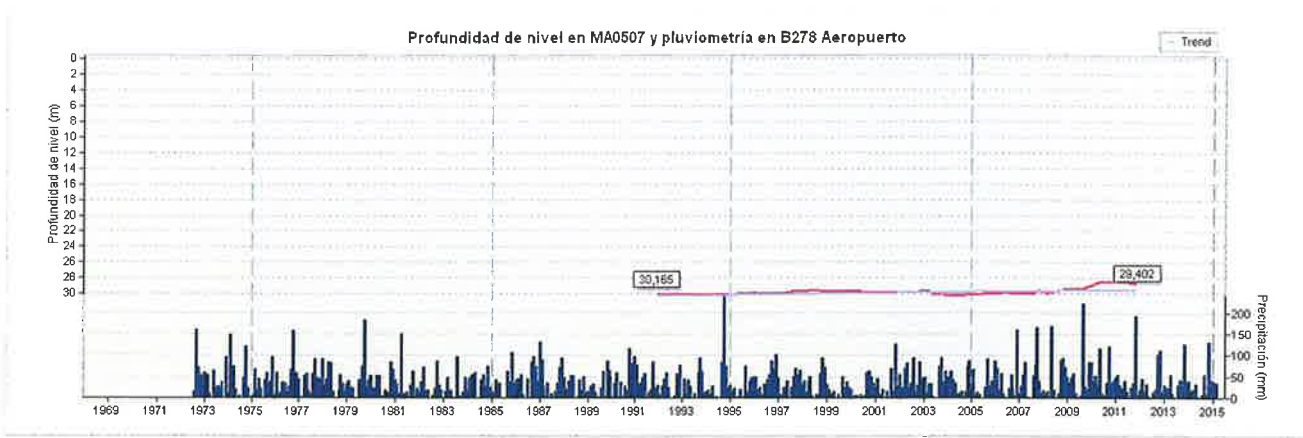
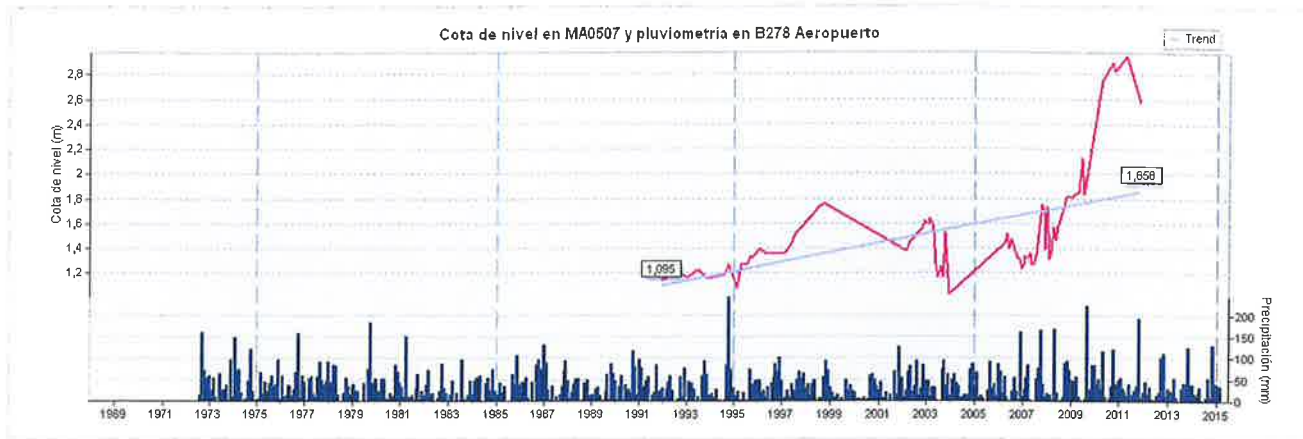


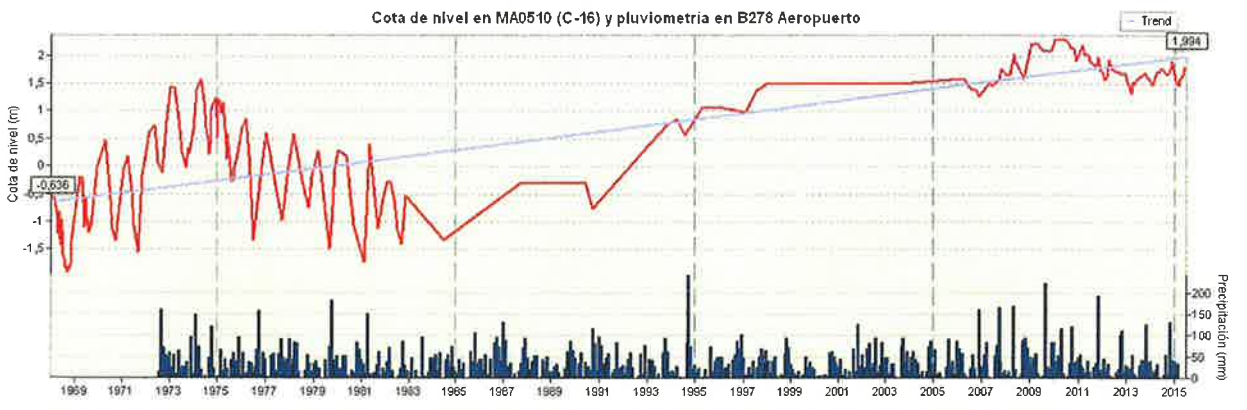
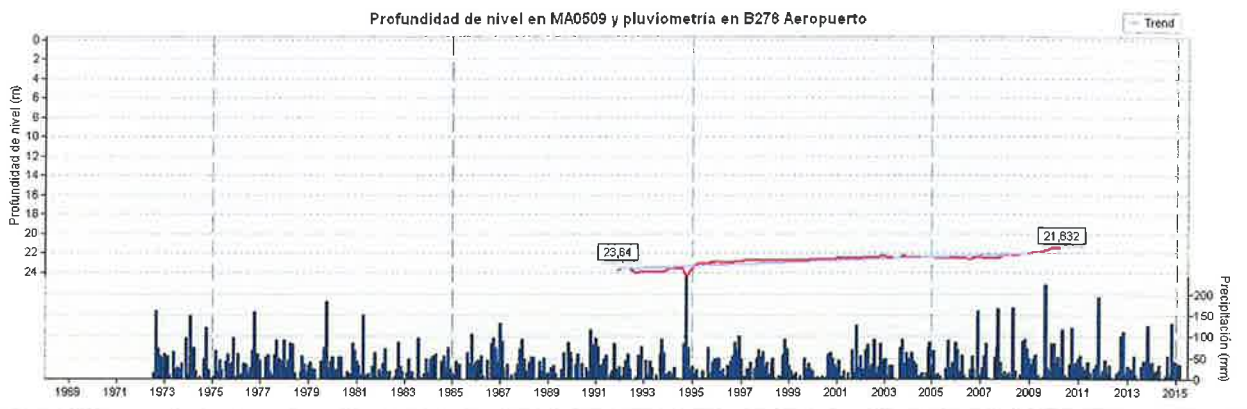


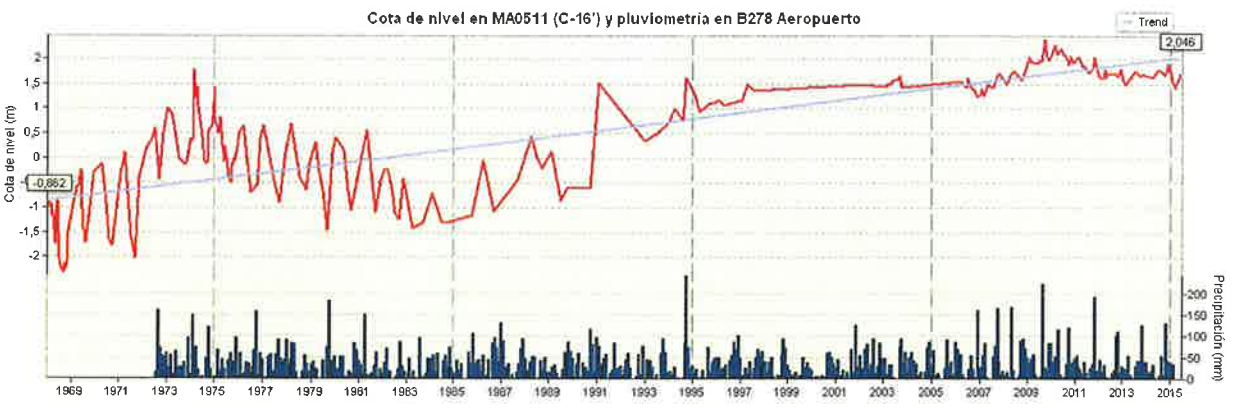
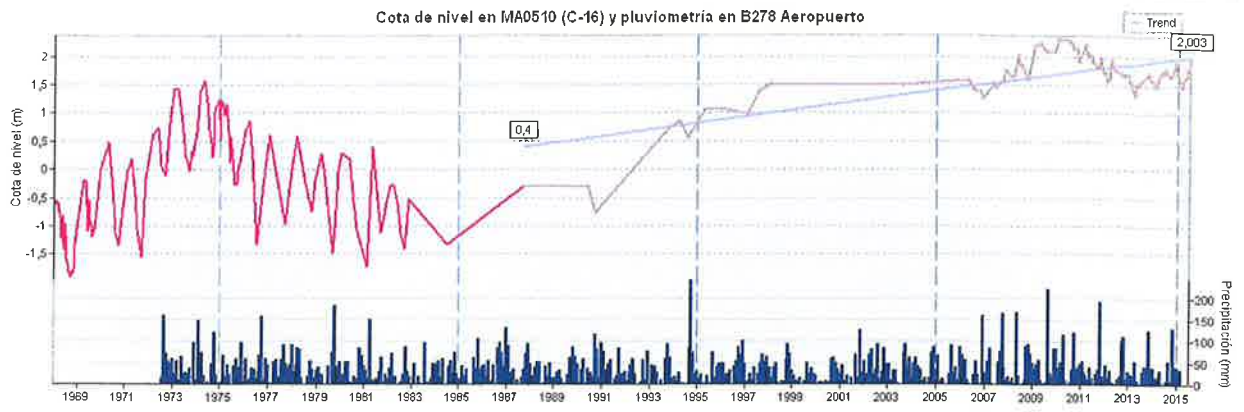


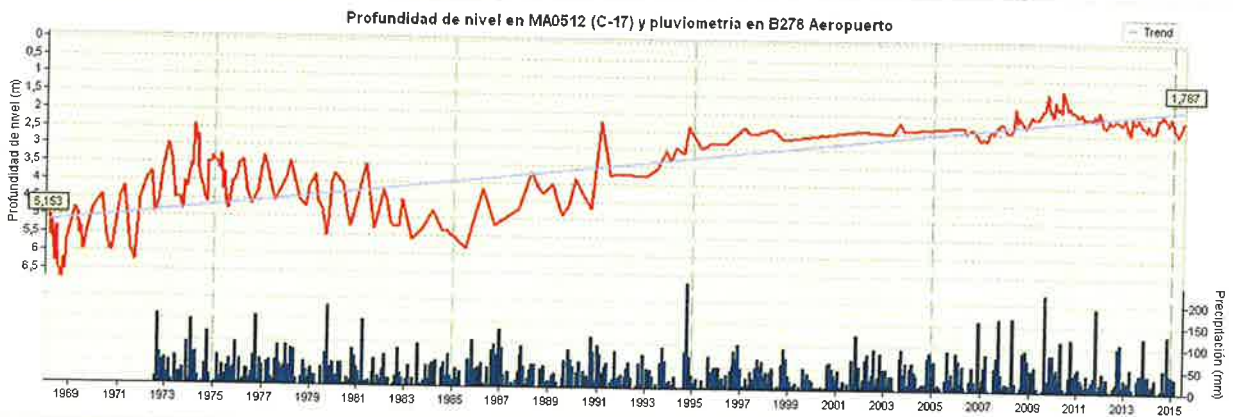
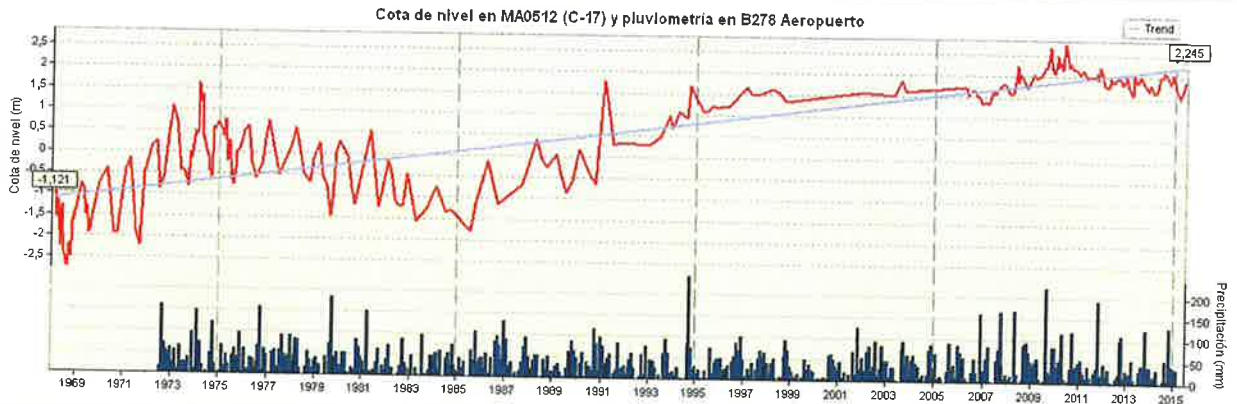
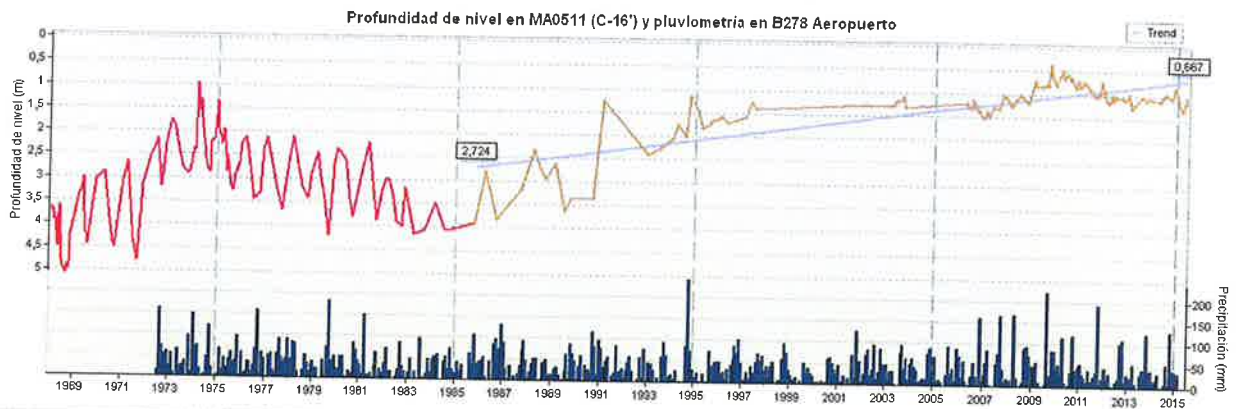
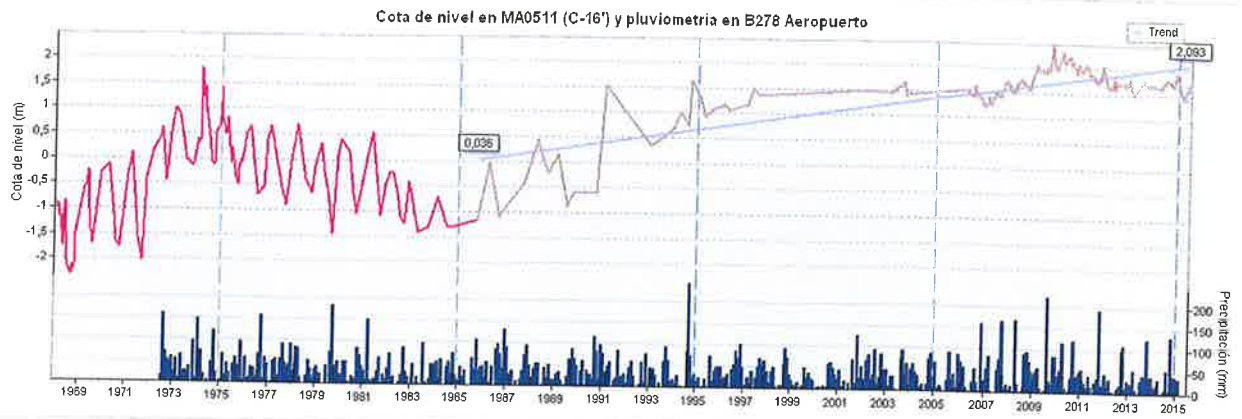


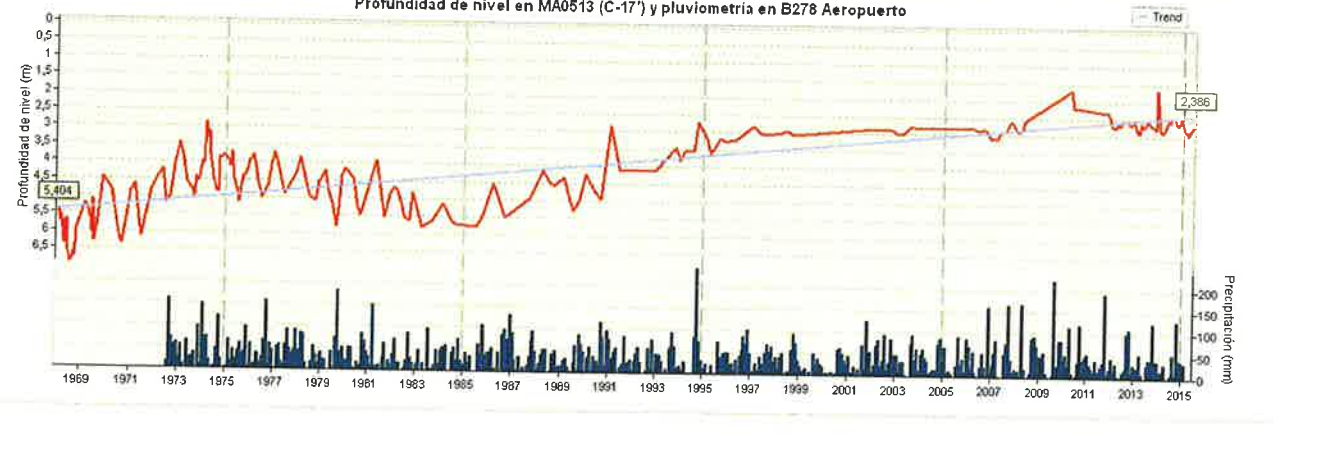
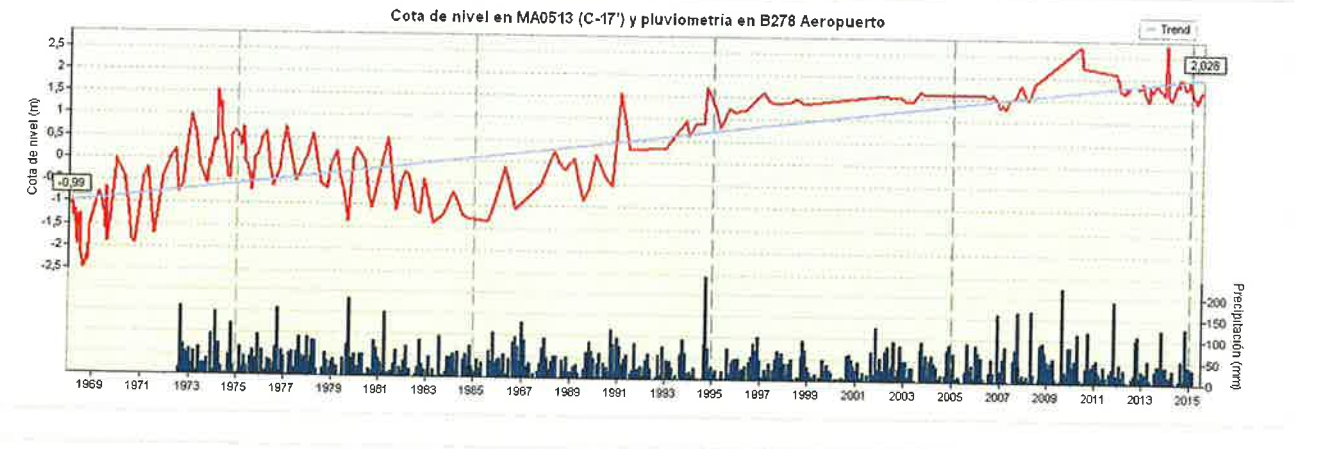
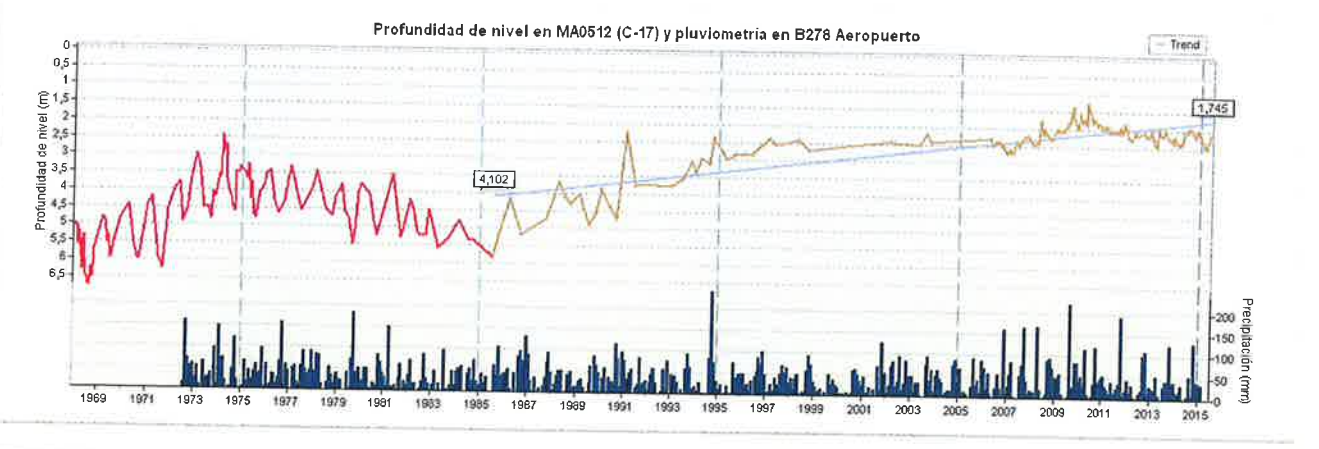
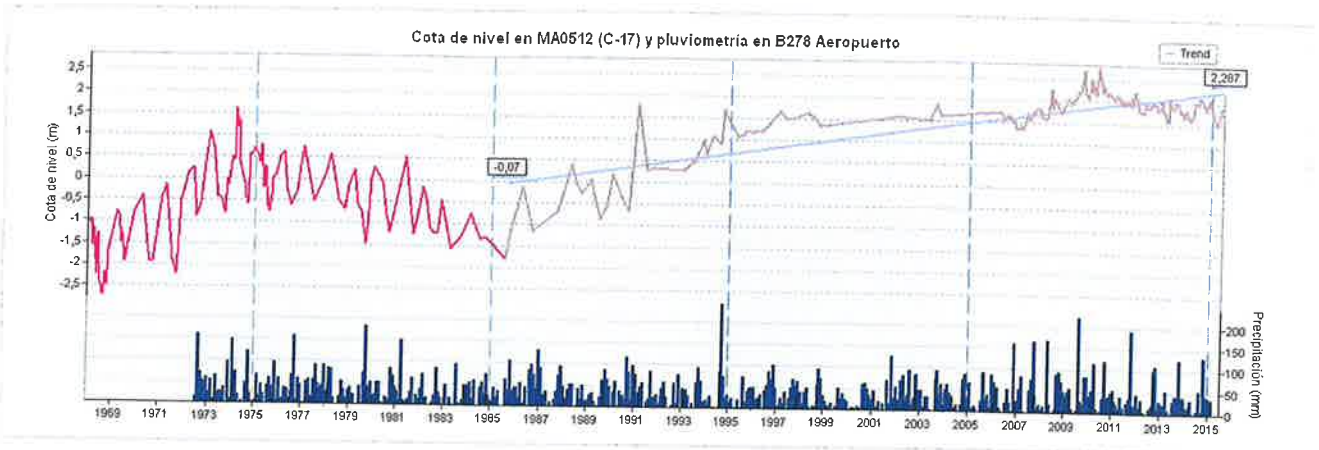


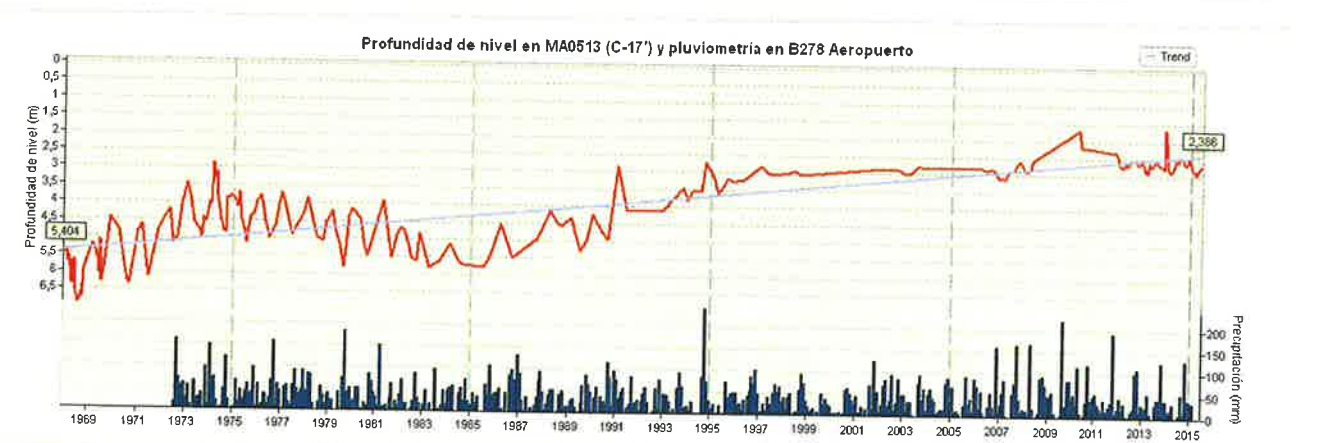
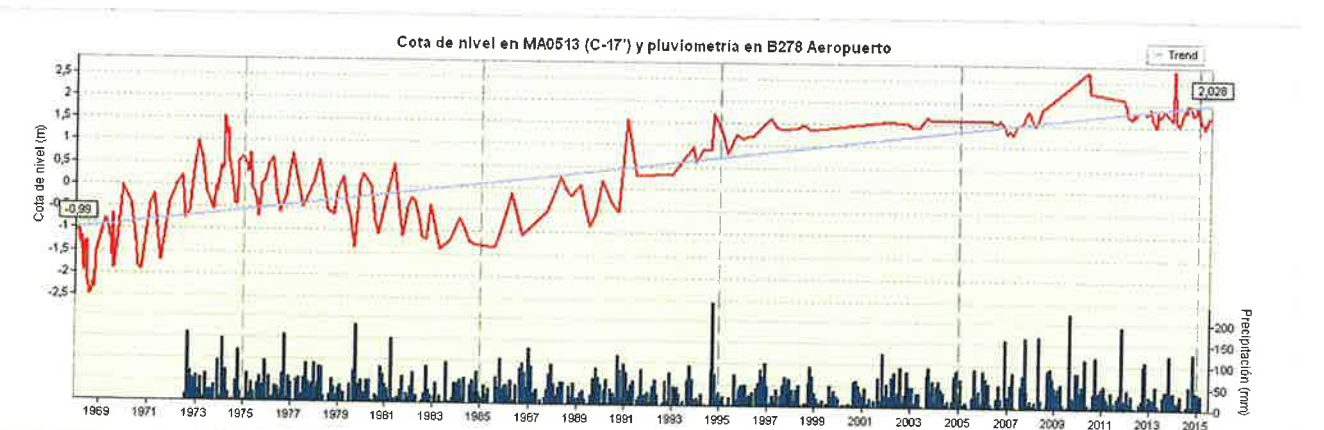
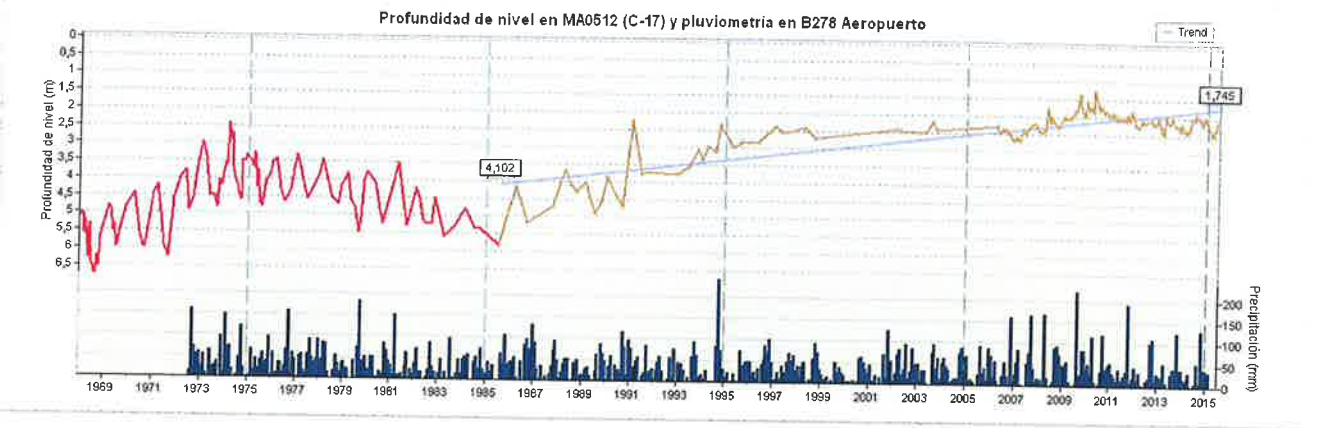
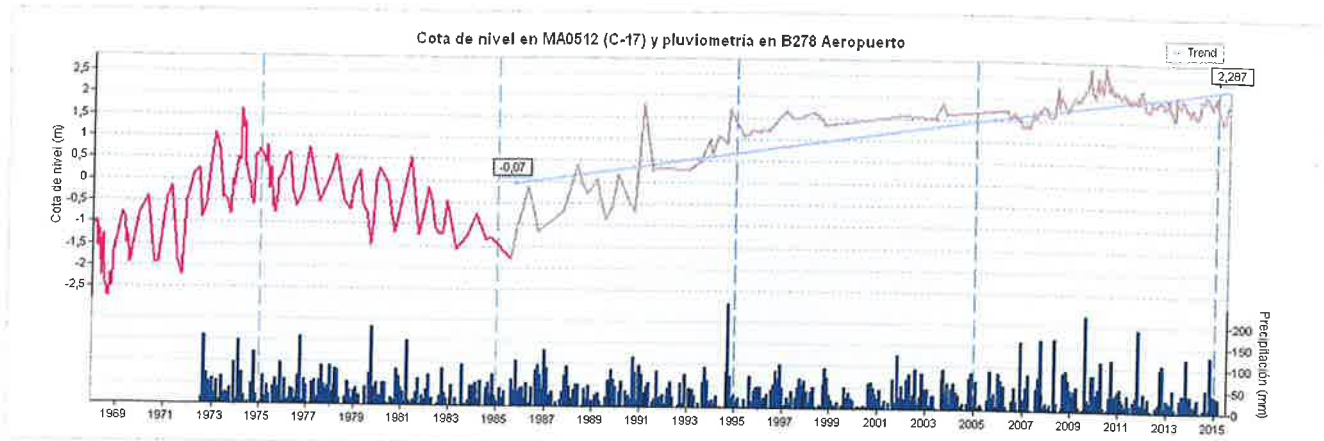


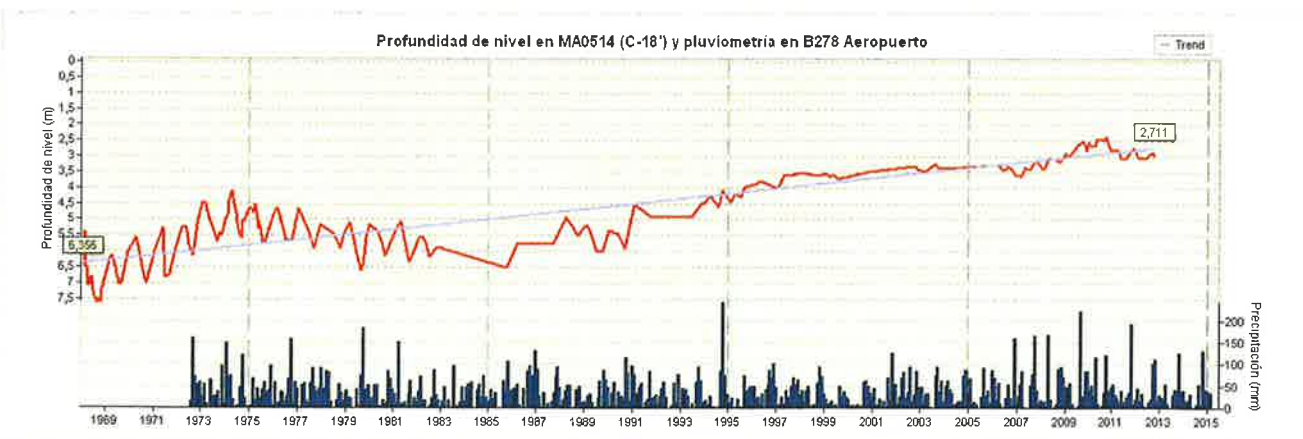
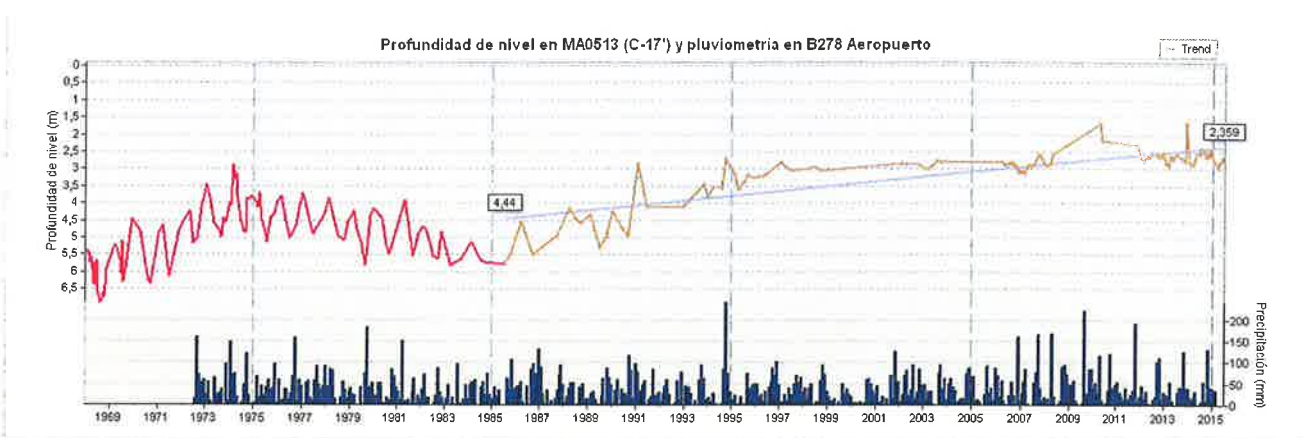












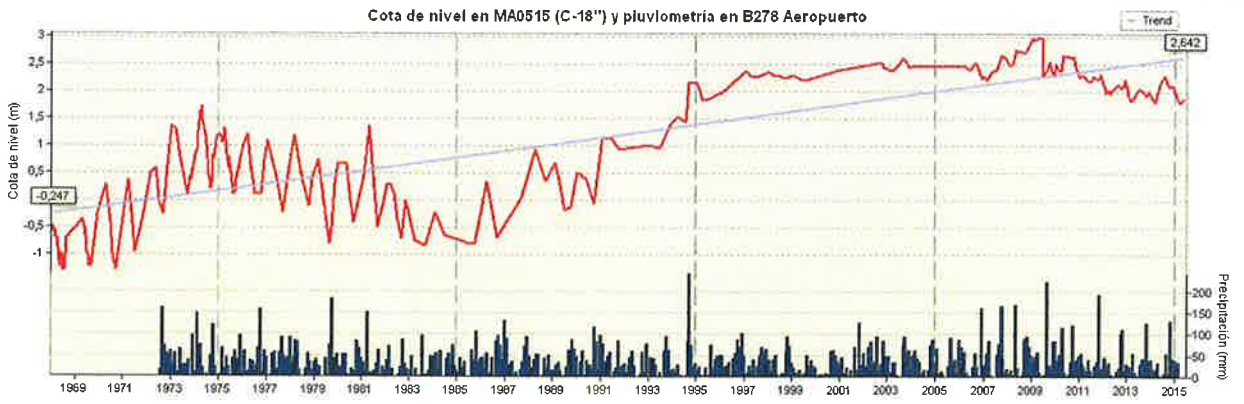
Cota de nivel en MA0514 (C-18') y pluviometría en B278 Aeropuerto



Profundidad de nivel en MA0514 (C-18') y pluviometría en B278 Aeropuerto

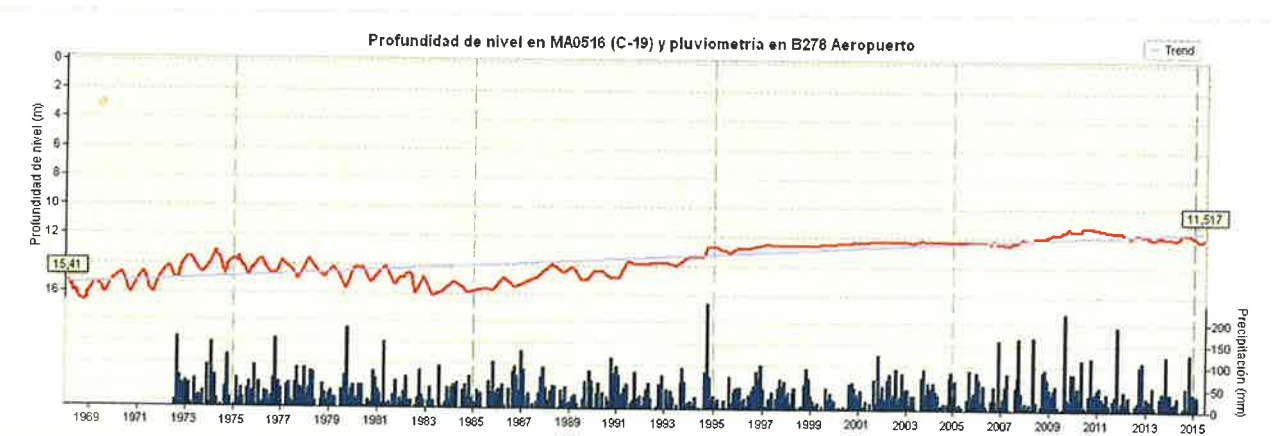
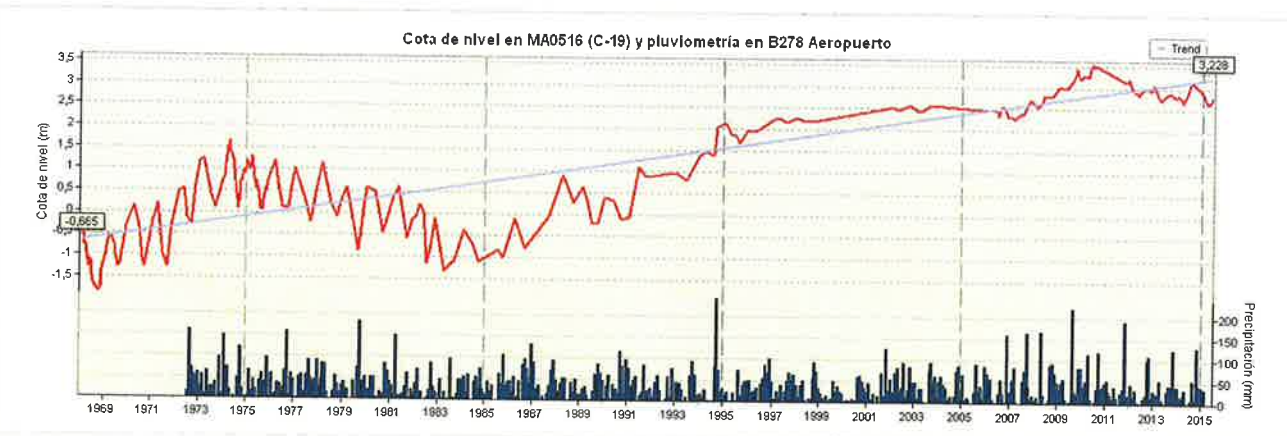
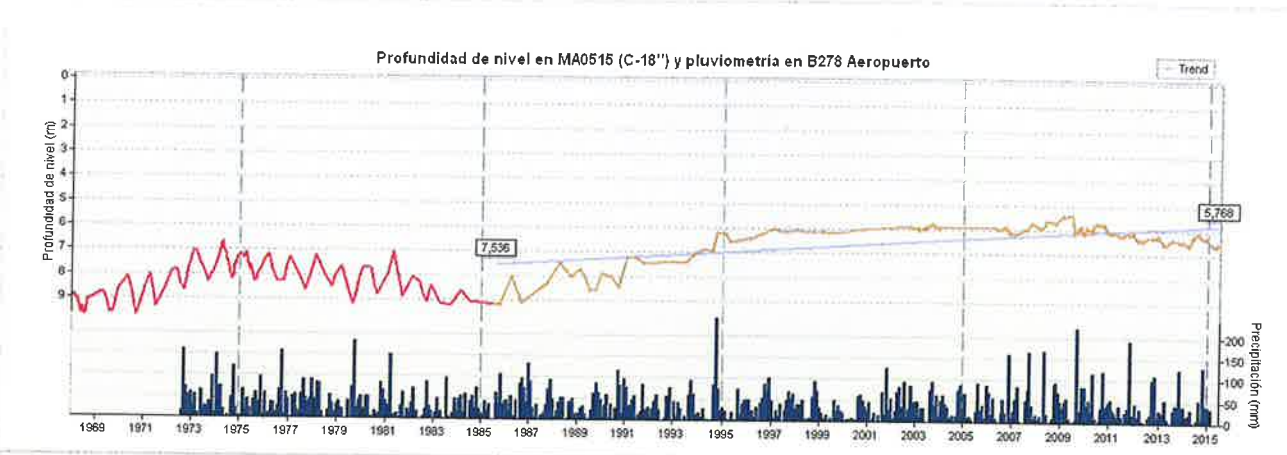
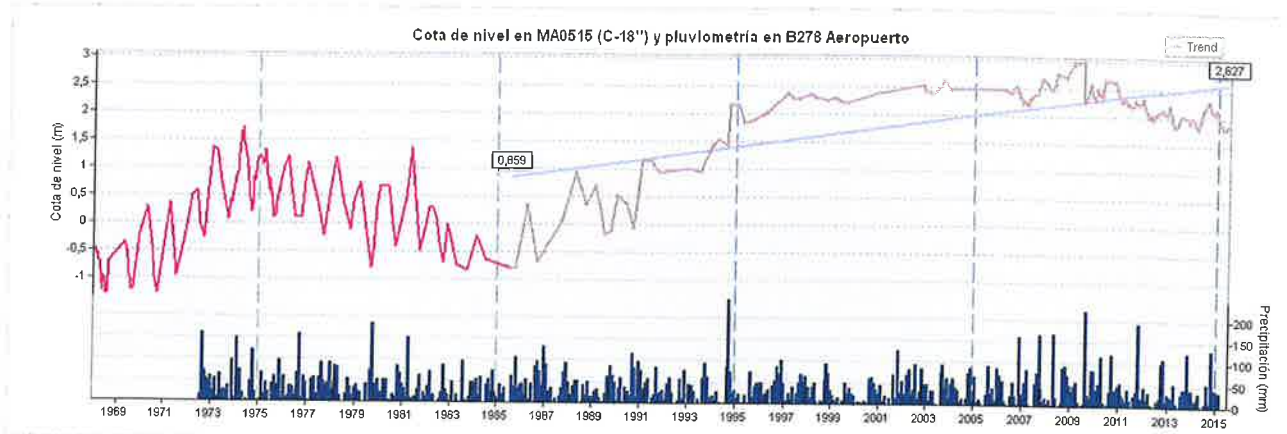


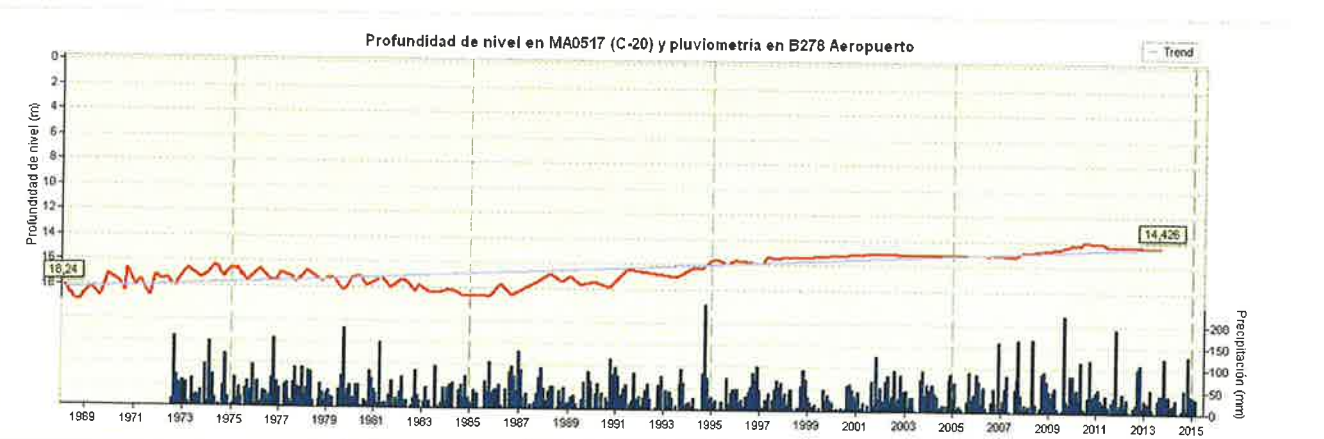
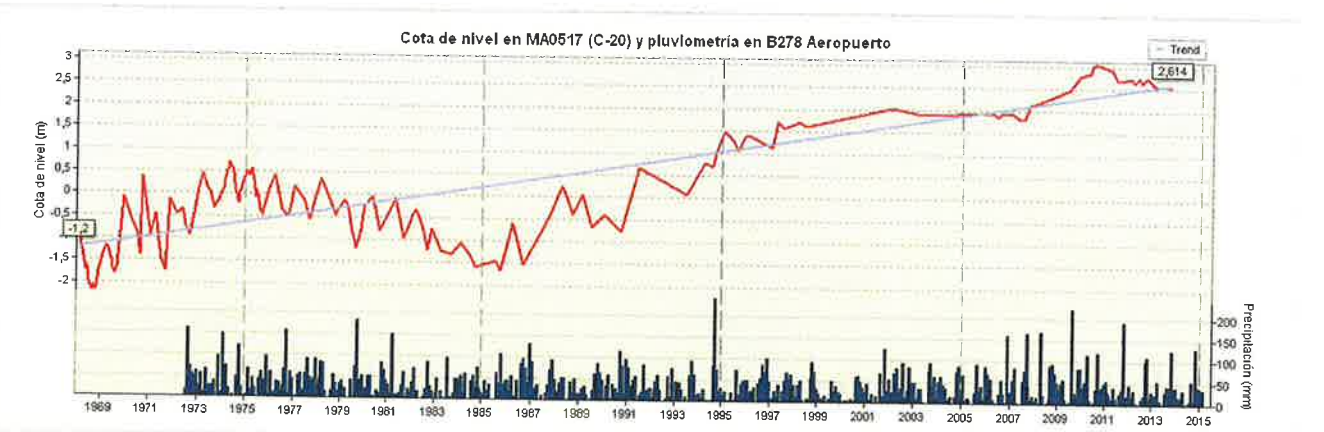
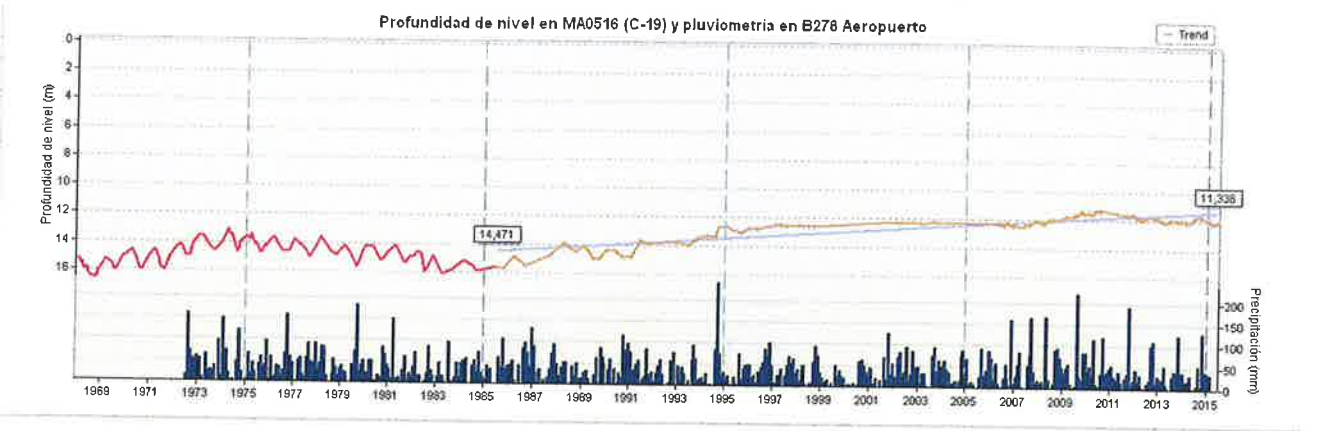
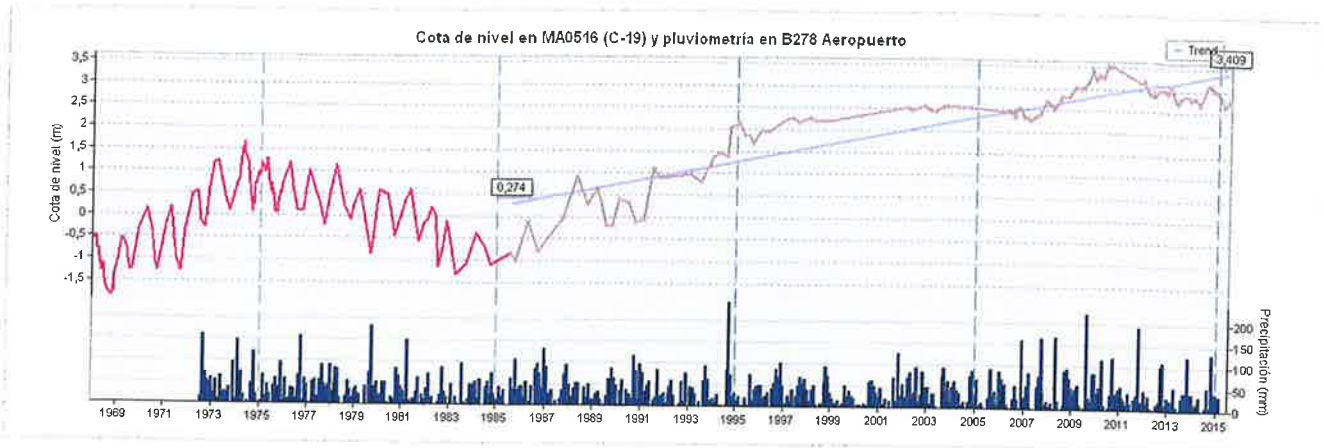
Cota de nivel en MA0515 (C-18'') y pluviometría en B278 Aeropuerto

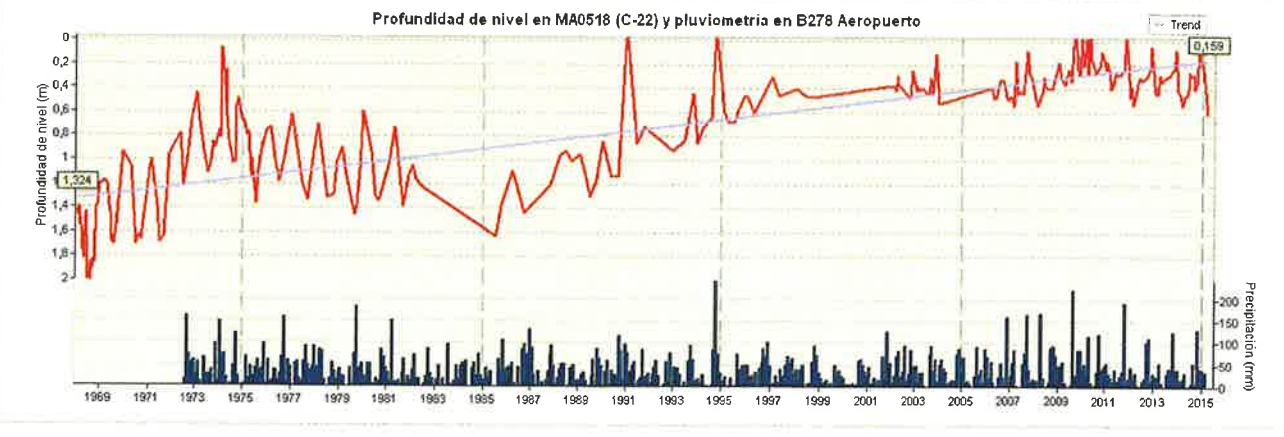
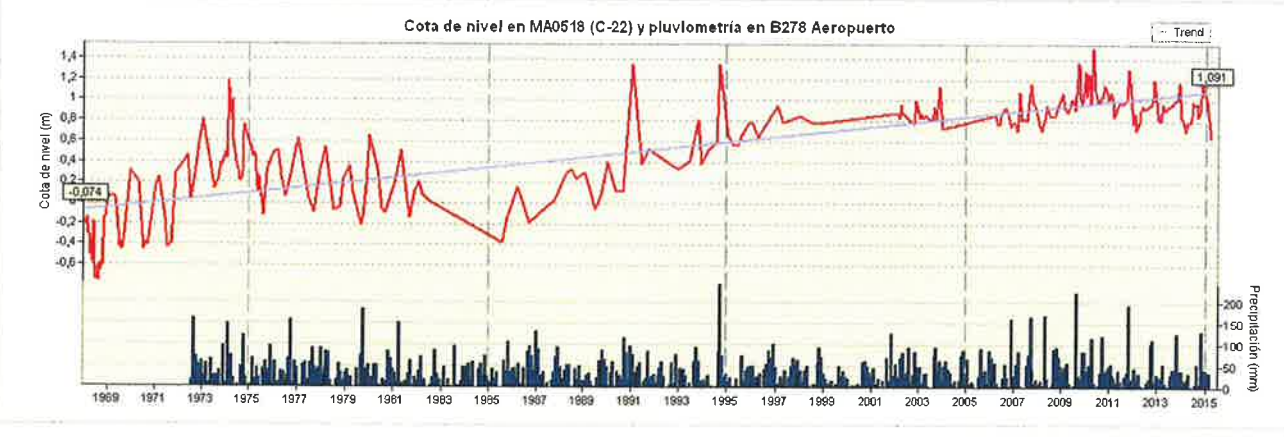
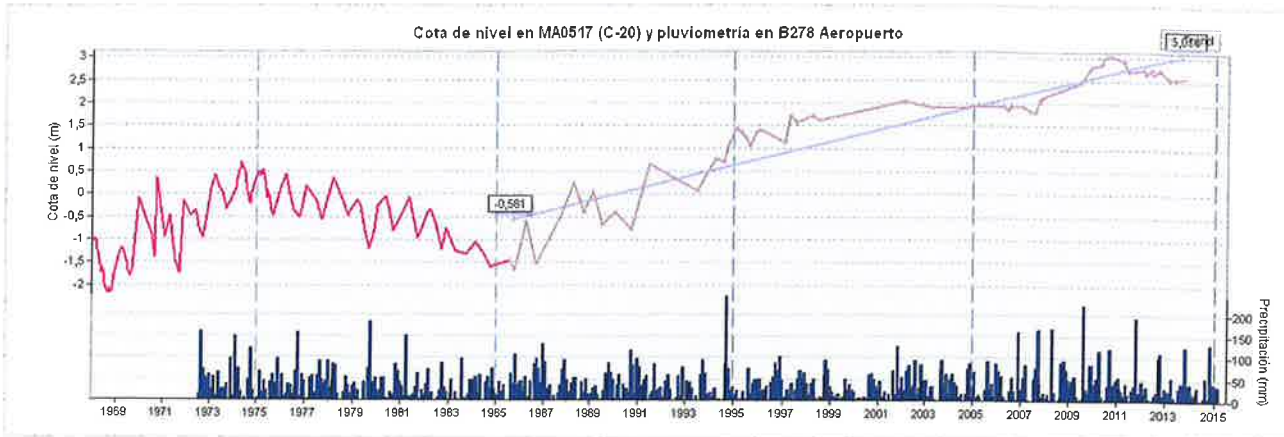


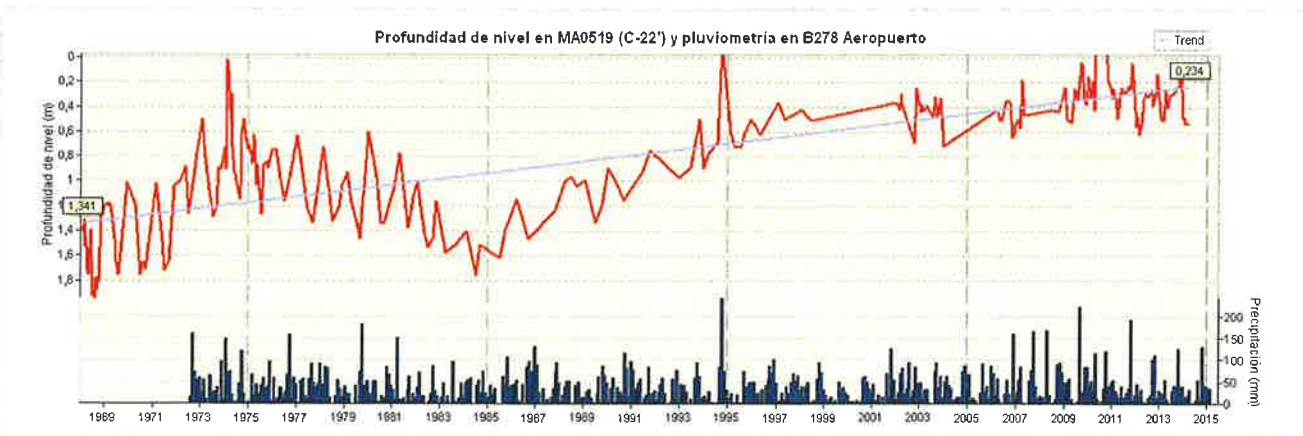
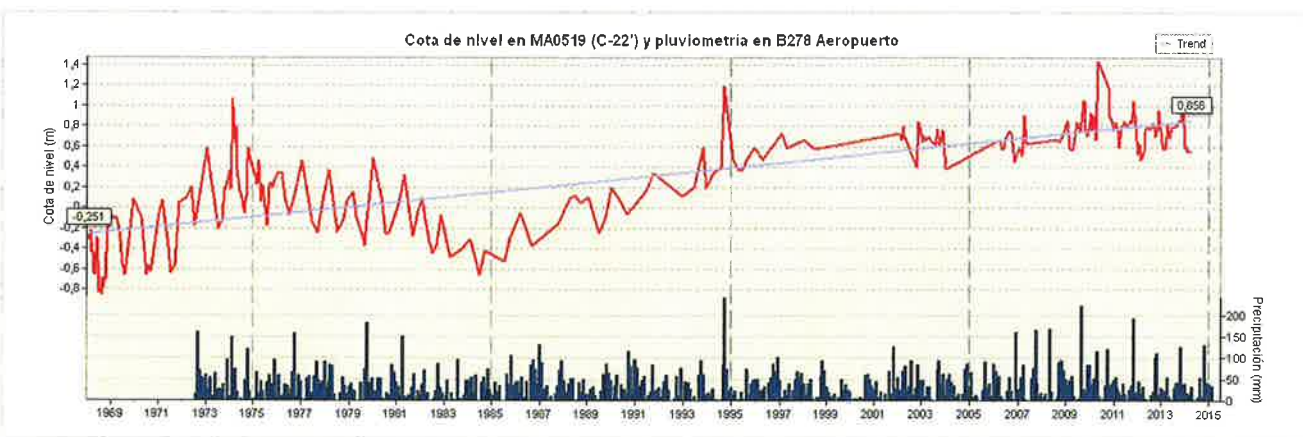
Profundidad de nivel en MA0515 (C-18'') y pluviometría en B278 Aeropuerto

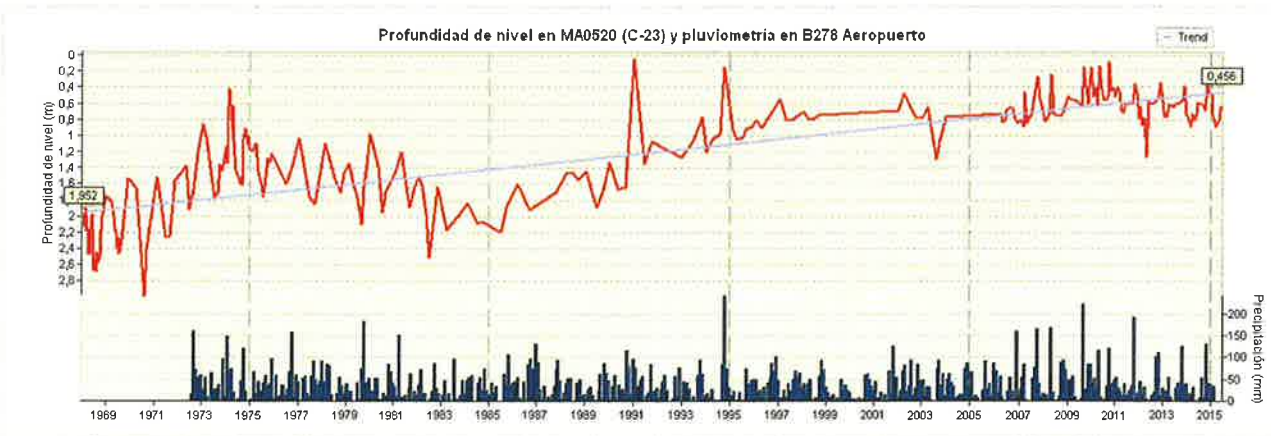
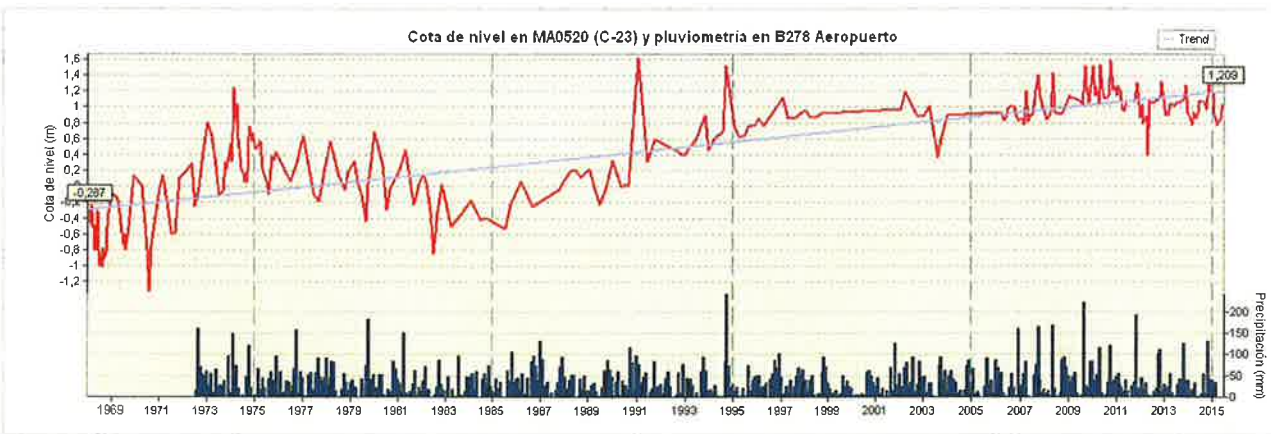
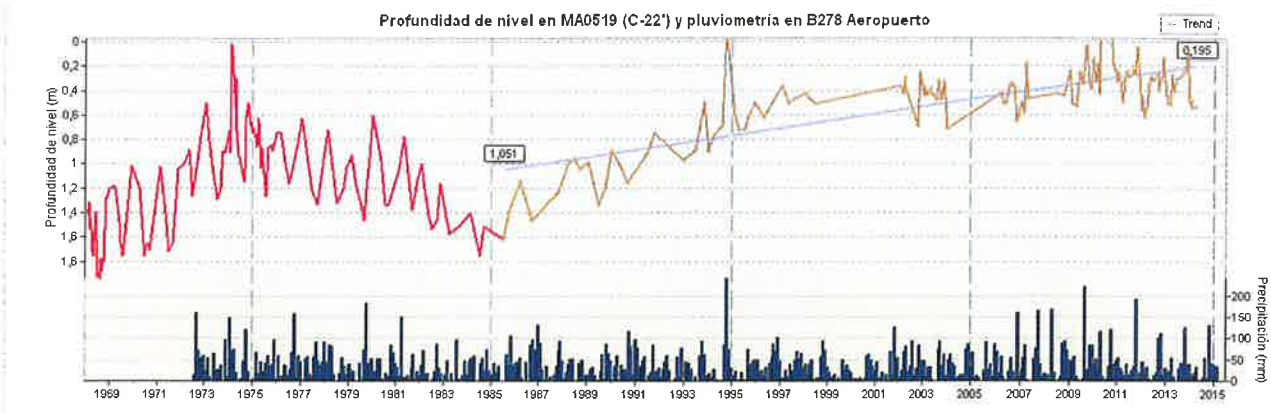
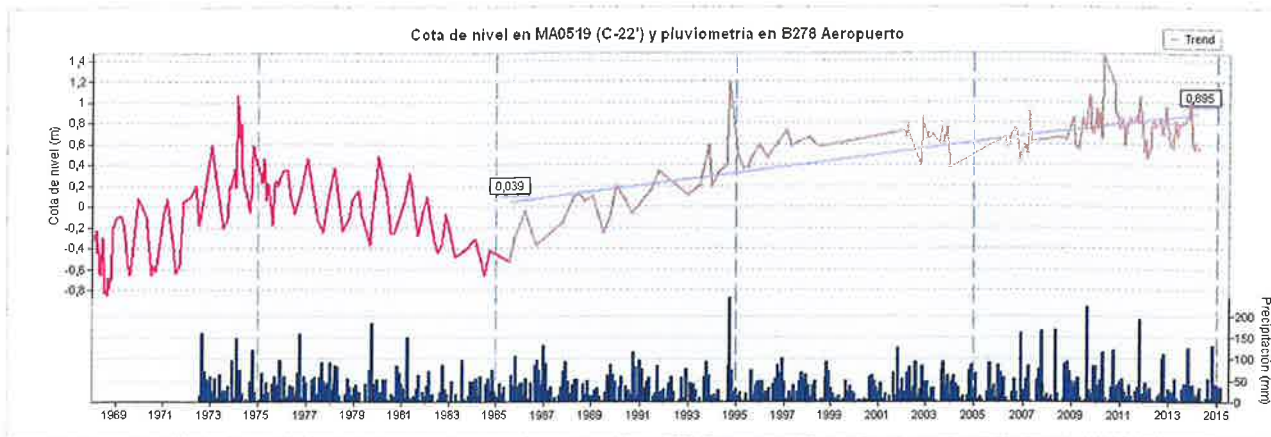


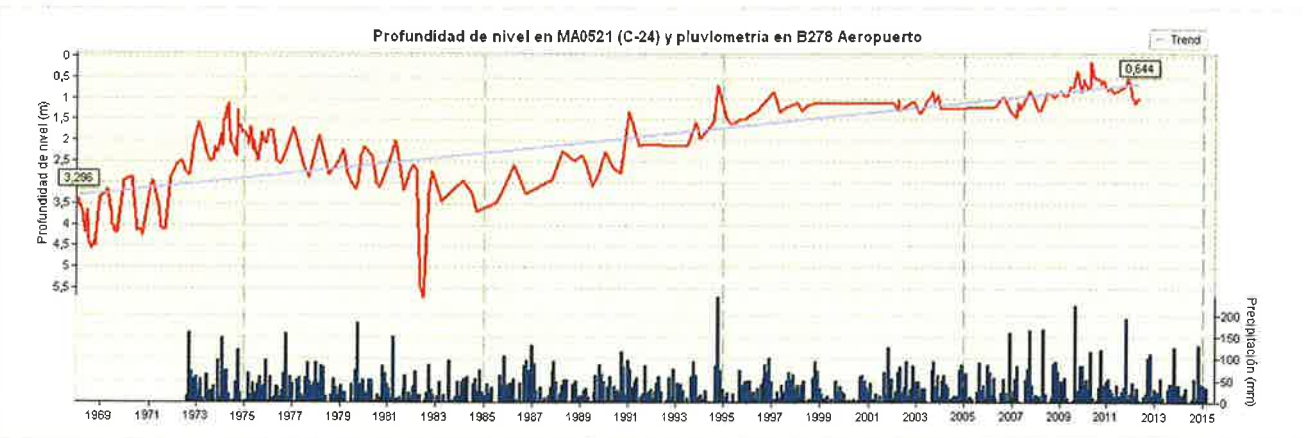
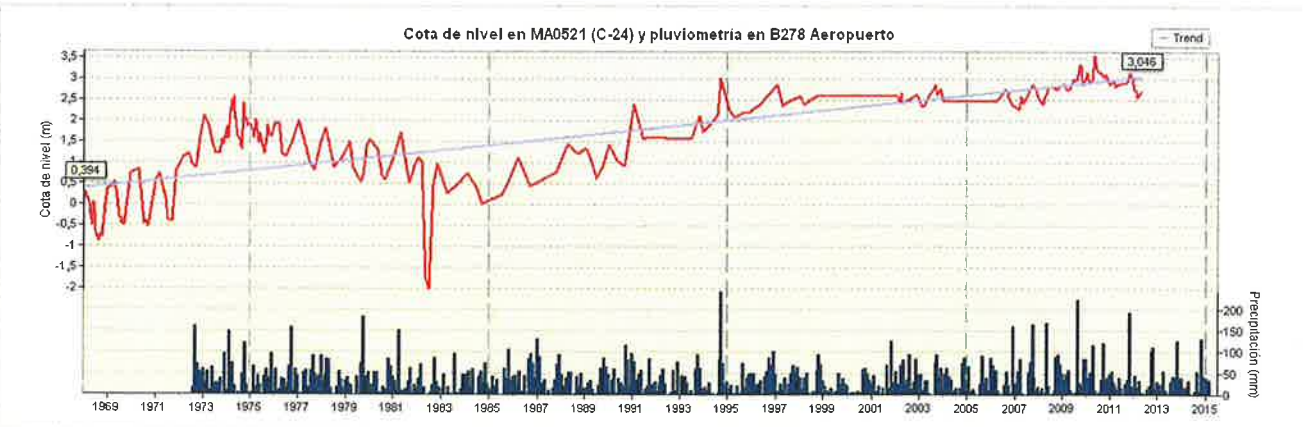
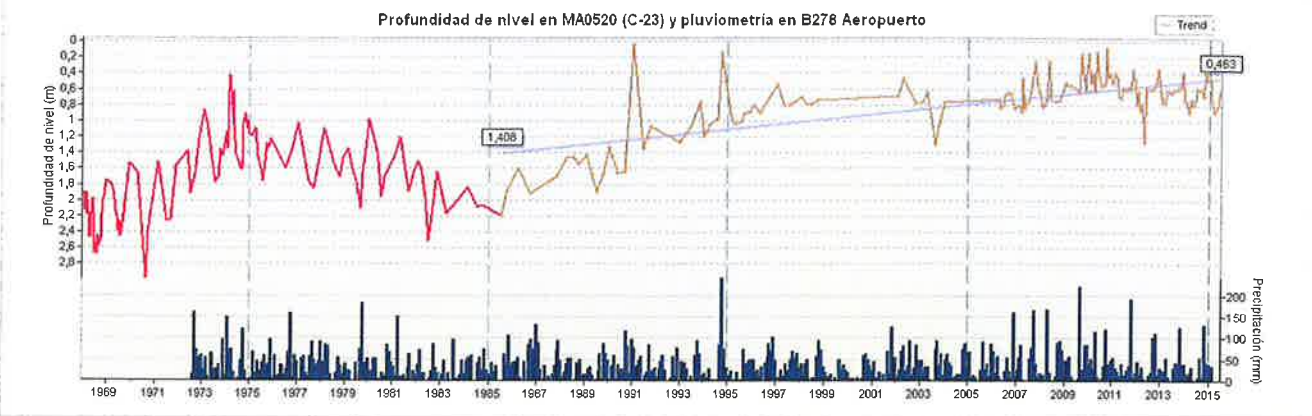
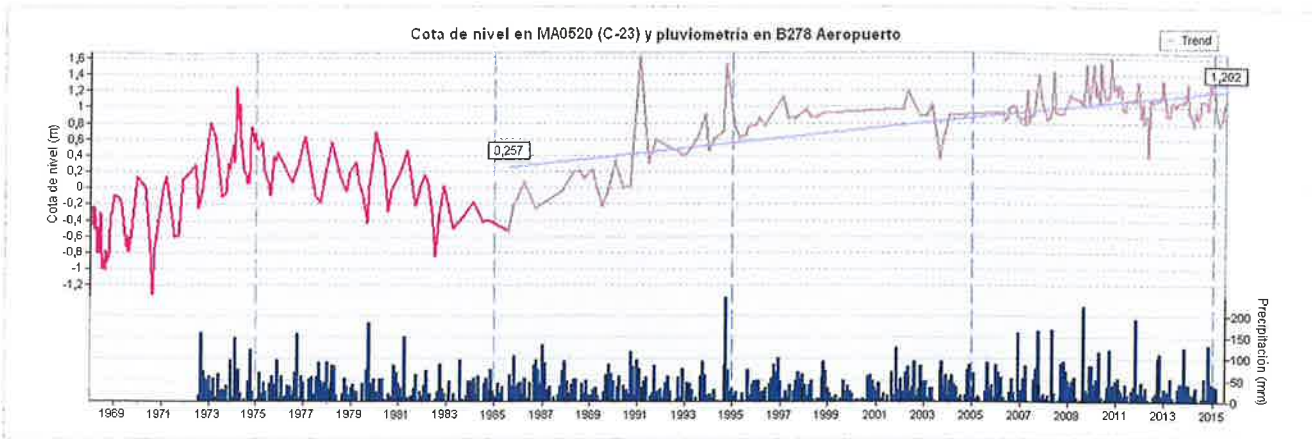


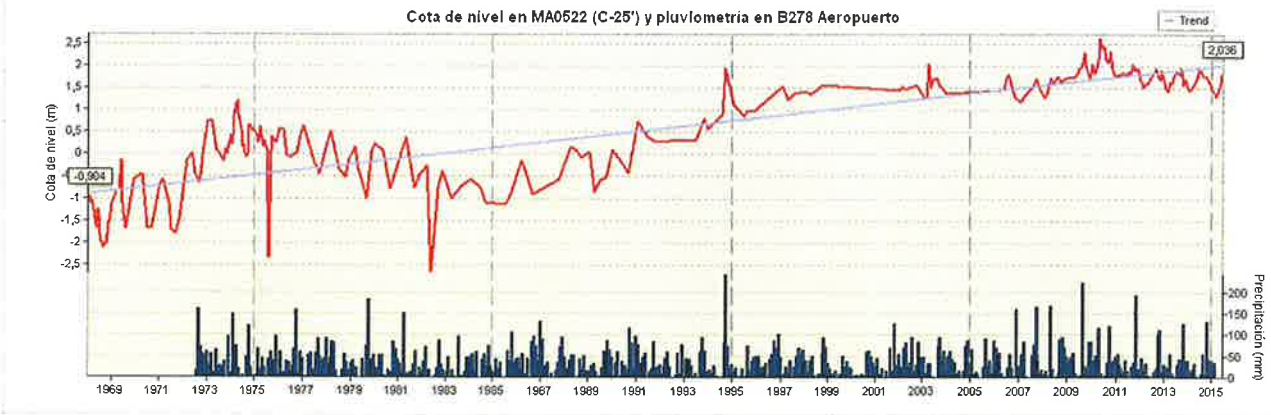
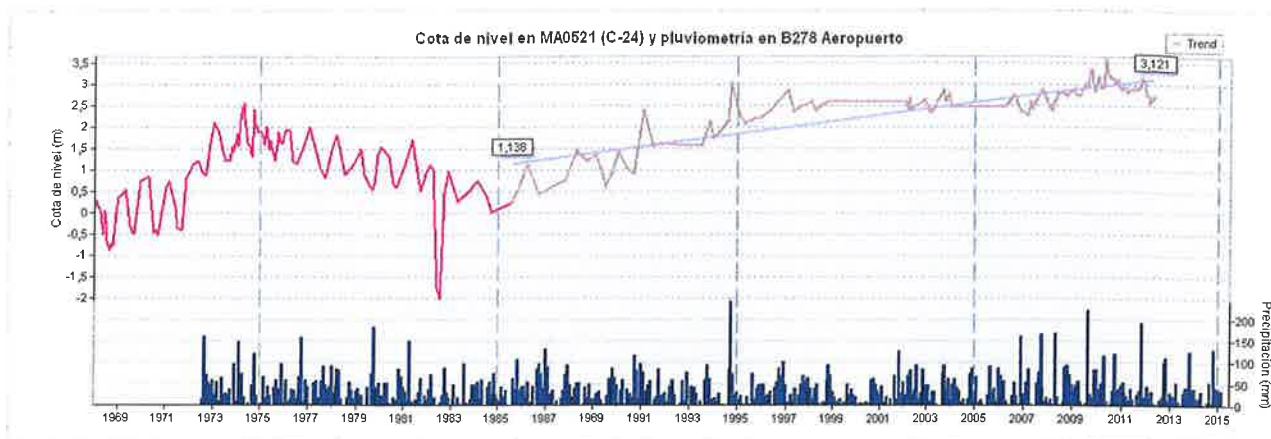


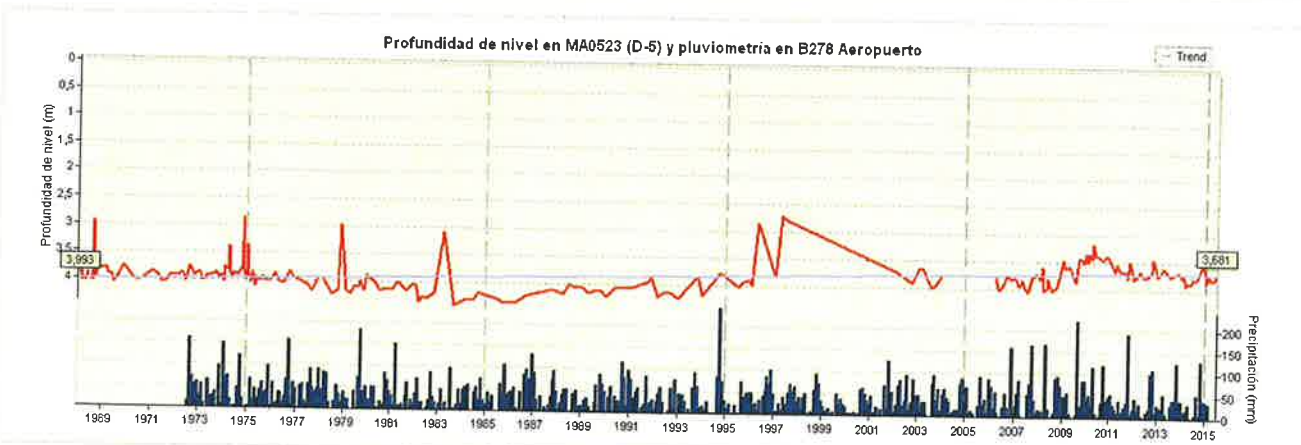
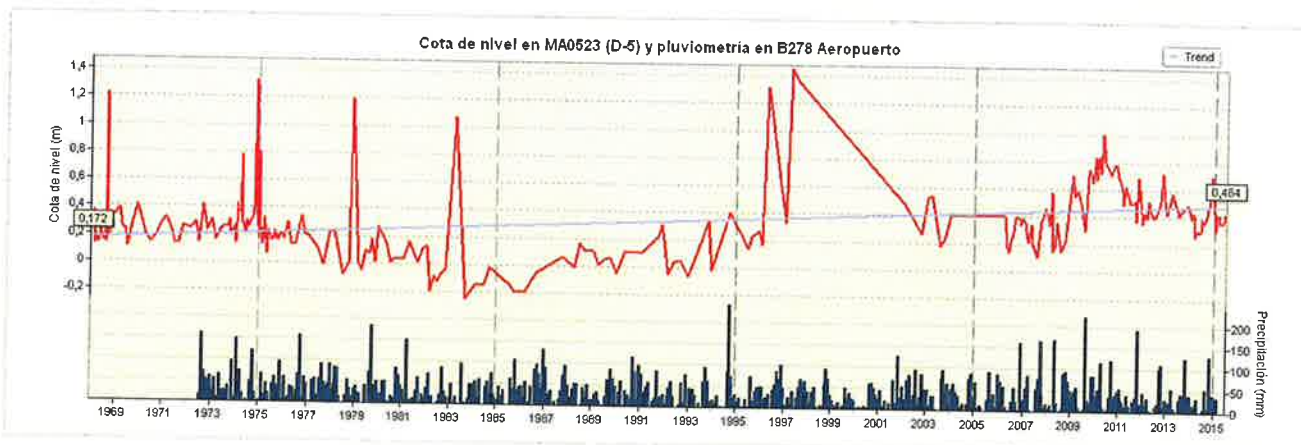
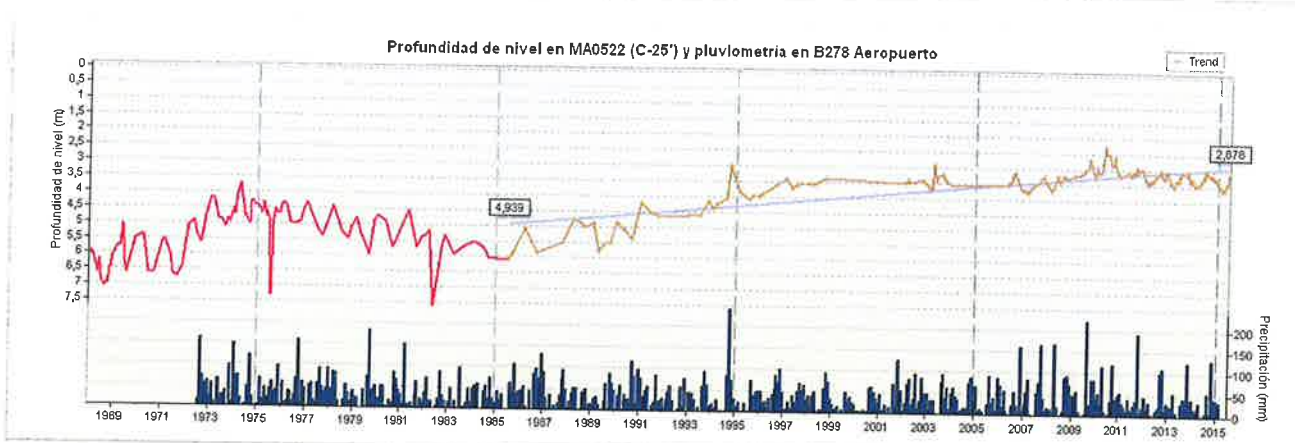


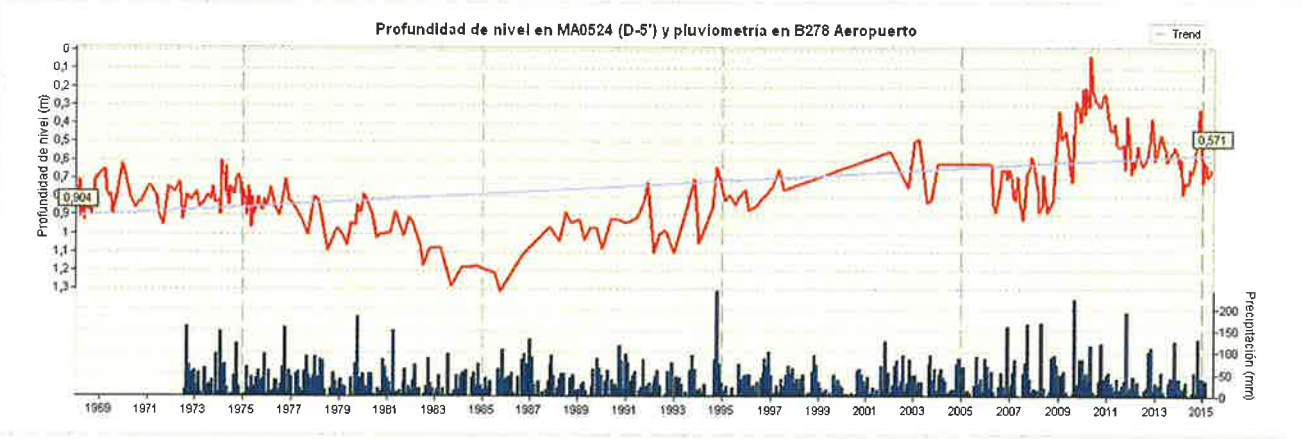
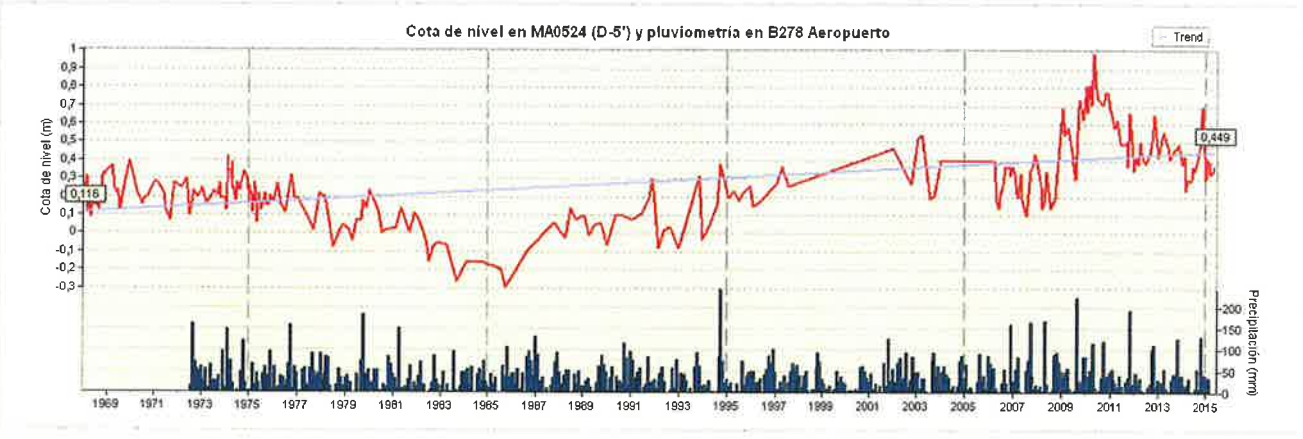
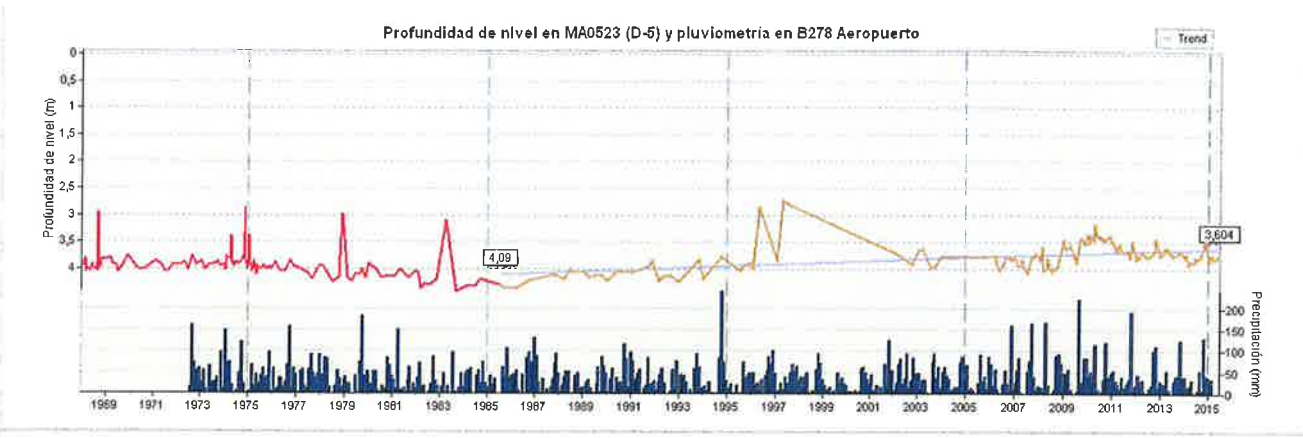
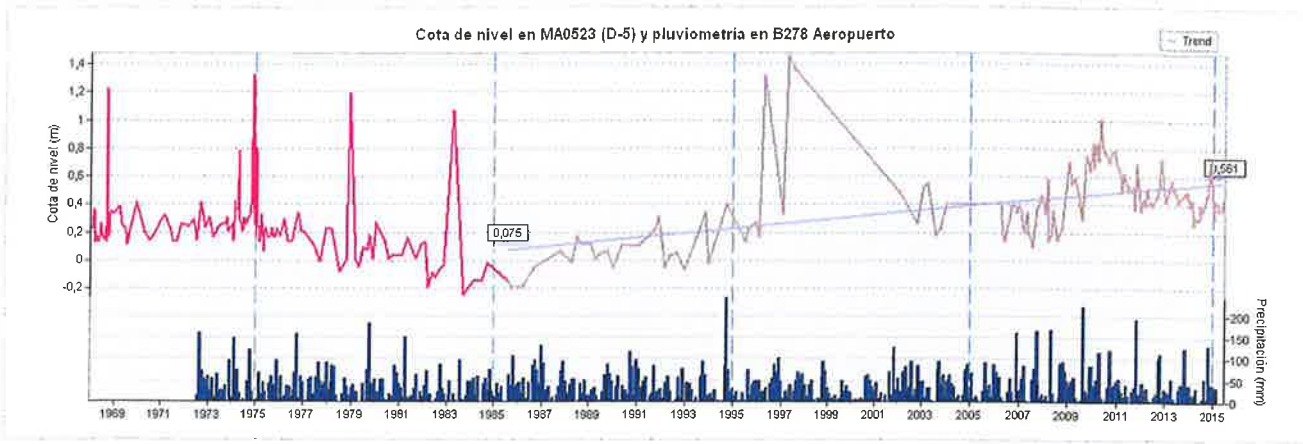


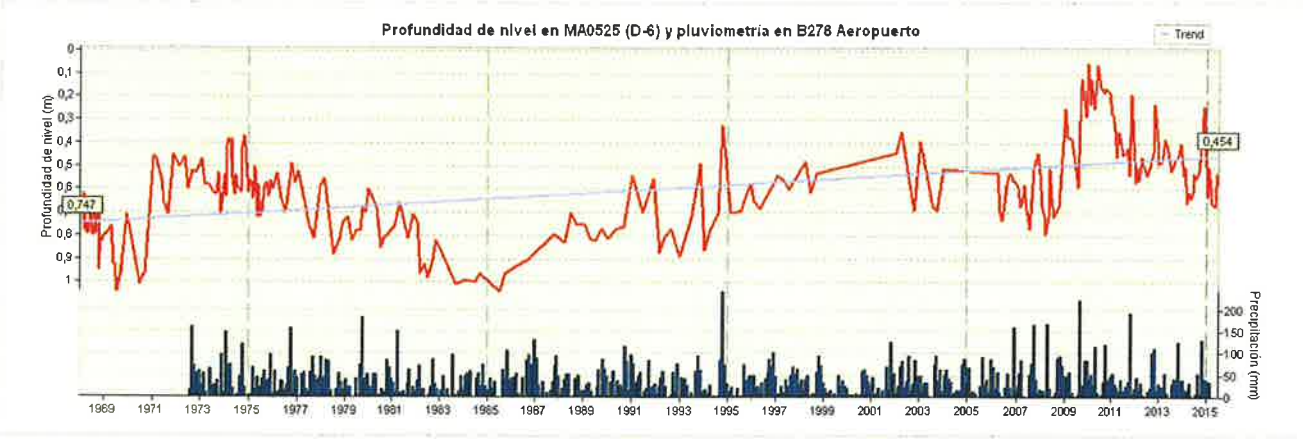
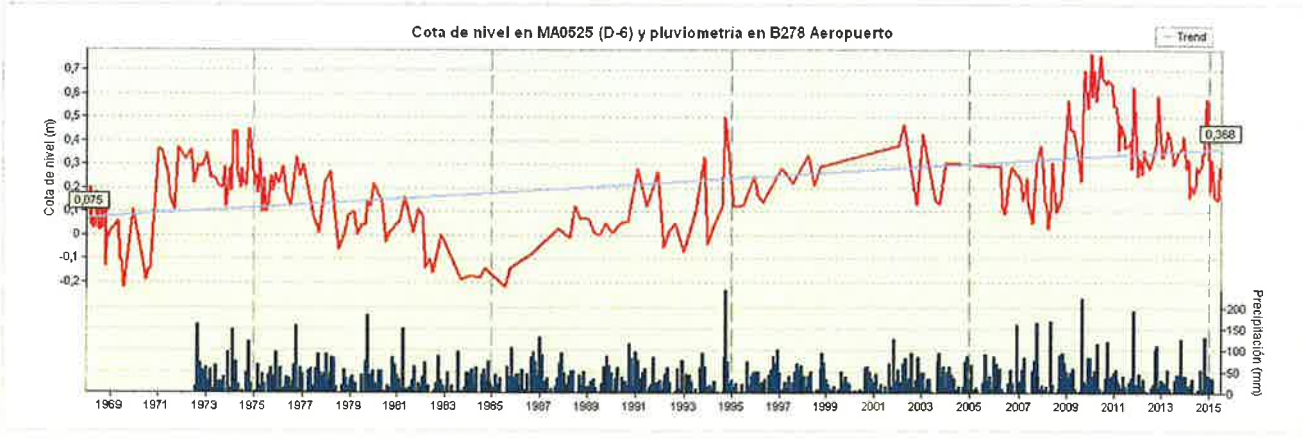
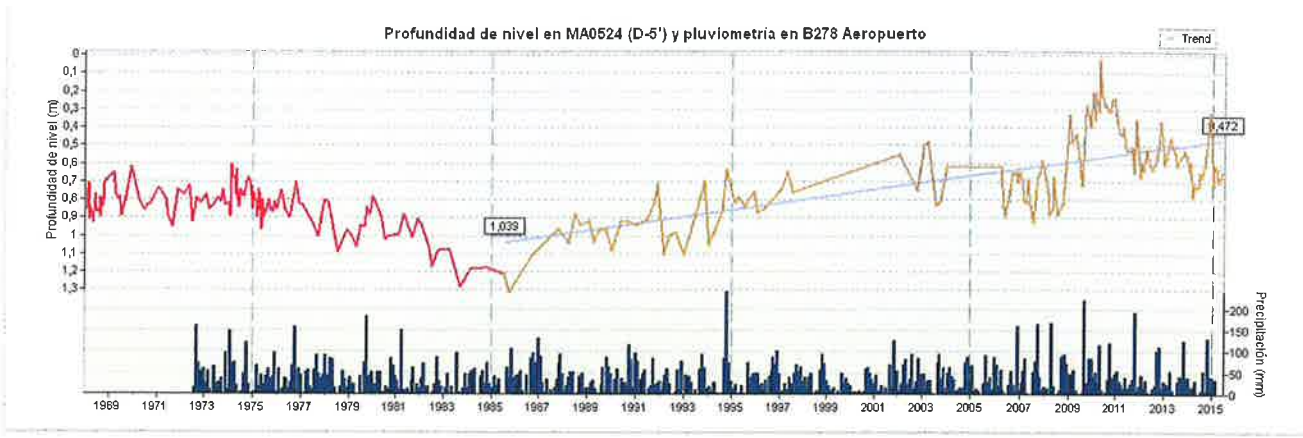
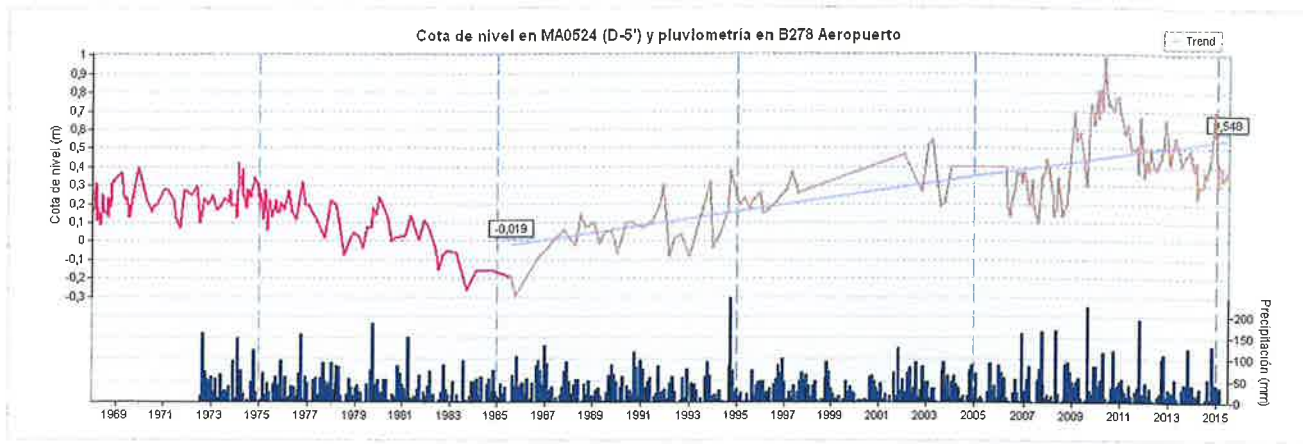












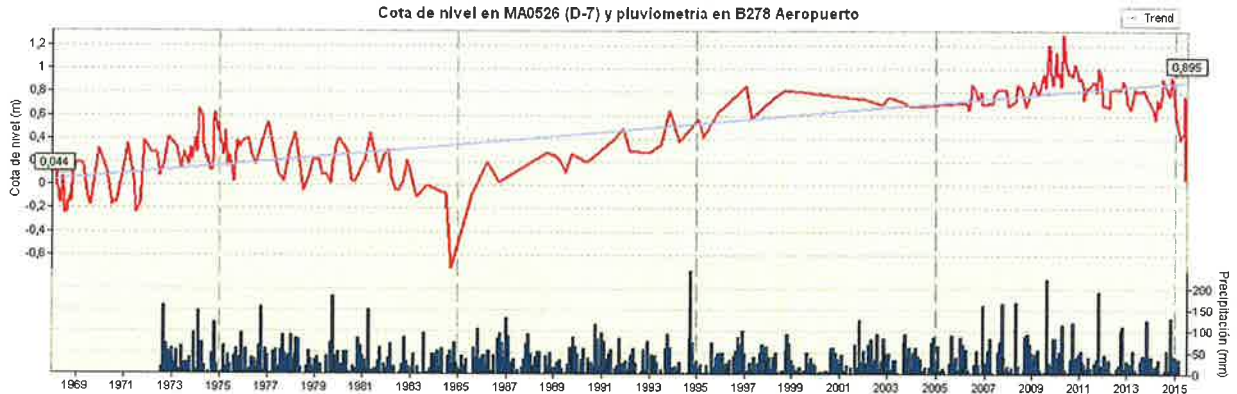
Cota de nivel en MA0525 (D-6) y pluviometría en B278 Aeropuerto



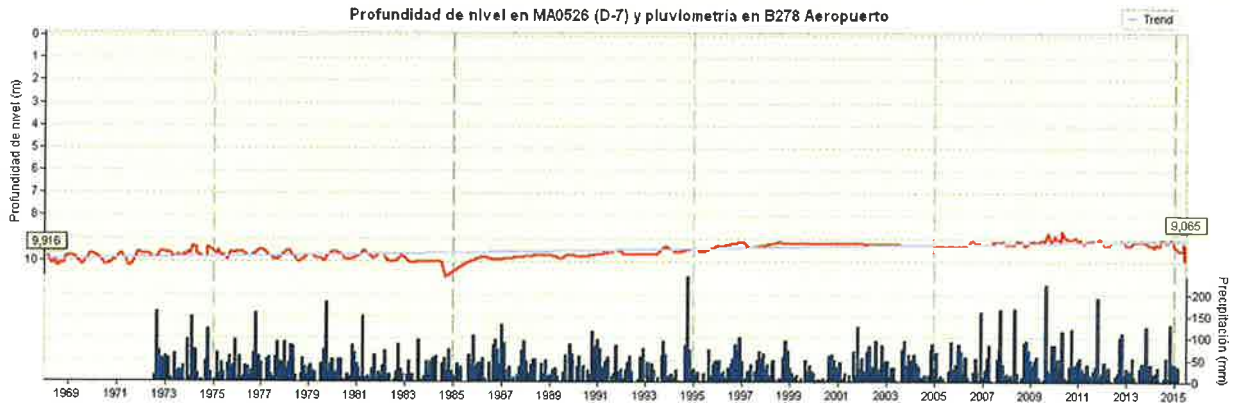
Profundidad de nivel en MA0525 (D-6) y pluviometría en B278 Aeropuerto

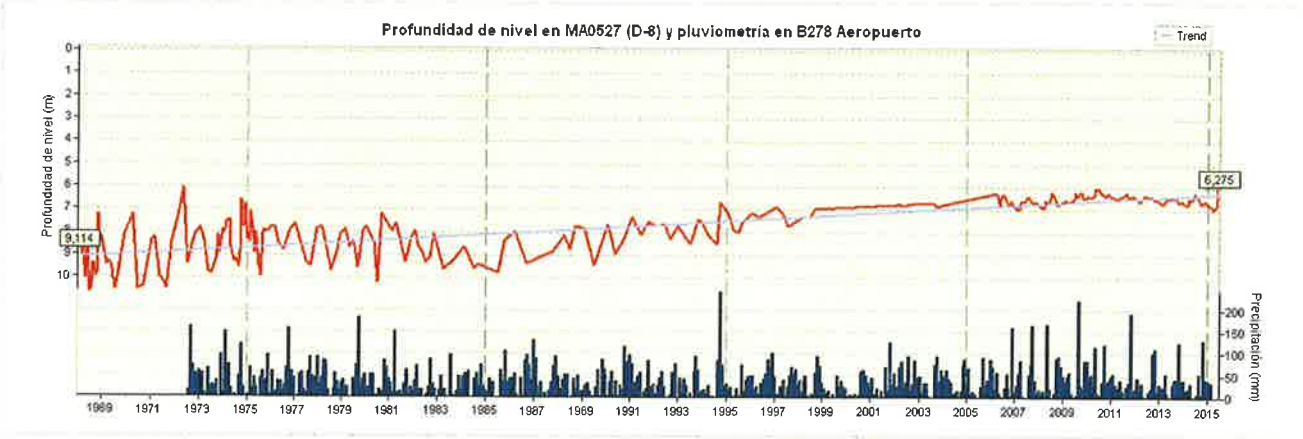
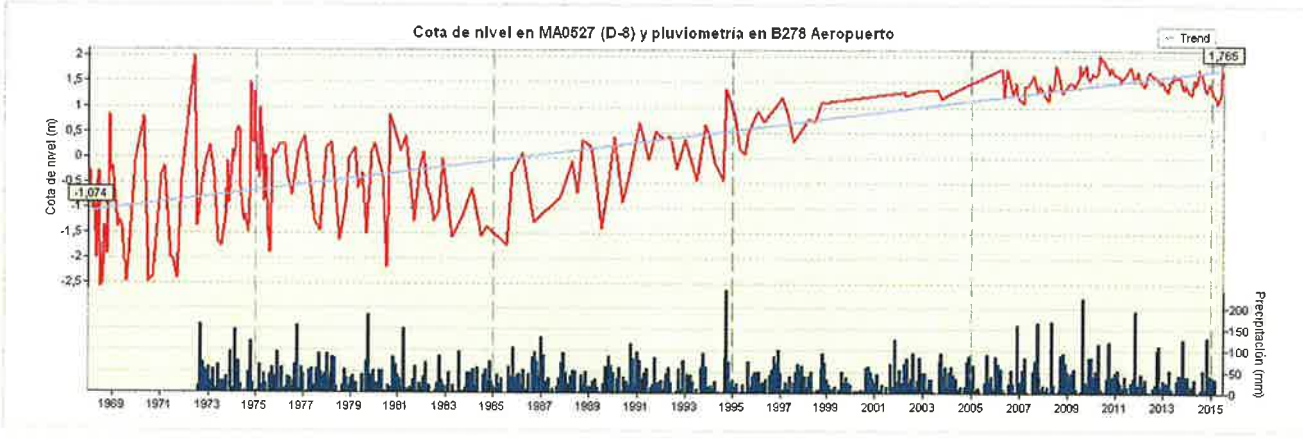
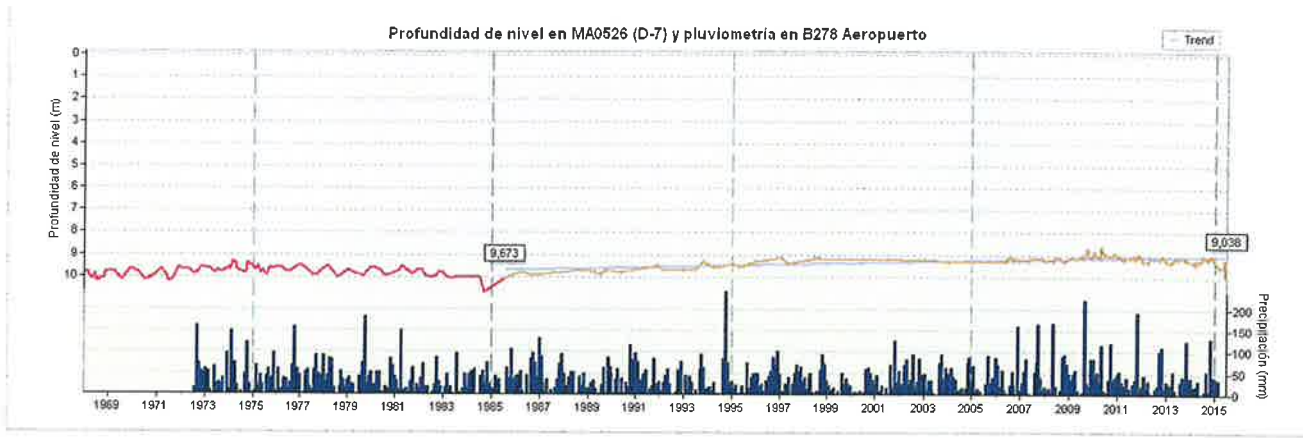


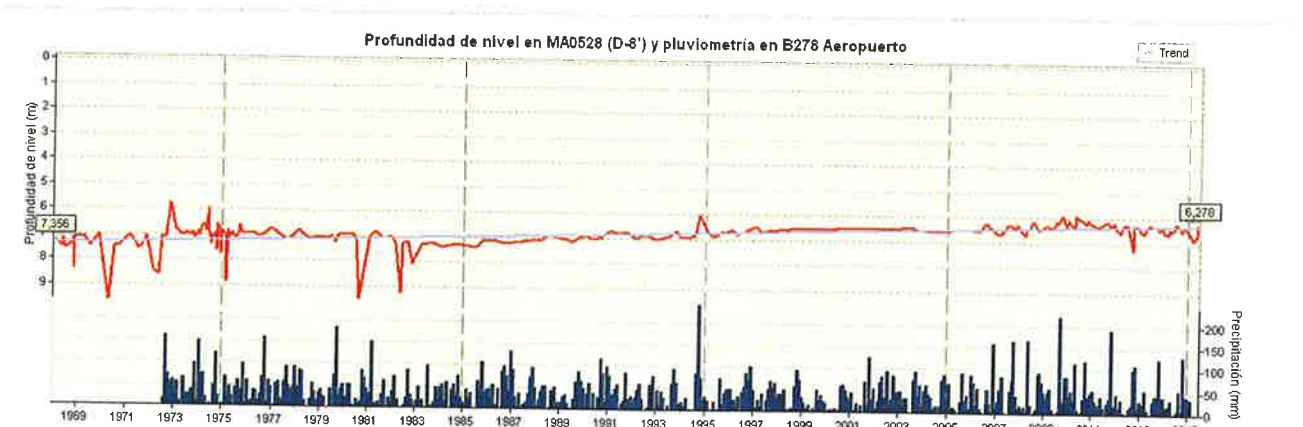
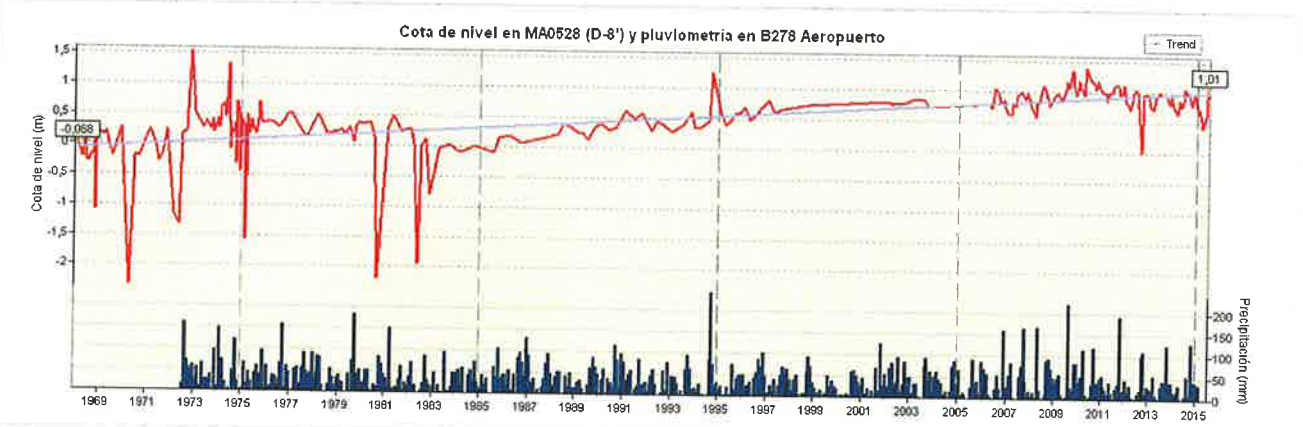
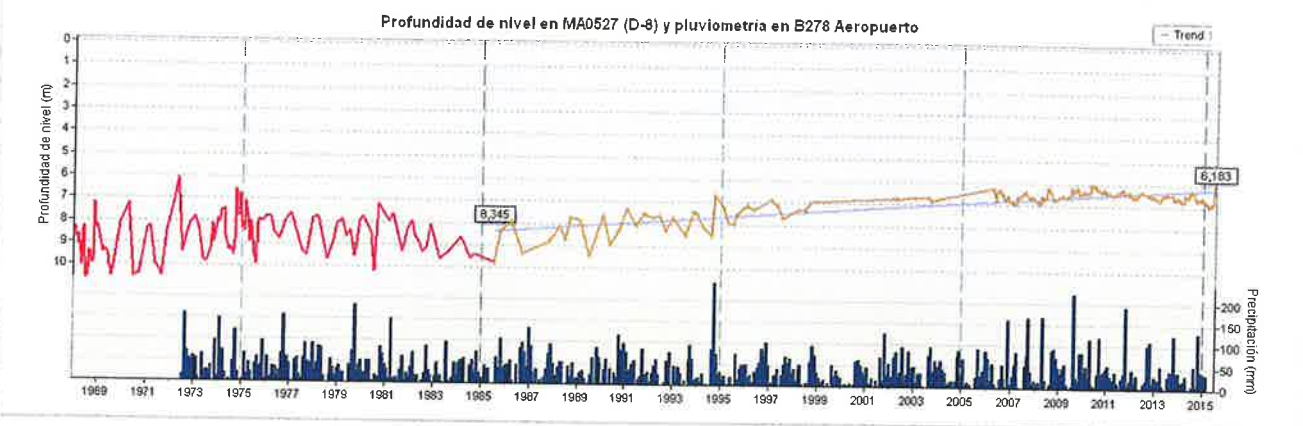
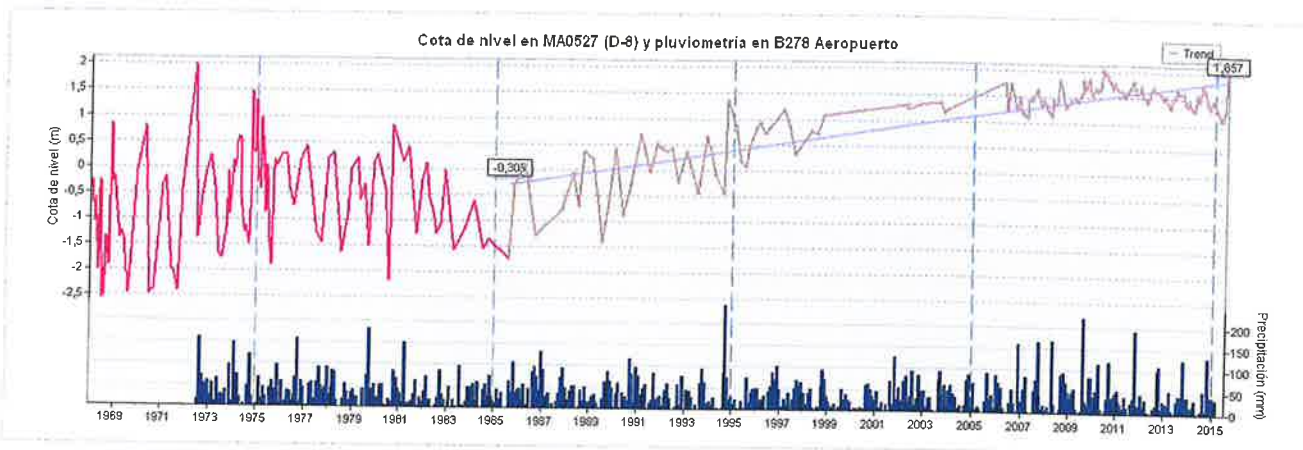
Cota de nivel en MA0526 (D-7) y pluviometría en B278 Aeropuerto

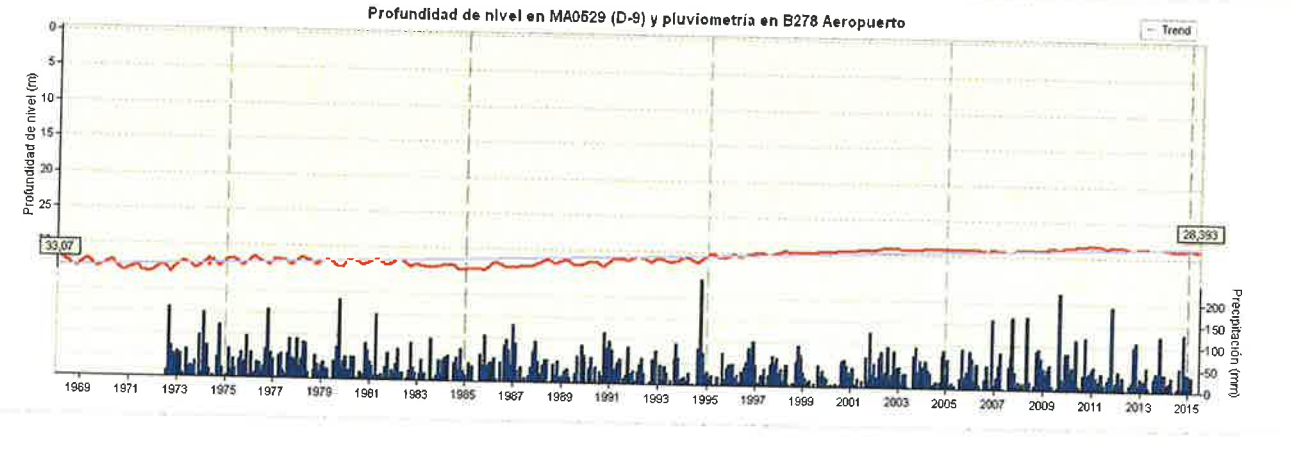
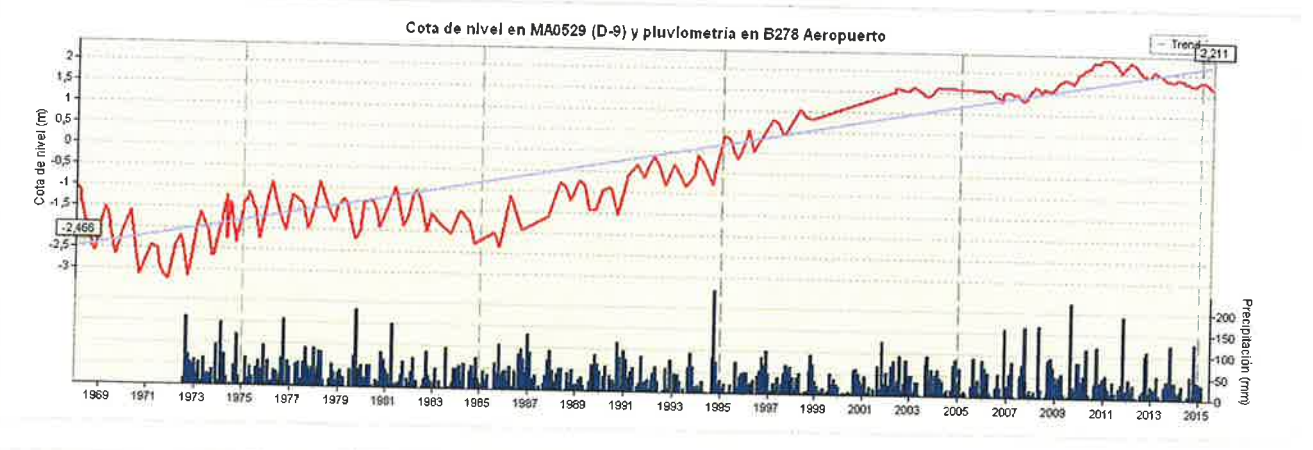
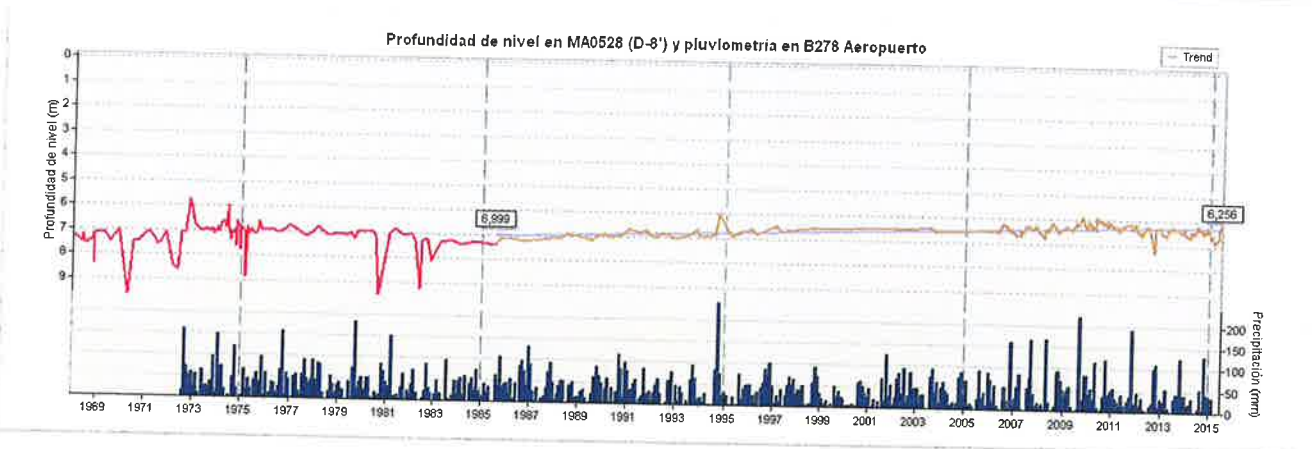
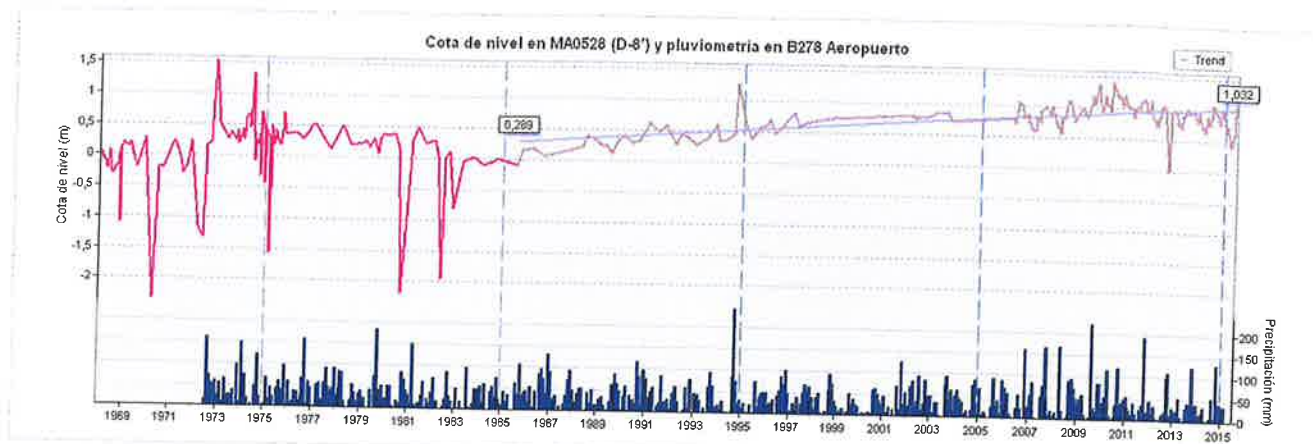


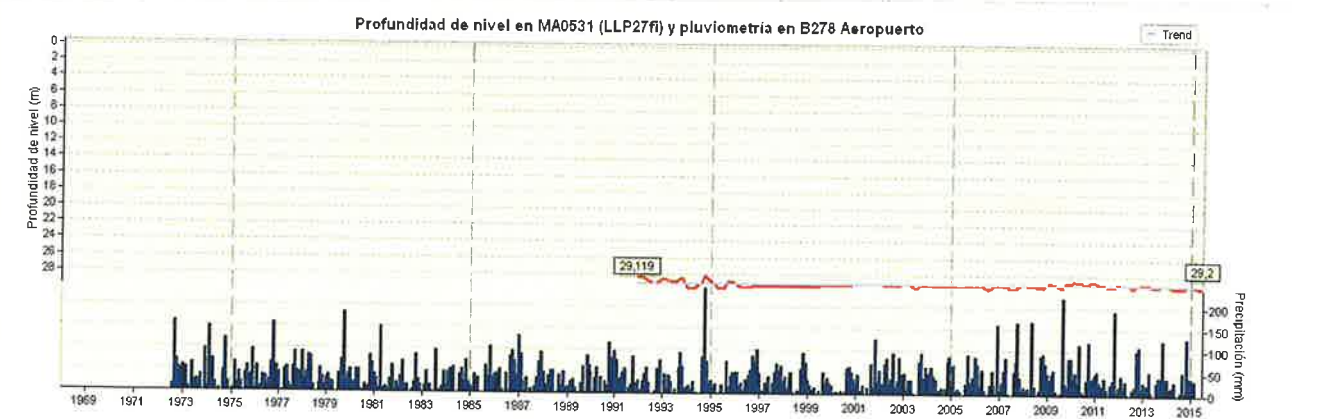
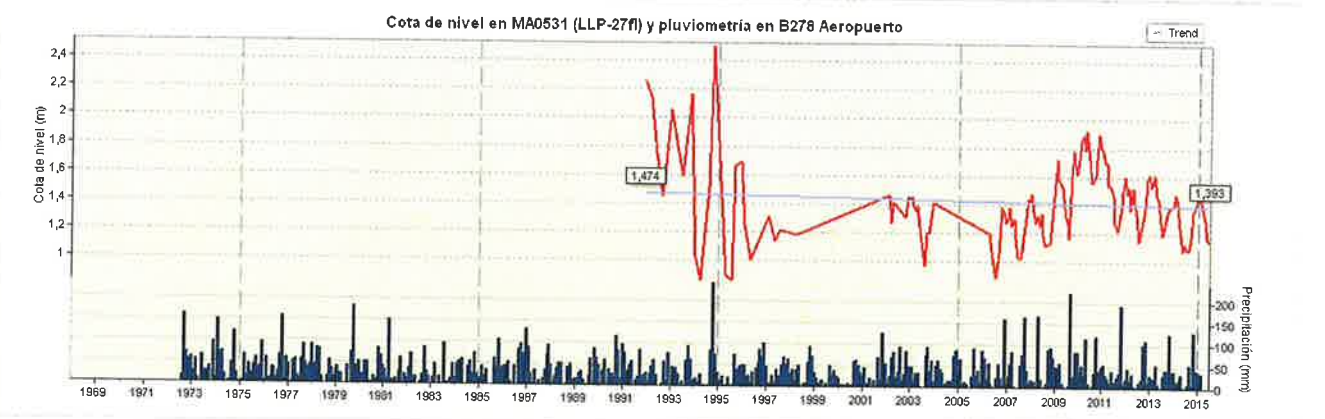
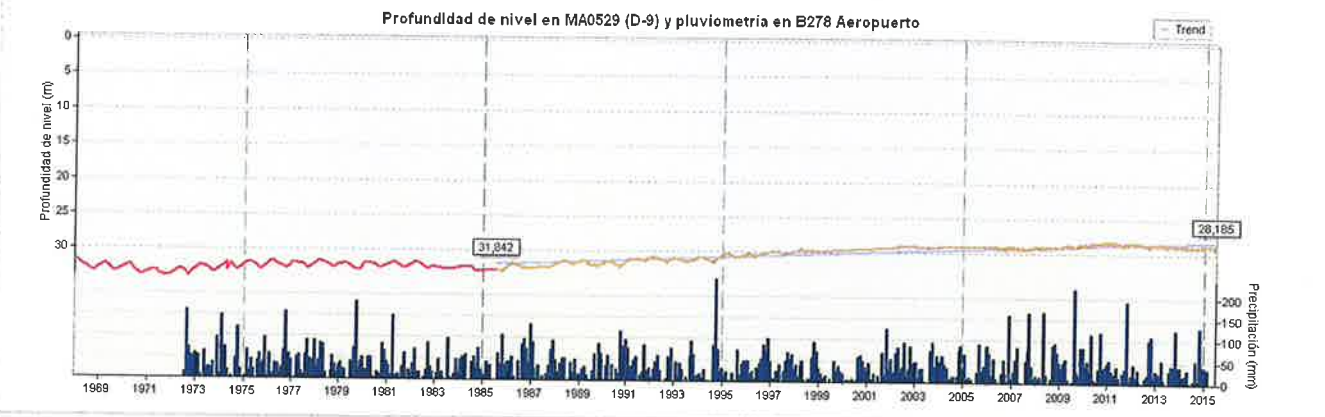
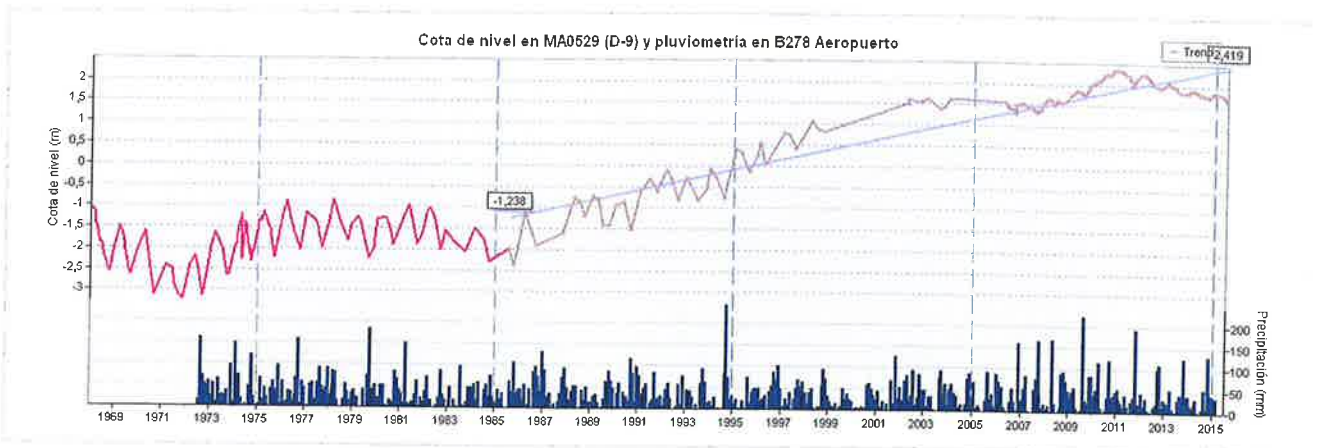
Profundidad de nivel en MA0526 (D-7) y pluviometría en B278 Aeropuerto

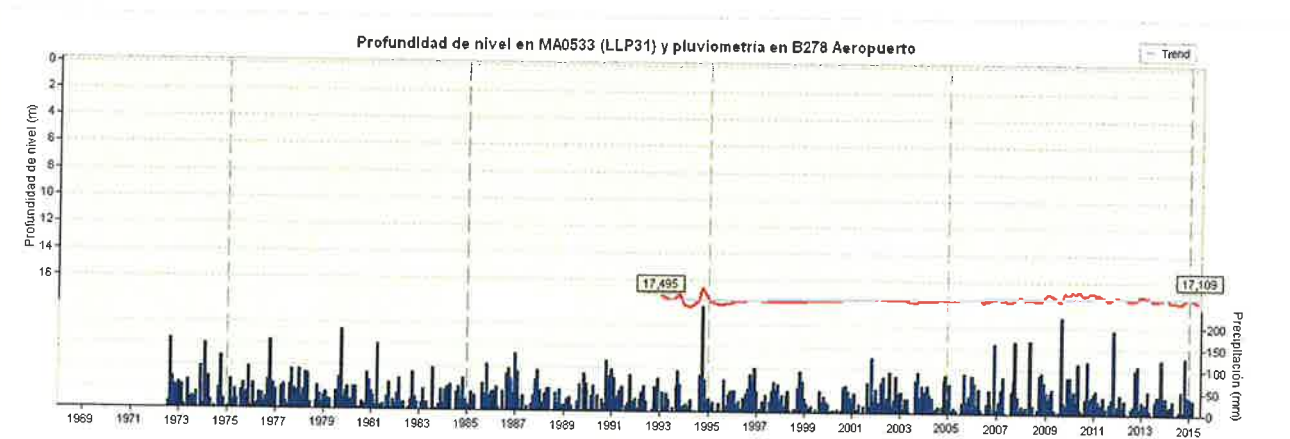
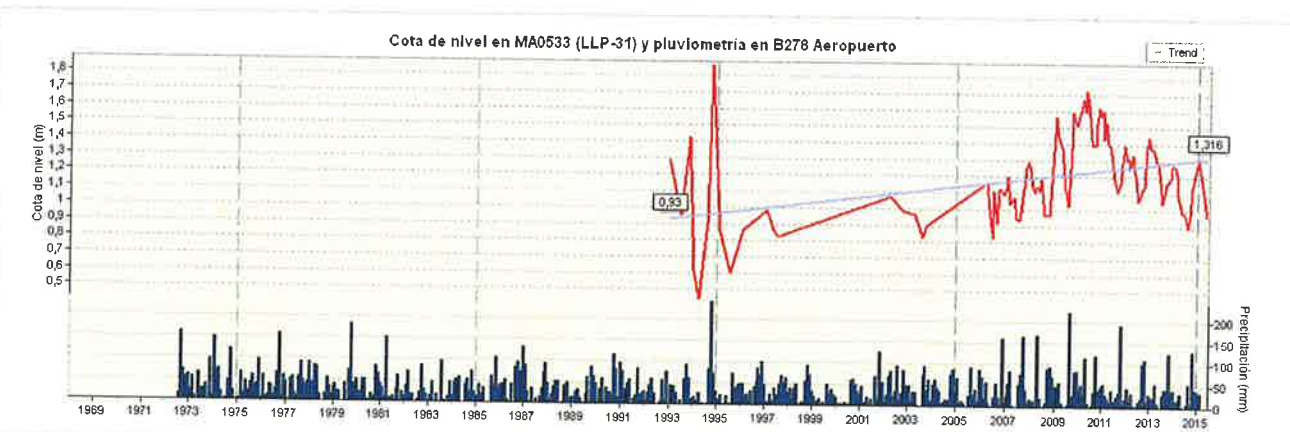
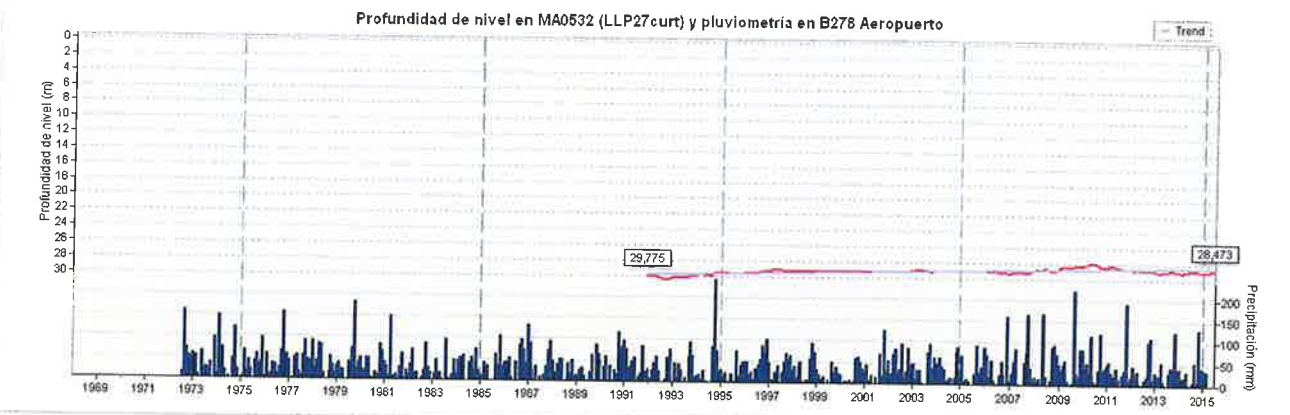




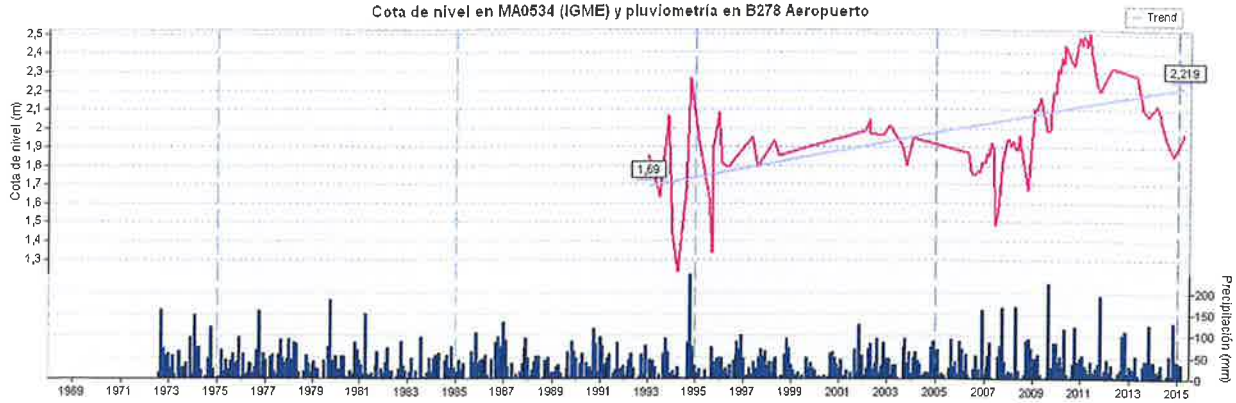








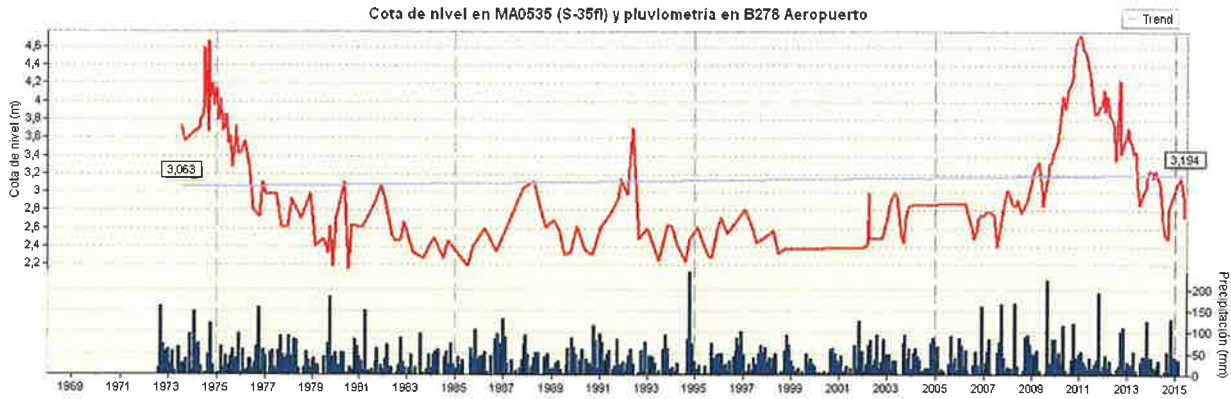
Cota de nivel en MA0534 (IGME) y pluviometría en B278 Aeropuerto



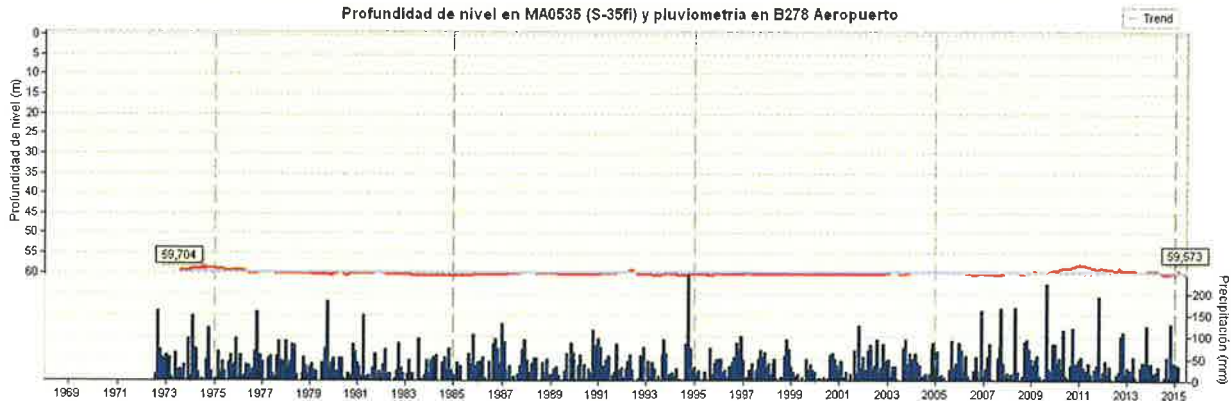
Profundidad de nivel en MA0534 (IGME) y pluviometría en B278 Aeropuerto

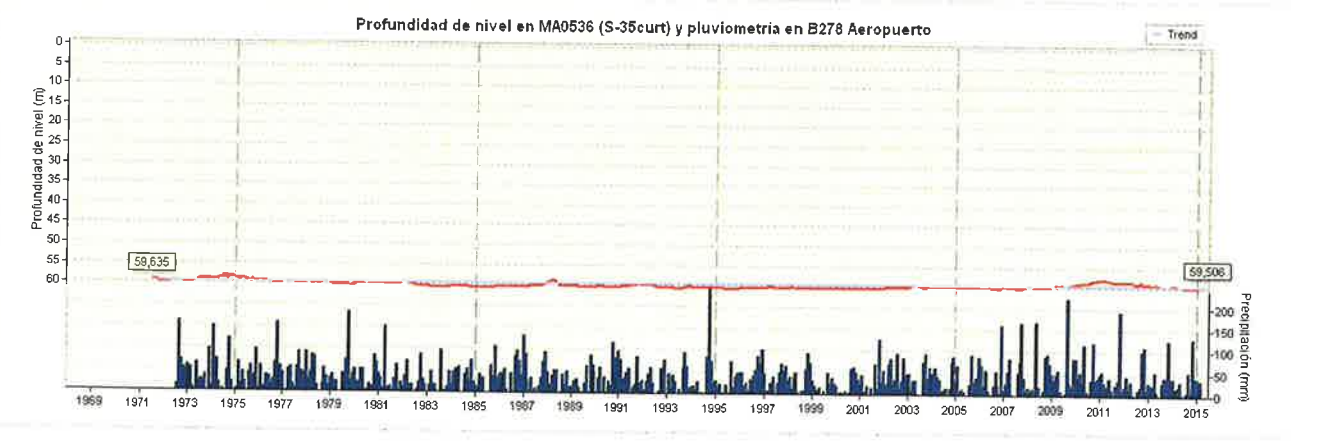
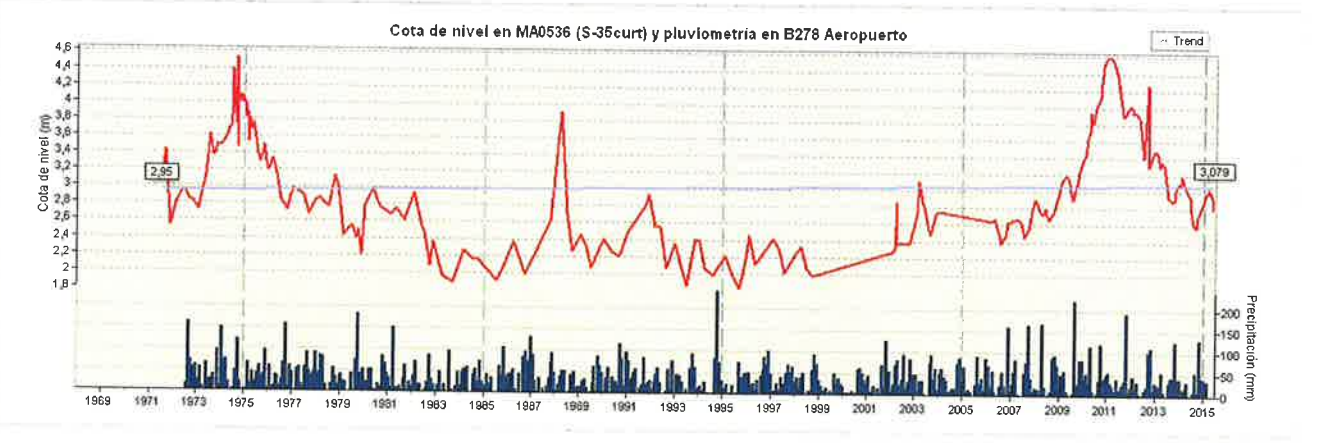
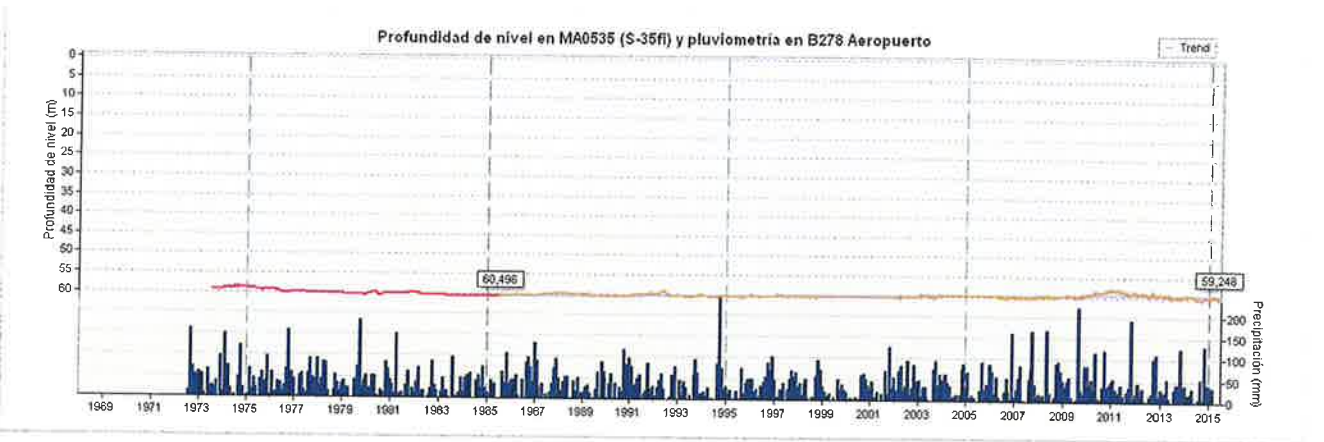
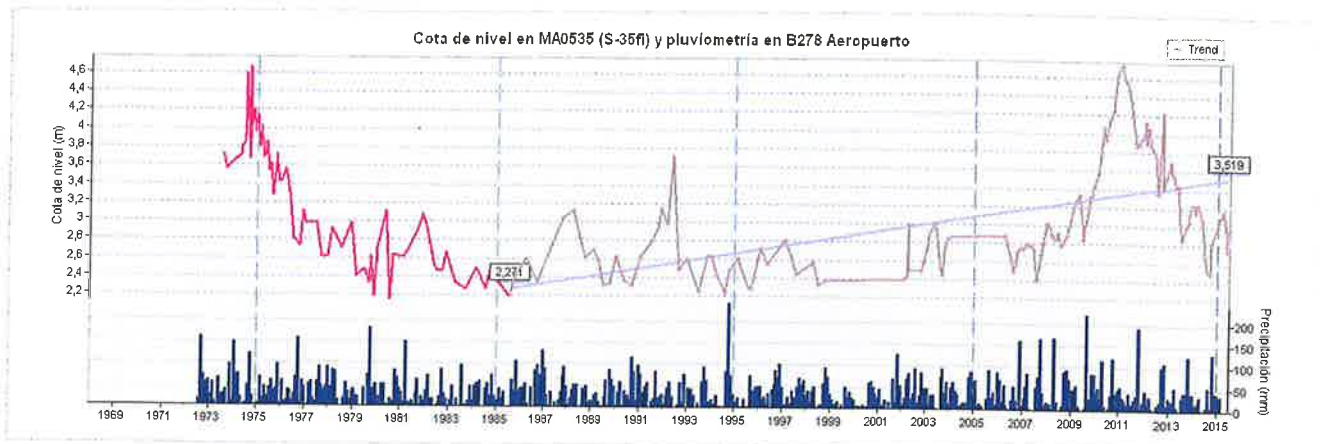


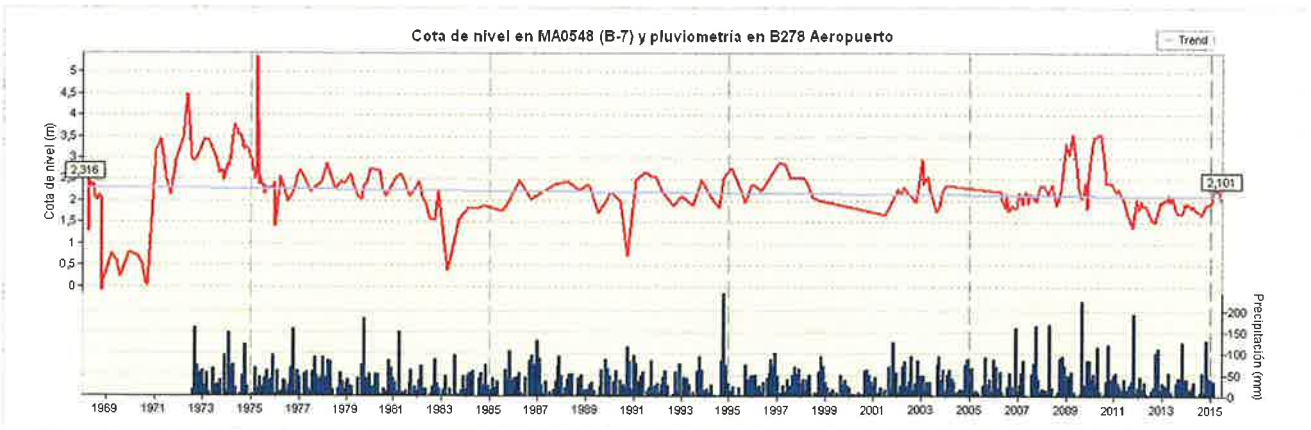
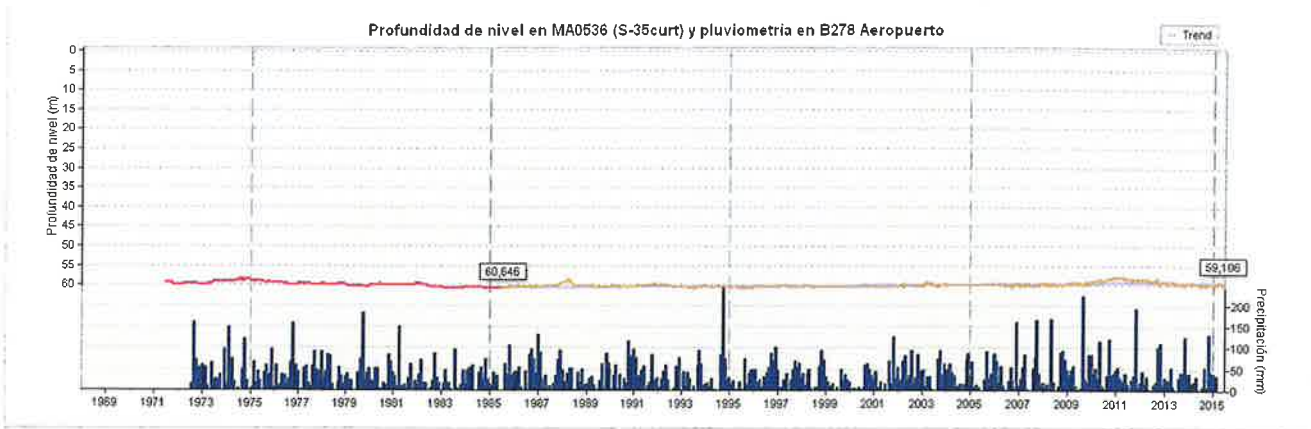
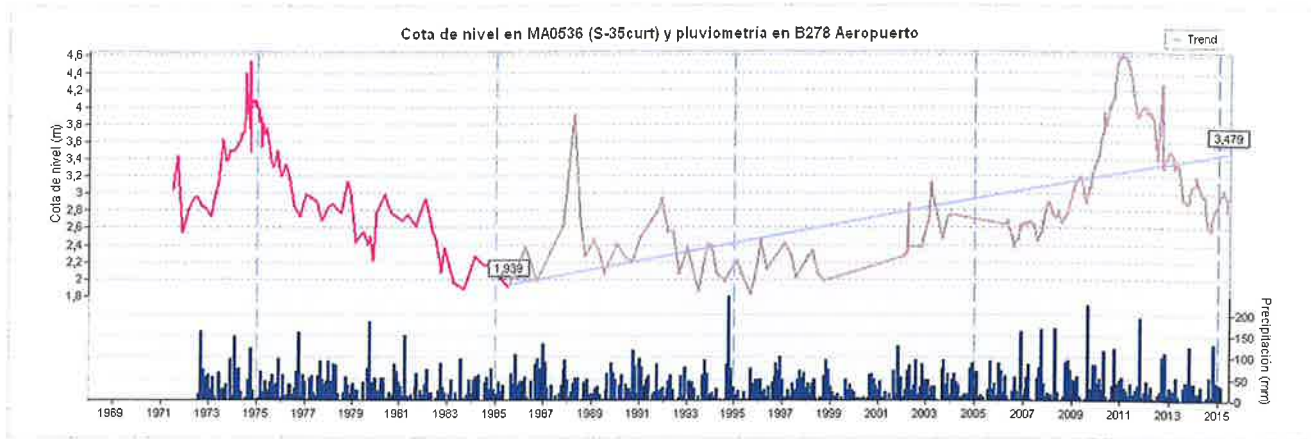
Cota de nivel en MA0535 (S-35fi) y pluviometría en B278 Aeropuerto

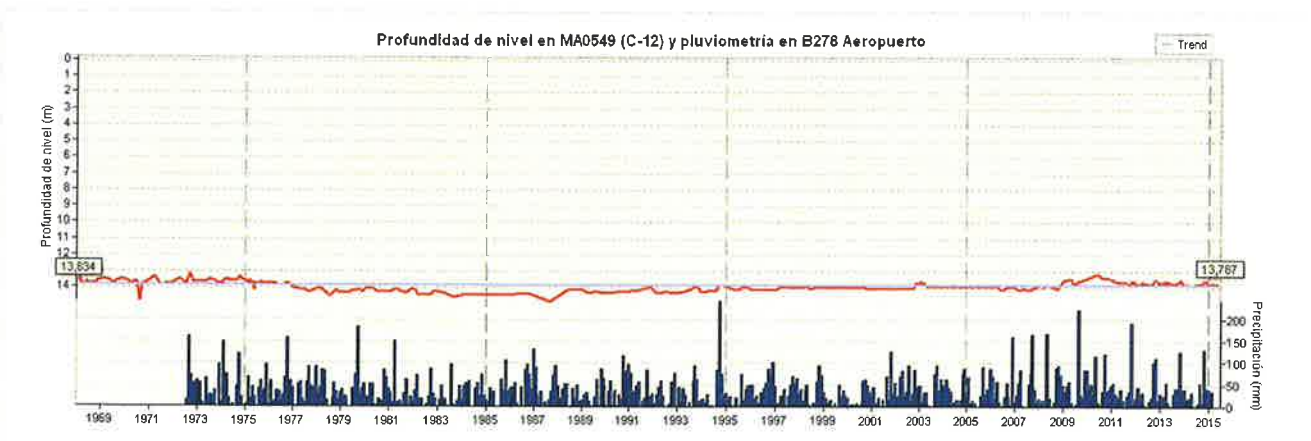
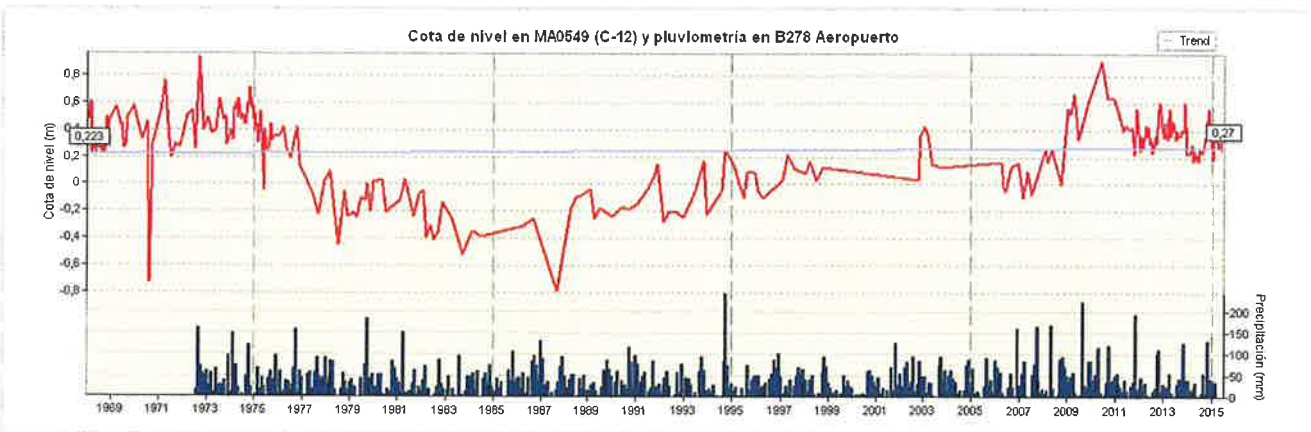
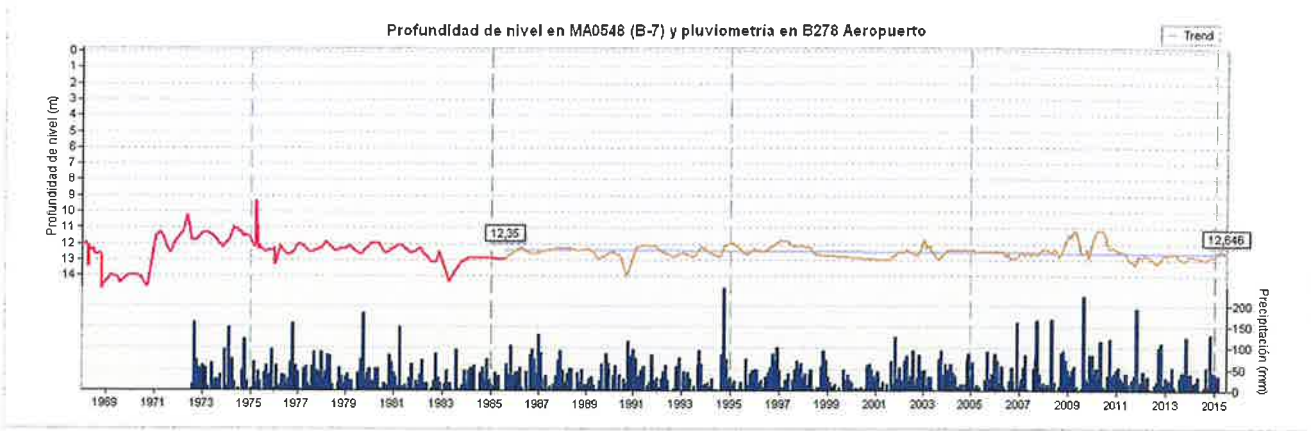


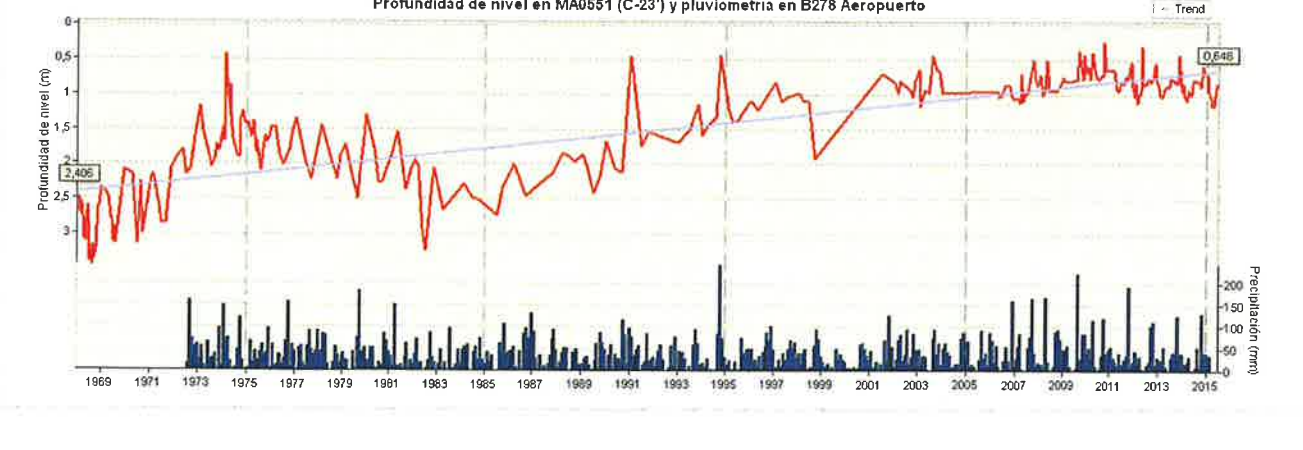
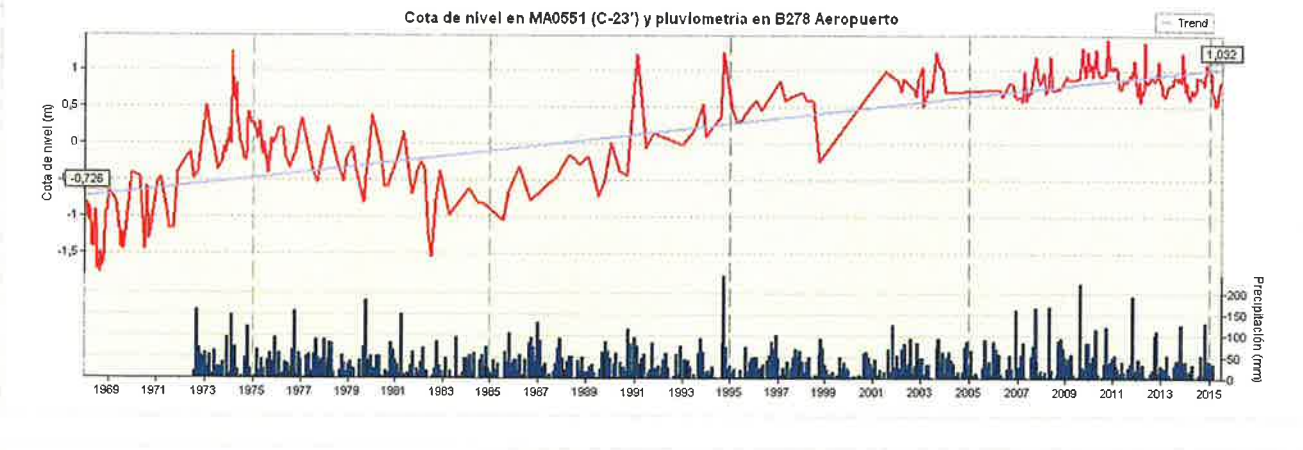
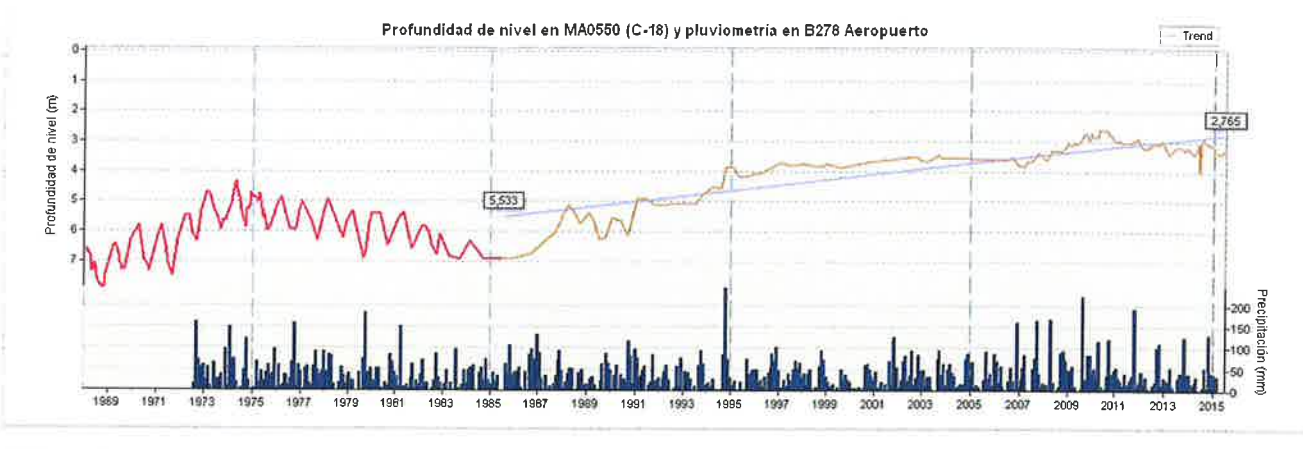
Profundidad de nivel en MA0535 (S-35fi) y pluviometría en B278 Aeropuerto

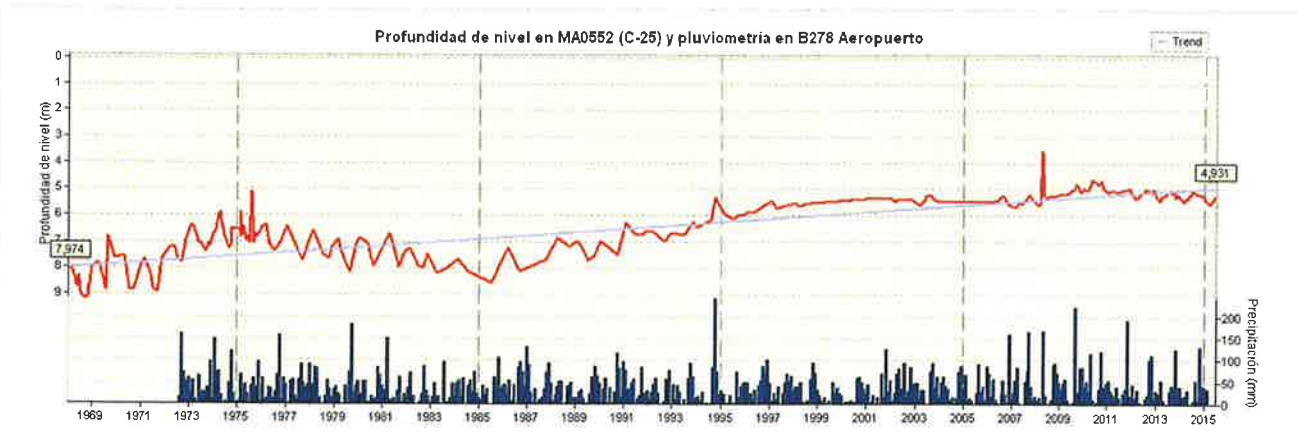
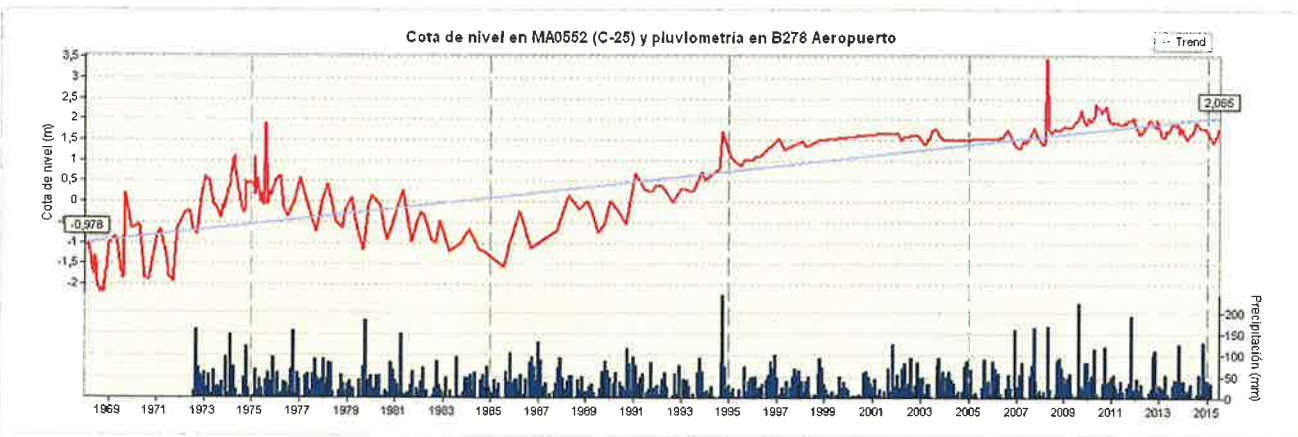
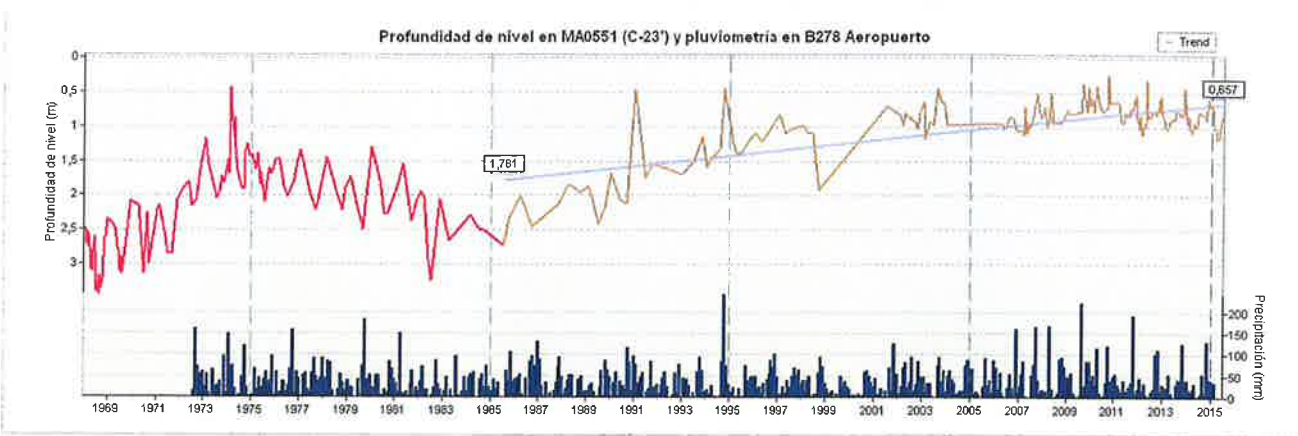
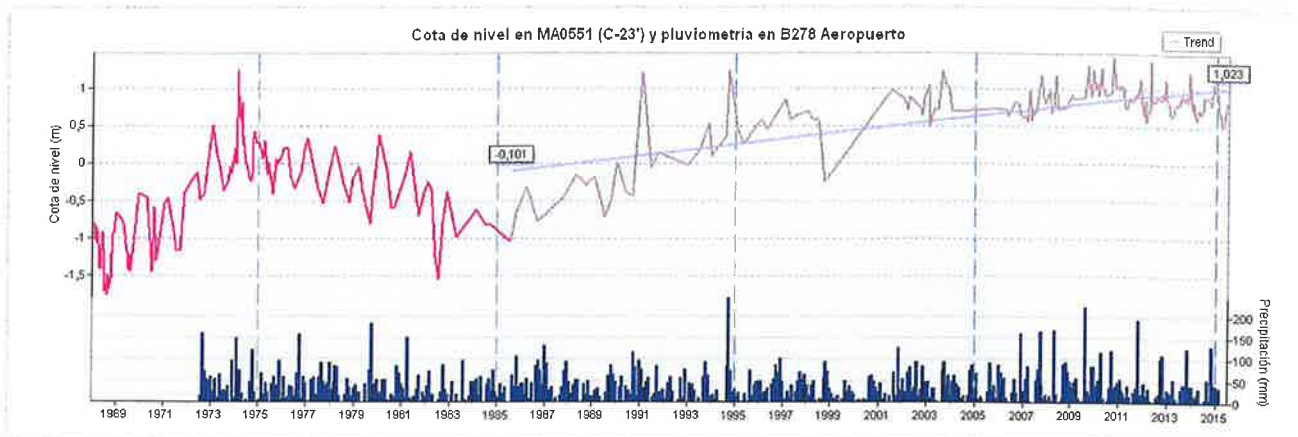


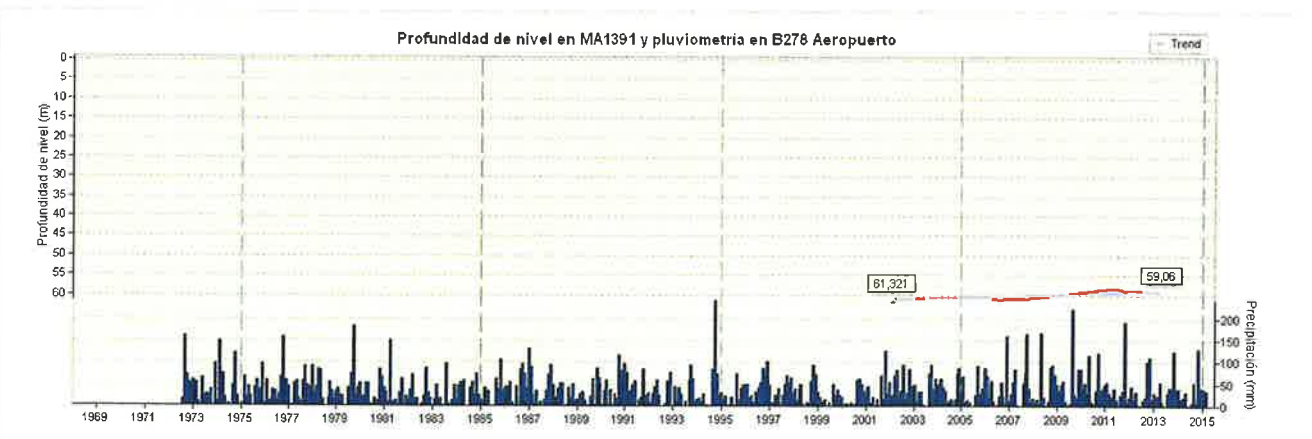
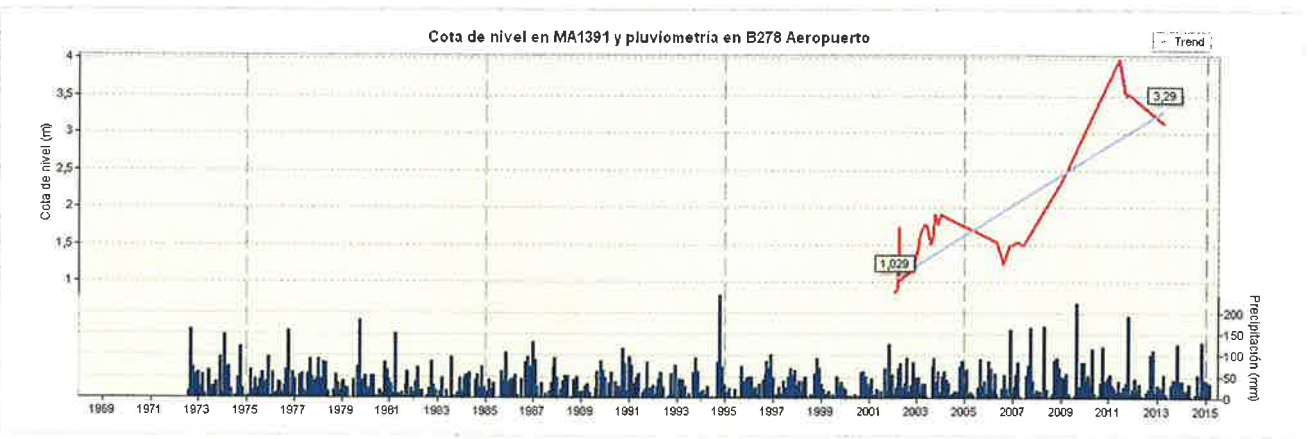
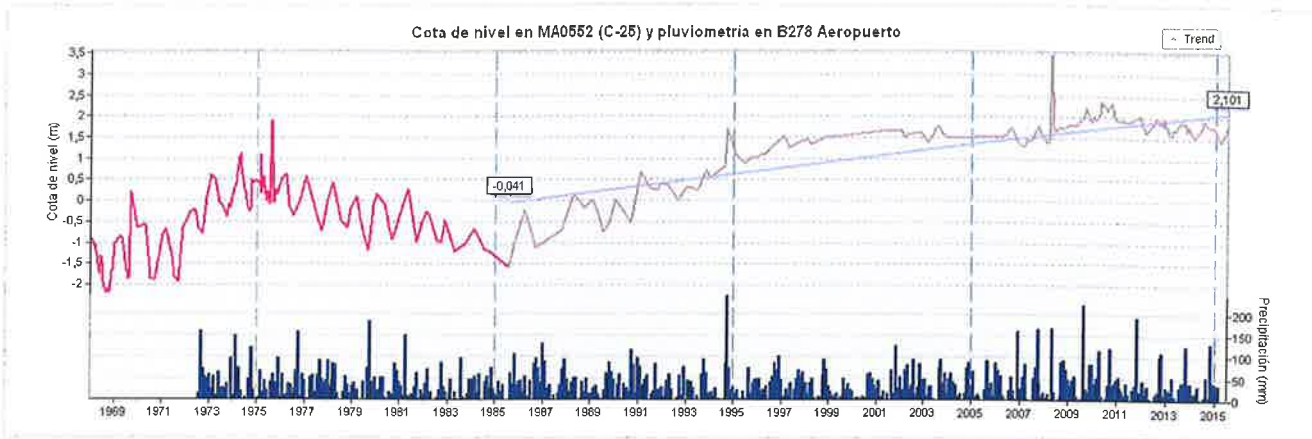










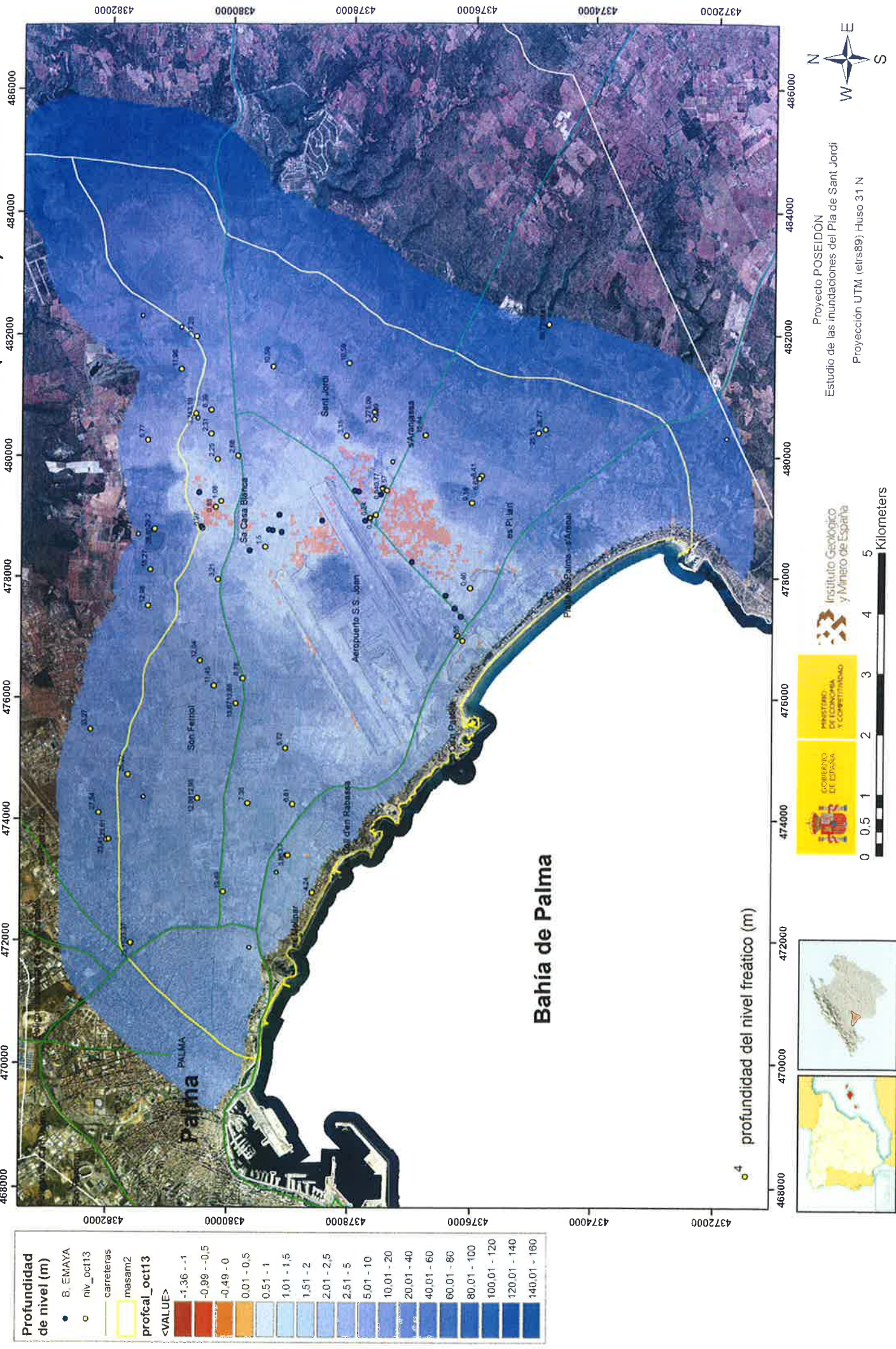


ANEXO 3 A

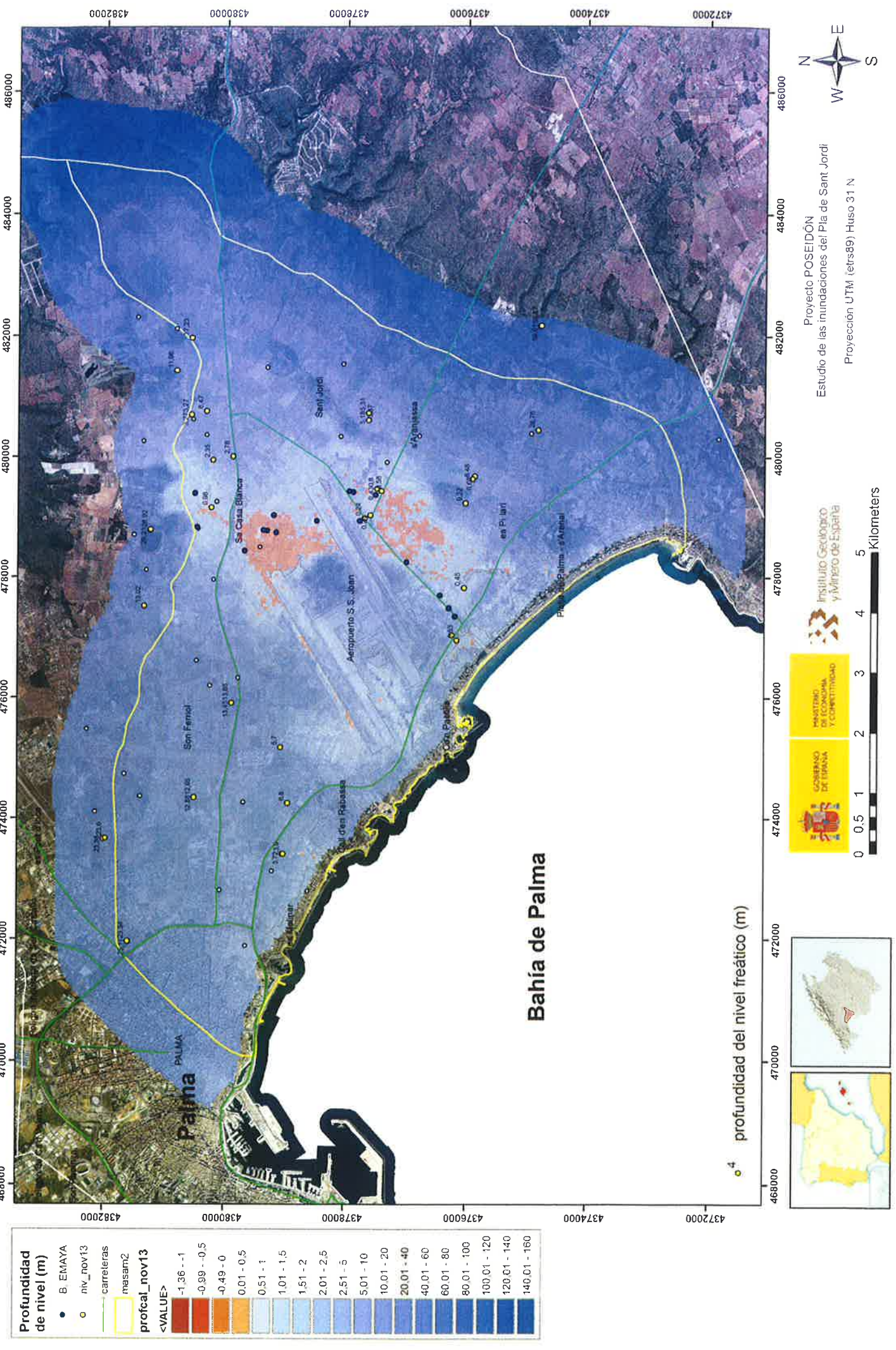
MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Años hidrológicos 2013-2014 y 2014-2015

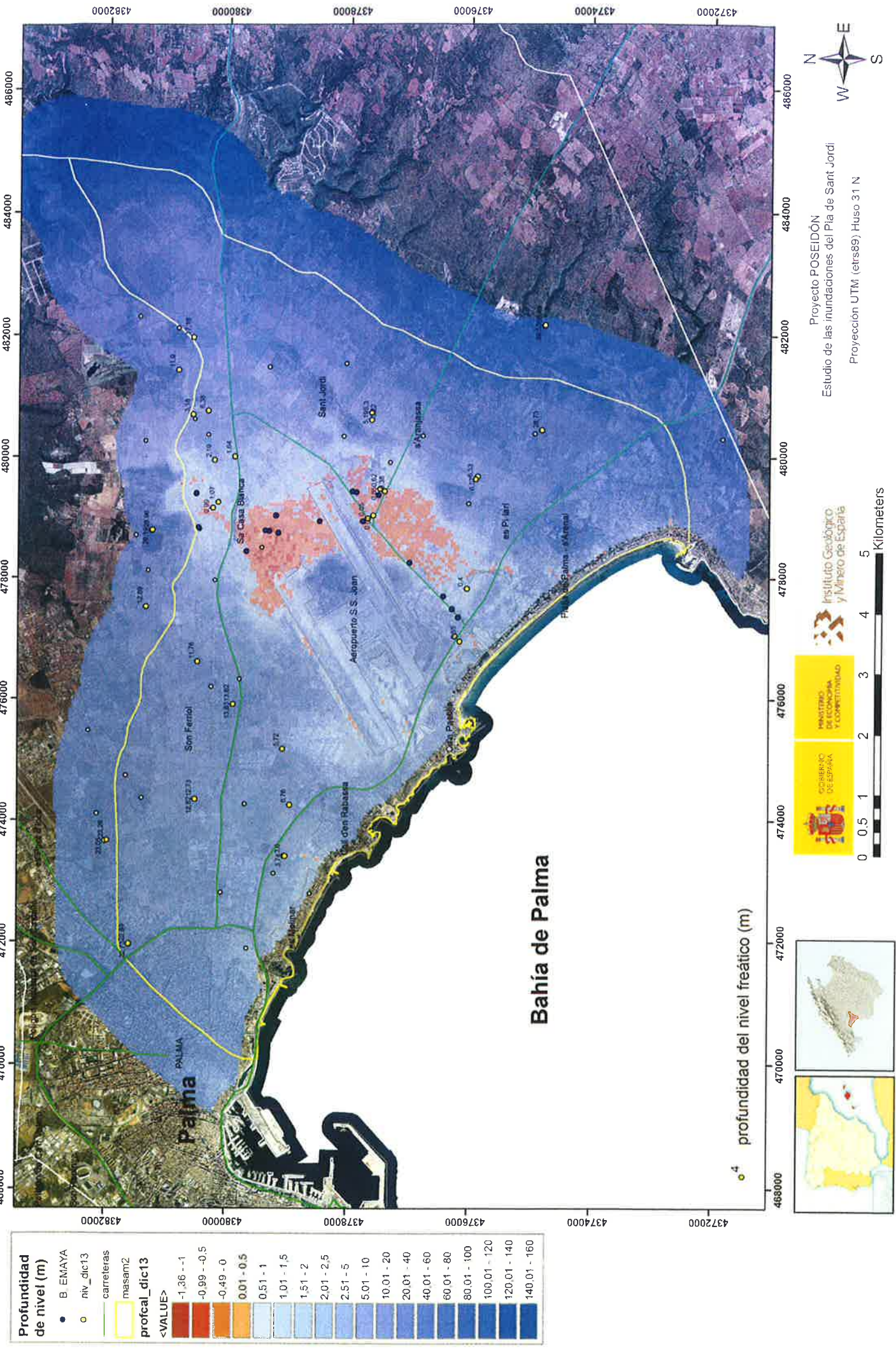
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 2013



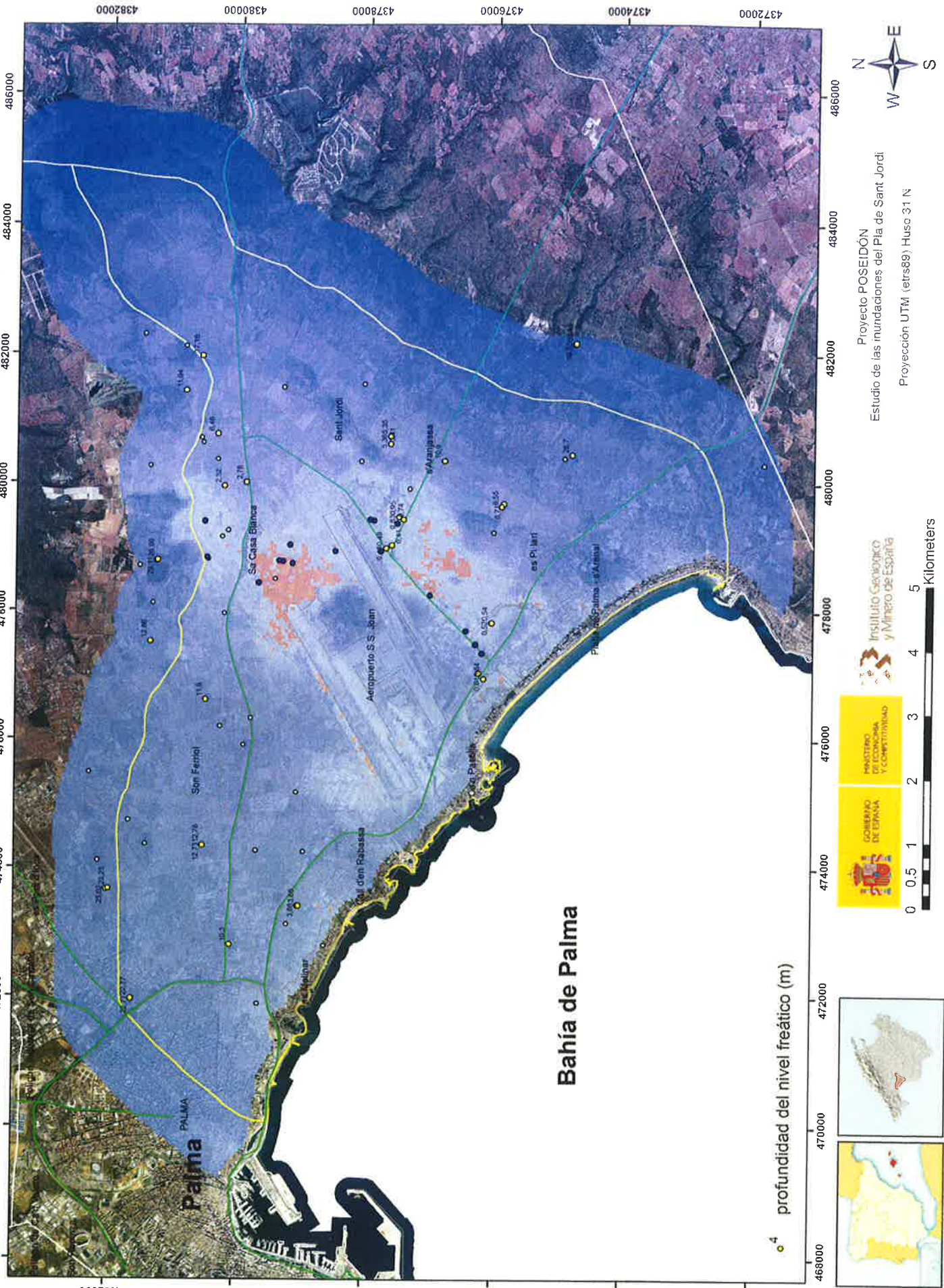
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Noviembre 2013



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Diciembre 2013



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Enero 2014

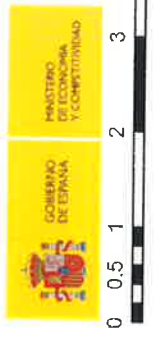


Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_ene14
- carreteras
- mesam2
- profcal_ene14

<VALUE>

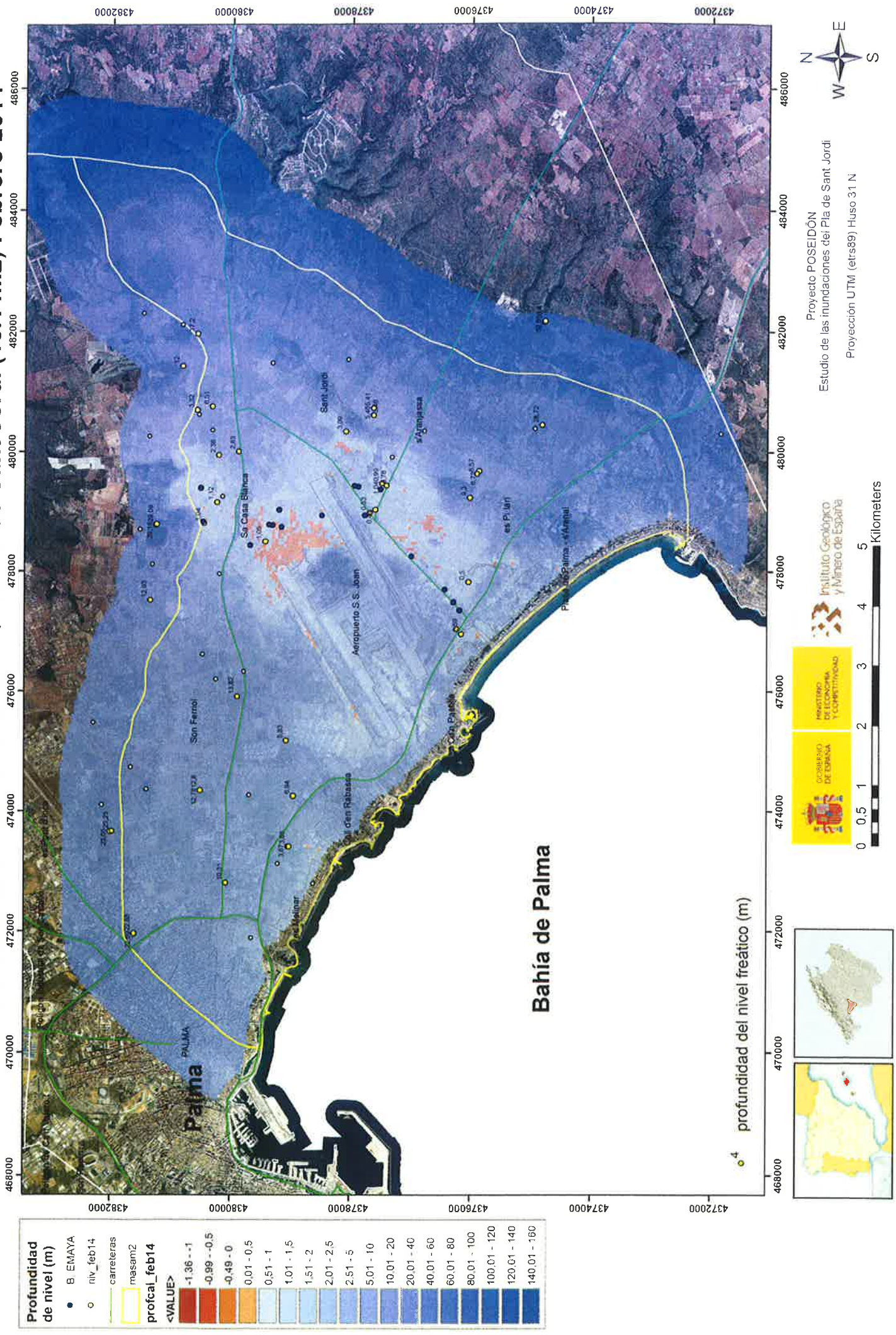
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



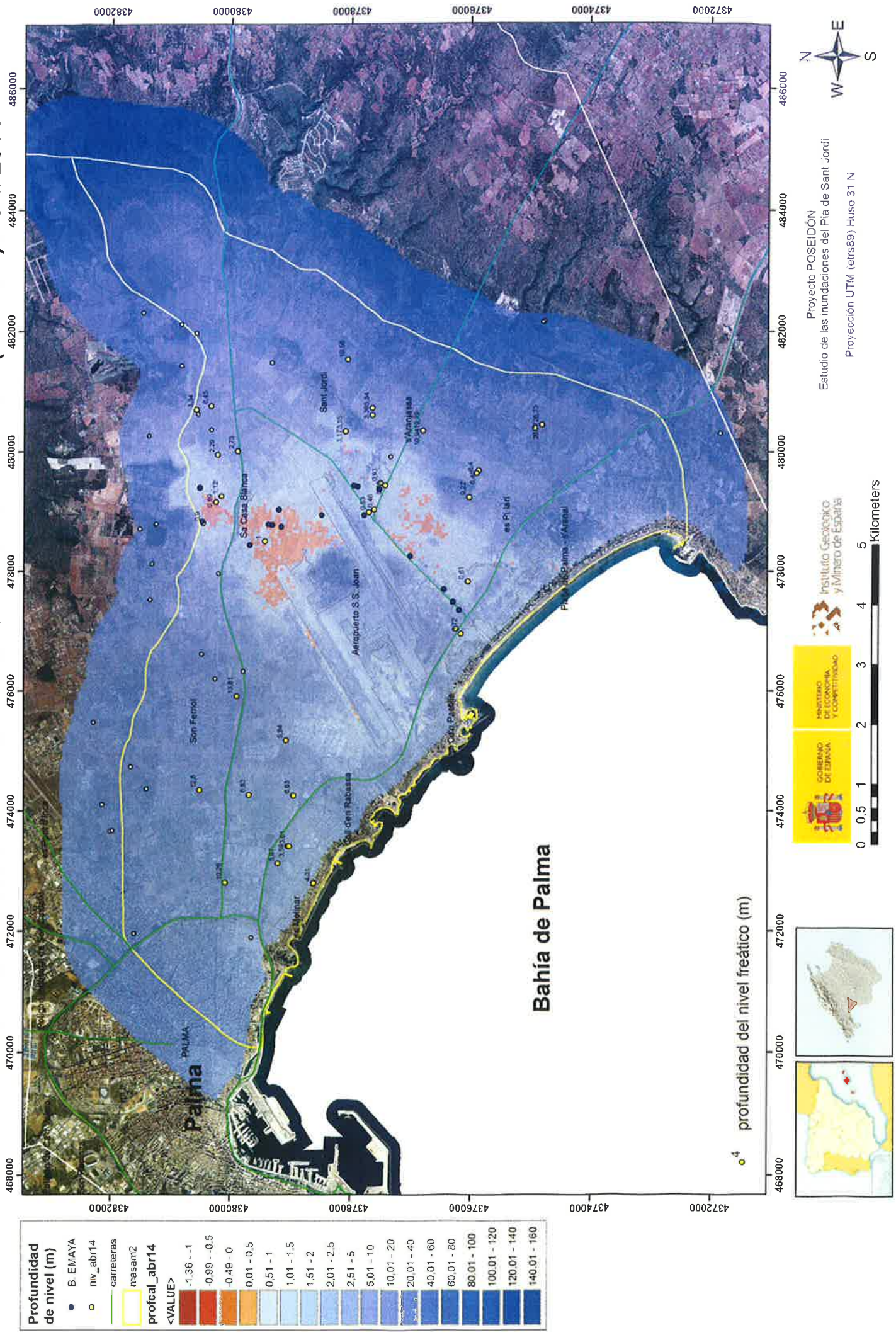
Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



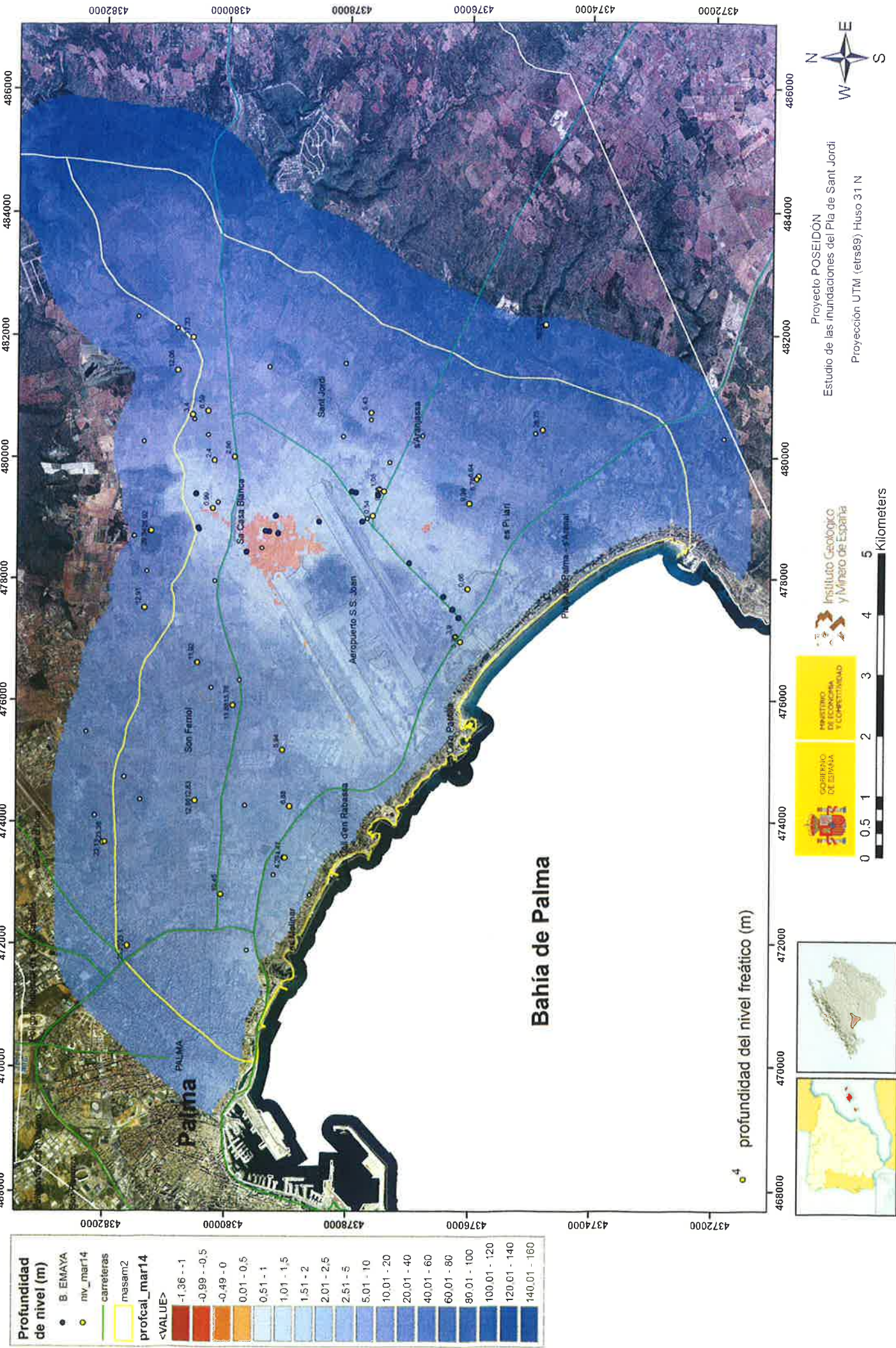
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Febrero 2014



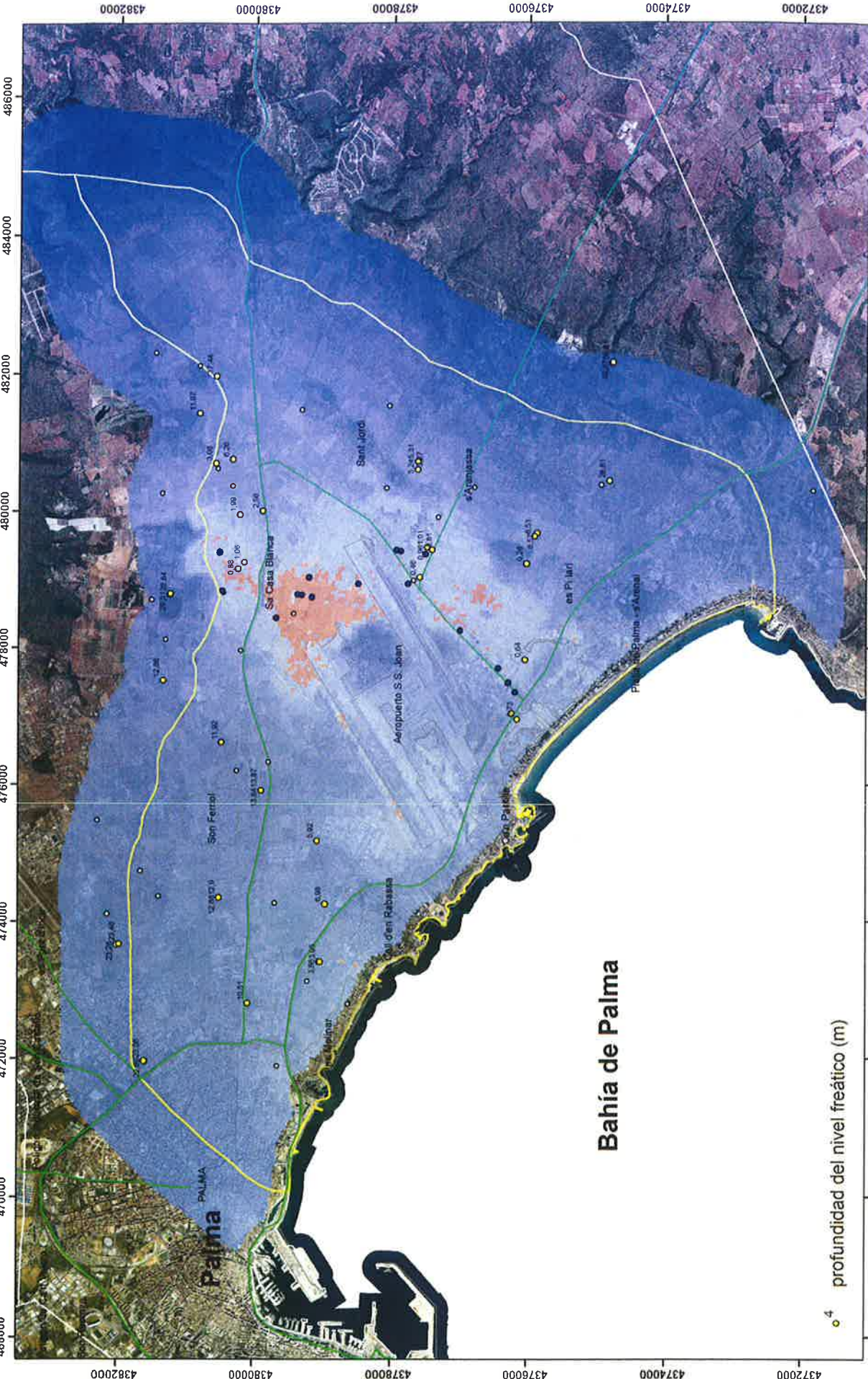
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 2014



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 2014



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Mayo 2014



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_may14
- carreteras
- masam2
- profcal_may14

<VALUE>

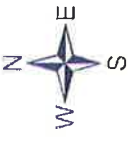
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



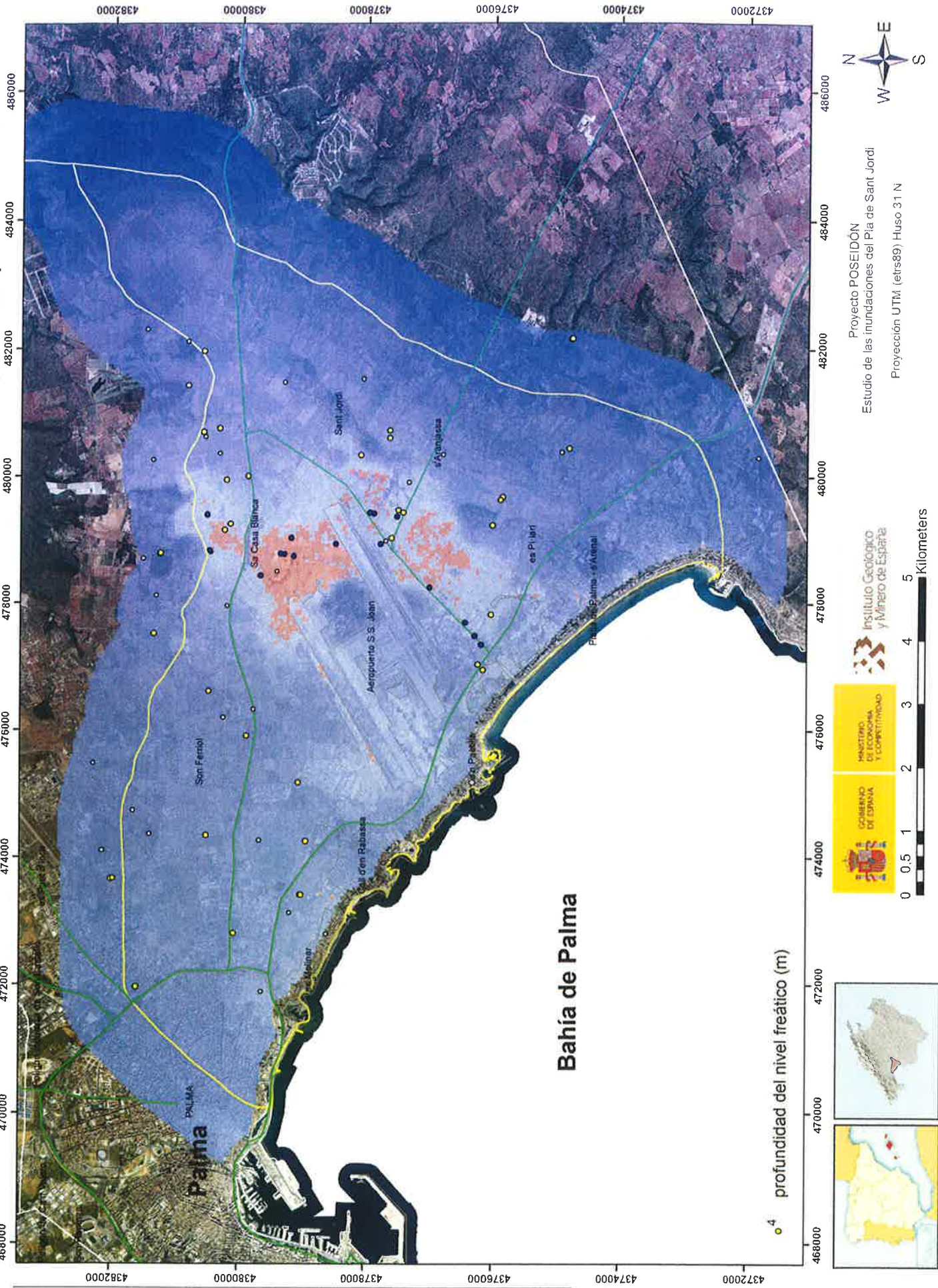
0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE BALEARES
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y SOSTENIBILIDAD

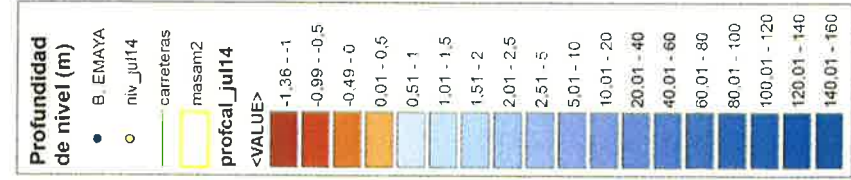
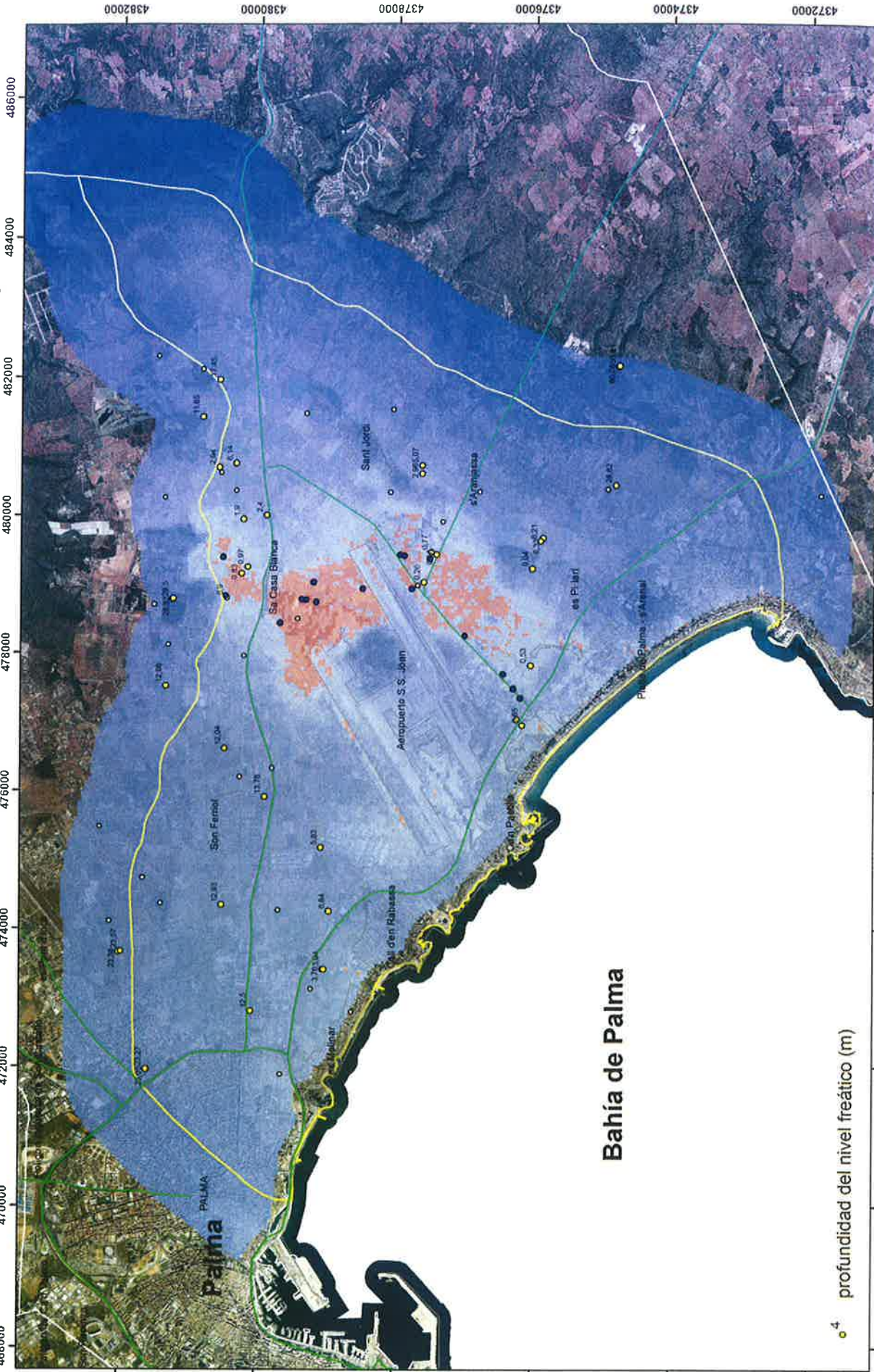
Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Junio 2014



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Julio 2014

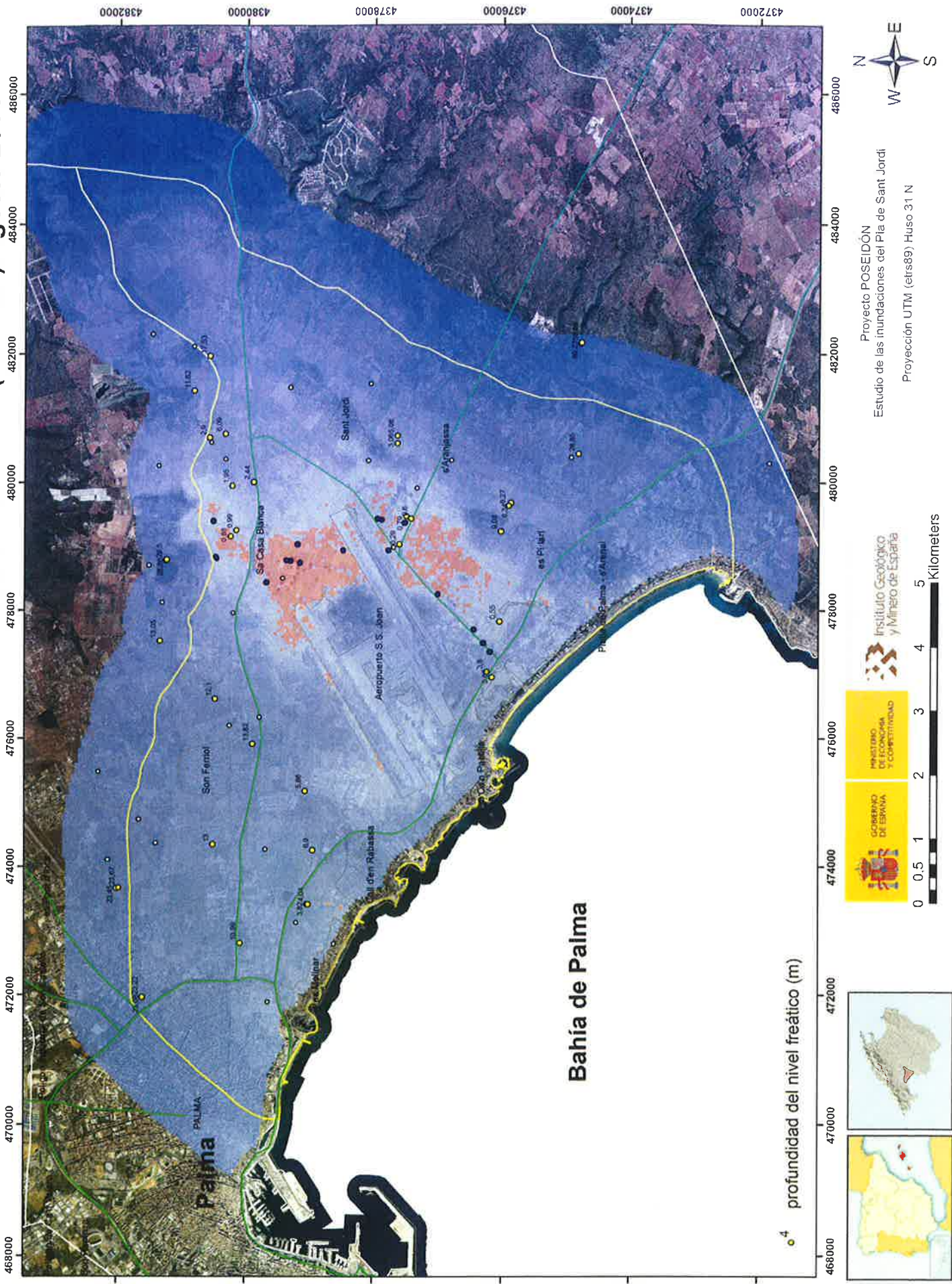


GOBIERNO DE ESPAÑA
 MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD
 Instituto Geológico y Minero de España

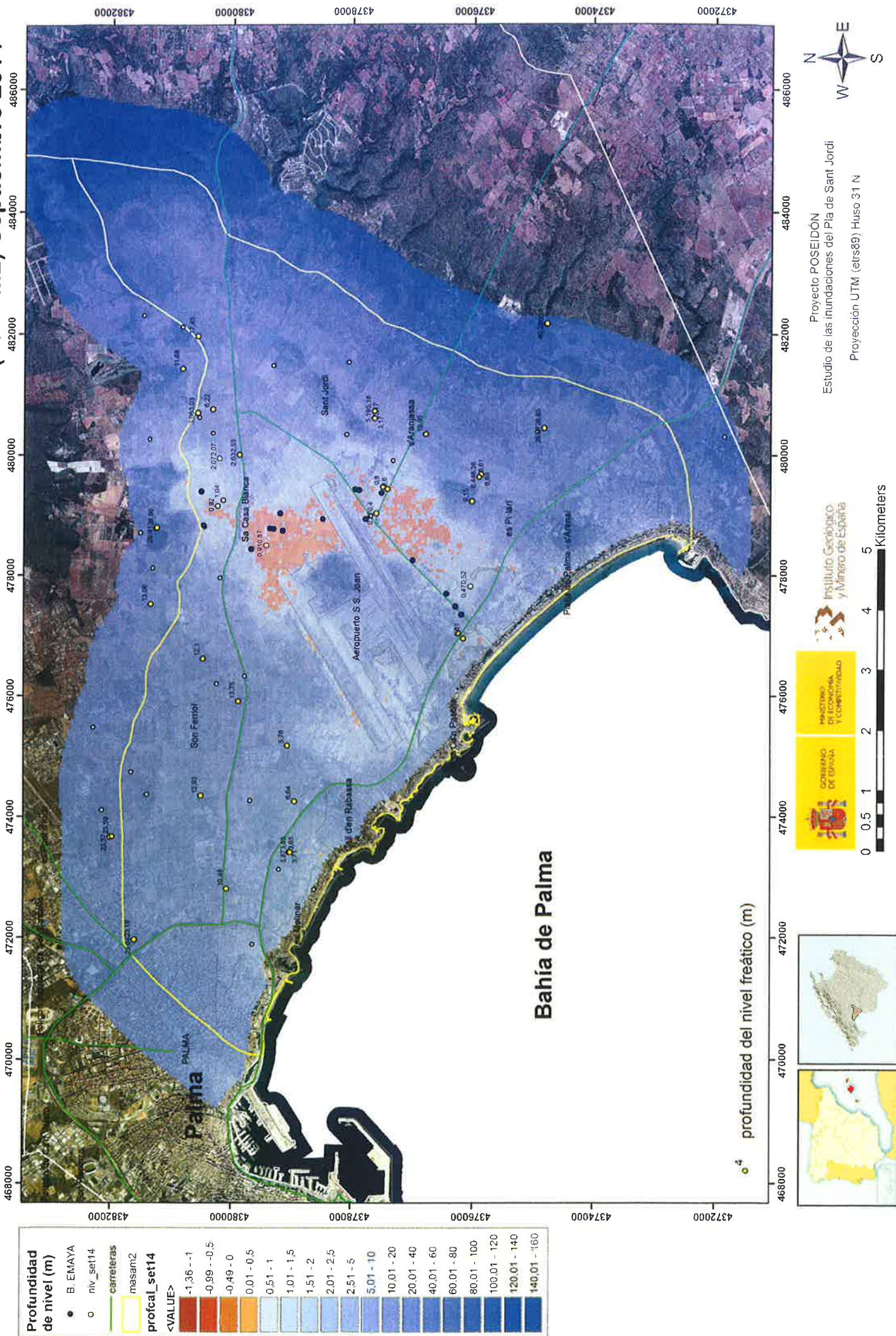


Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

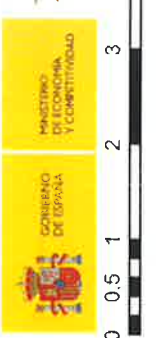
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Agosto 2014



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 2014



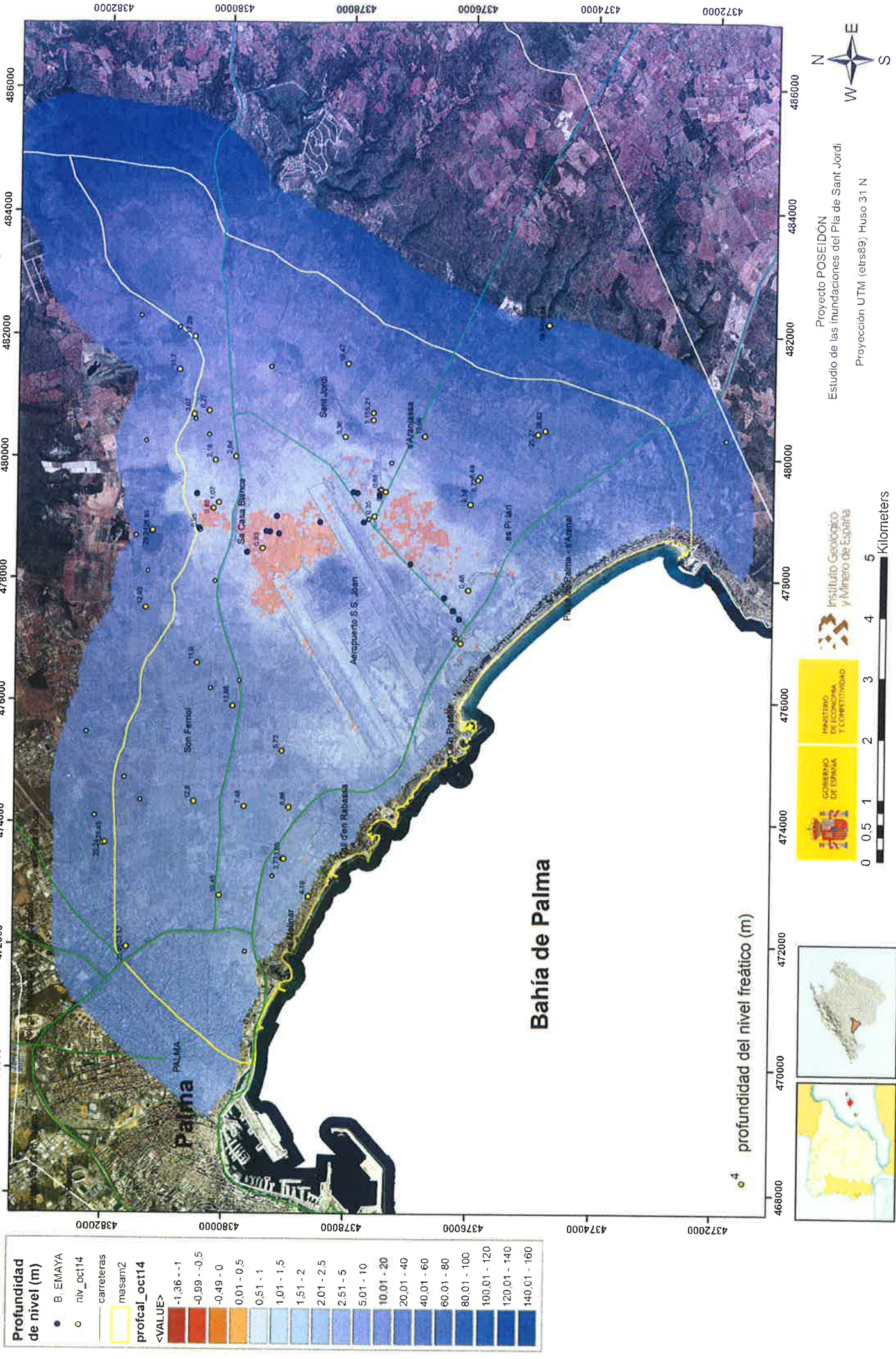
Profundidad de nivel (m)
● B. EMAYA
○ niv_set14
— carreteras
— masam2
— profcal_set14
<VALUE>
-1,36 - -1
-0,99 - -0,5
-0,49 - 0
0,01 - 0,5
0,51 - 1
1,01 - 1,5
1,51 - 2
2,01 - 2,5
2,51 - 5
5,01 - 10
10,01 - 20
20,01 - 40
40,01 - 60
60,01 - 80
80,01 - 100
100,01 - 120
120,01 - 140
140,01 - 160



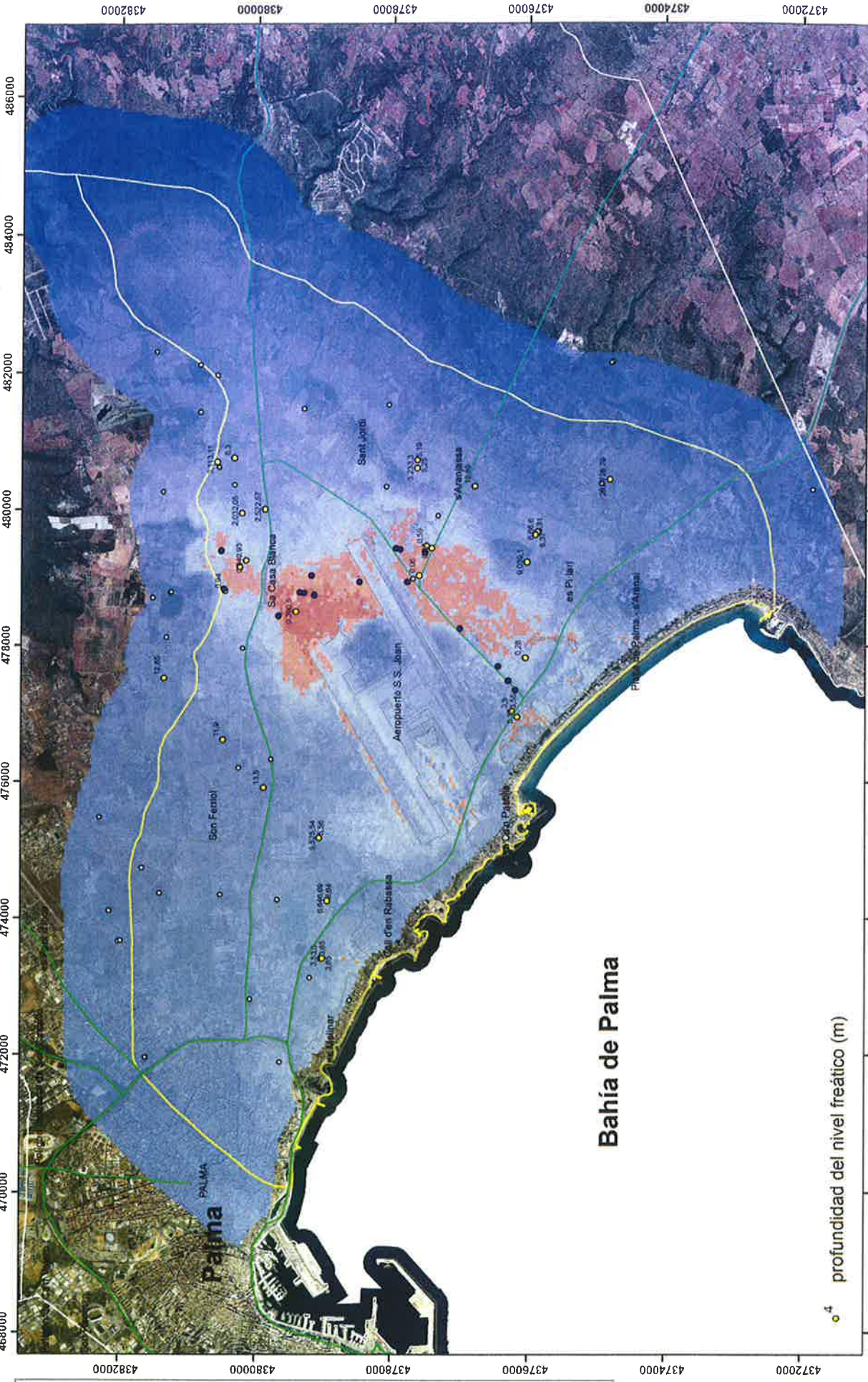
Proyecto POSEIDON
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 2014



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Noviembre 2014



Profundidad de nivel (m)

- B, EMAYA
- niv_nov14
- carreteras
- masam2
- profcal_nov14

<VALUE>

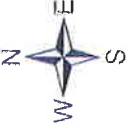
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

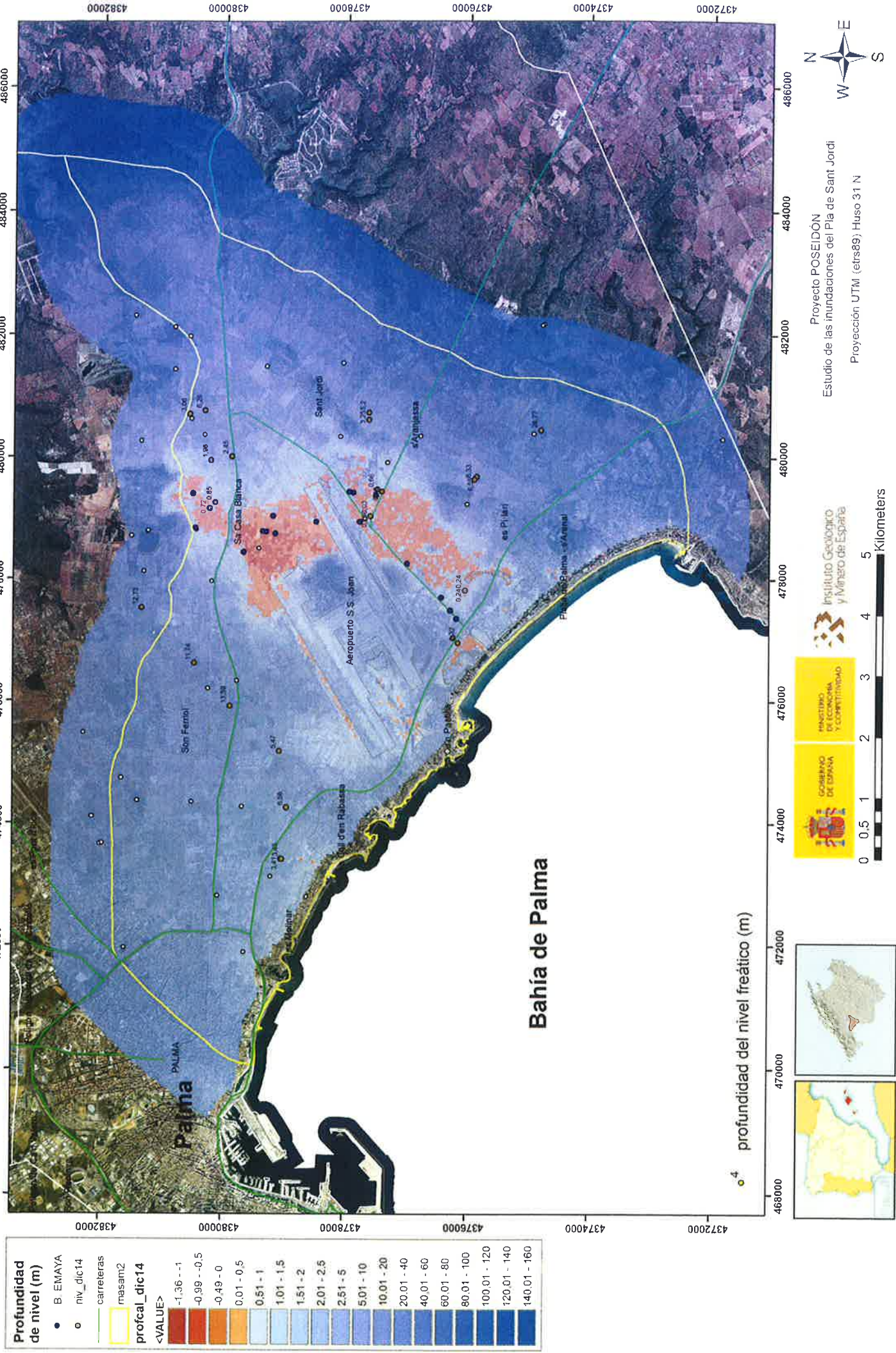
Instituto Geológico y Minero de España

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

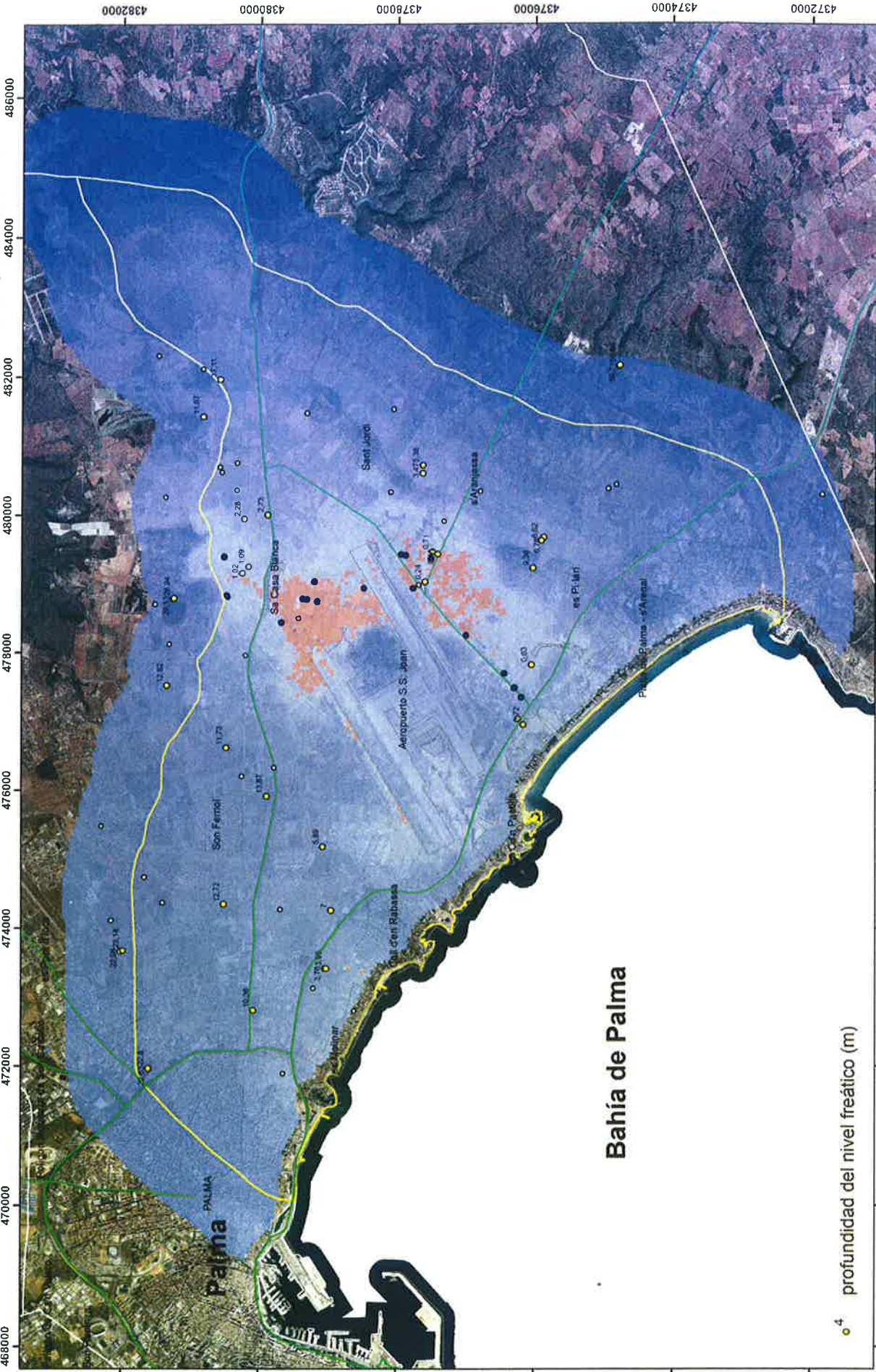


Proyecto POSEIDON
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

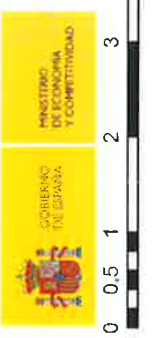
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Diciembre 2014



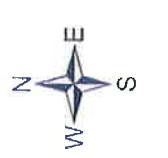
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Enero 2015



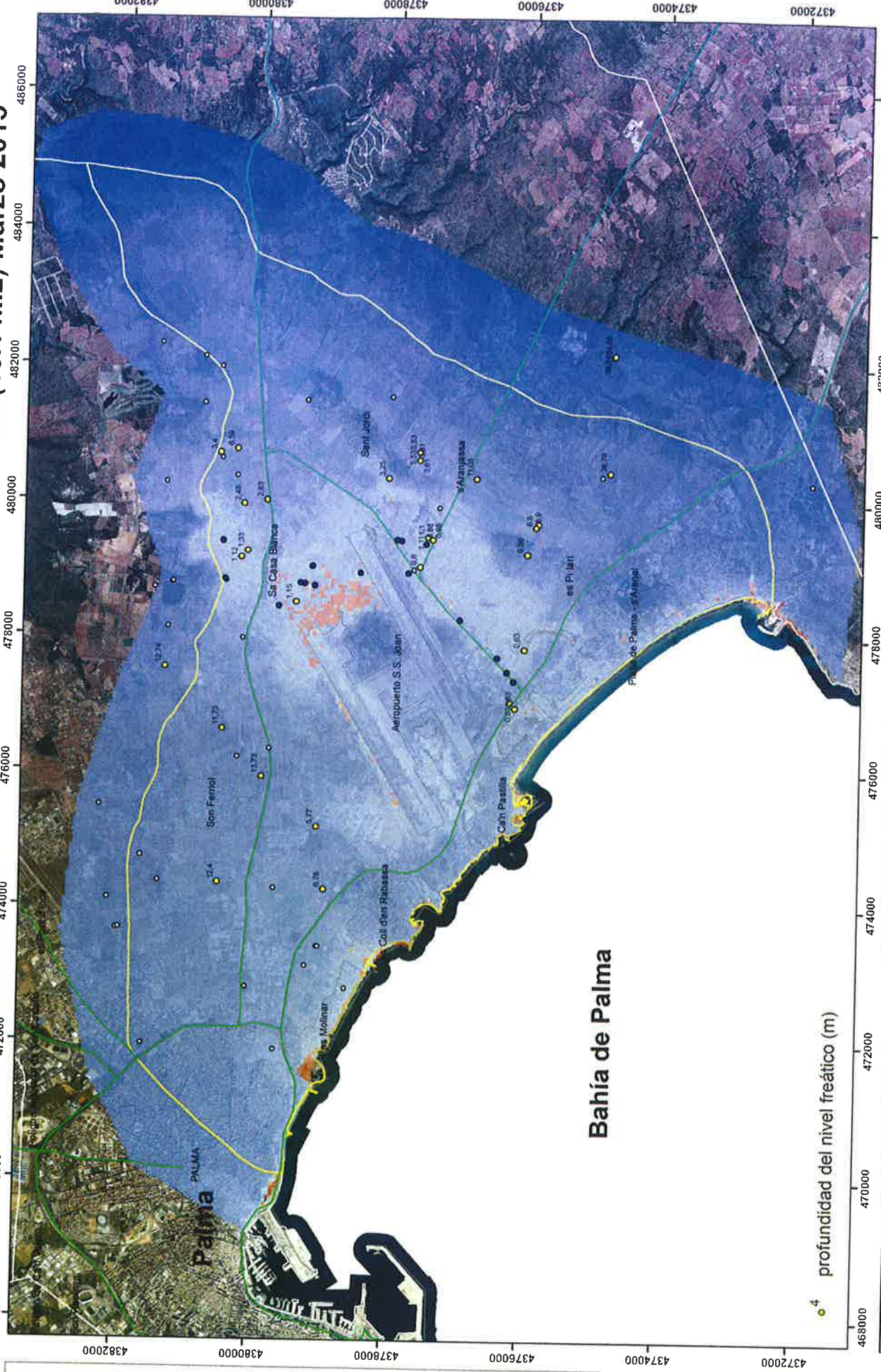
Profundidad de nivel (m)
6. EMAYA
o niv_ene15
carreteras
masam2
profcal_ene15
<VALUE>
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las Inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (eprfs89) Huso 31 N



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 2015



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_mar15

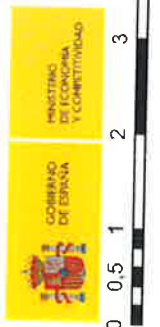
profcal_mar15

<VALUE>

-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160

masam2

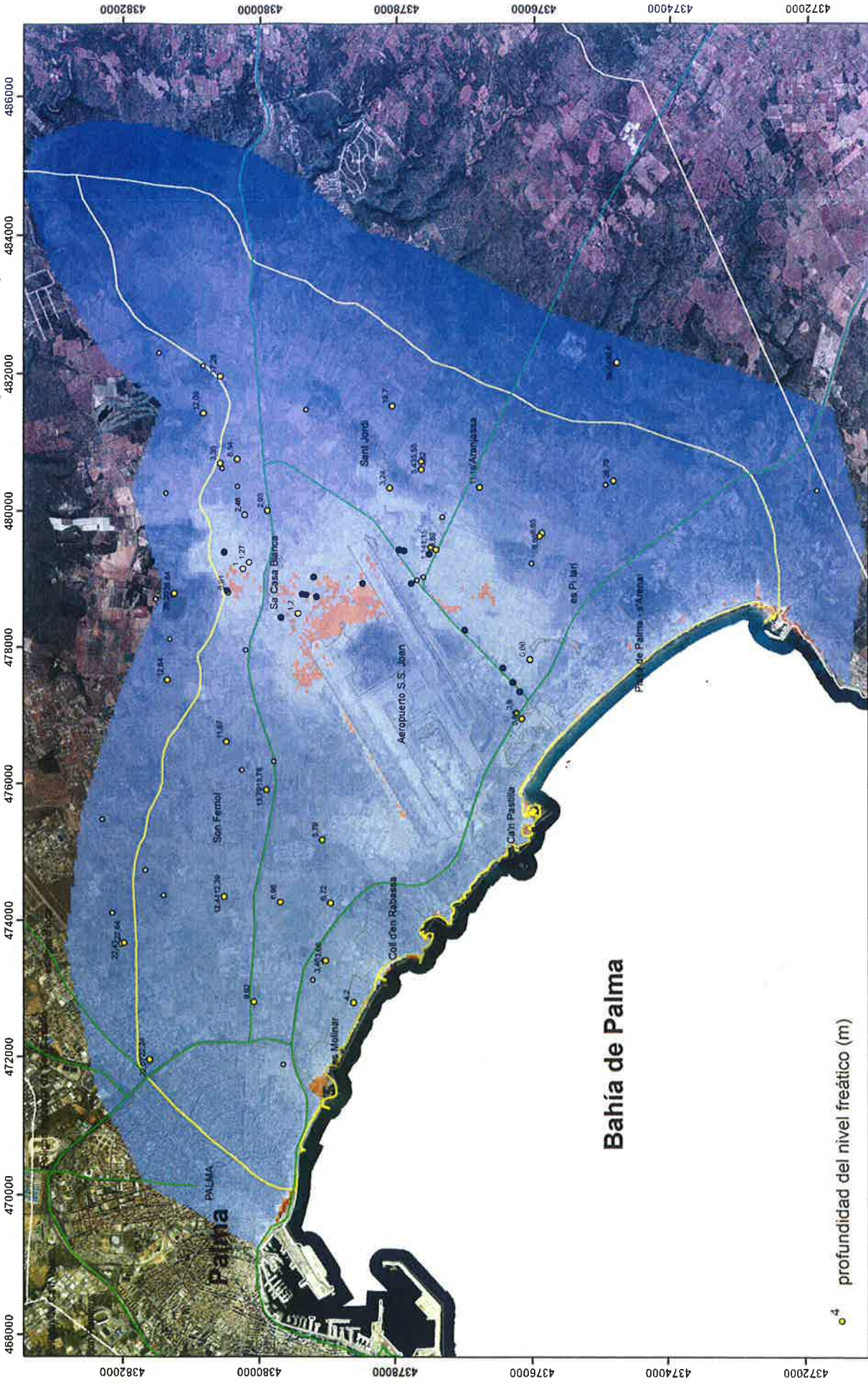
carreteras



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 2015



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_abril15
- carreteras
- masam2
- ca_labris
- <VALUE>

-1,36 -- -1
-0,99 -- -0,5
-0,49 -- 0
0,01 -- 0,5
0,51 -- 1
1,01 -- 1,5
1,51 -- 2
2,01 -- 2,5
2,51 -- 5
5,01 -- 10
10,01 -- 20
20,01 -- 40
40,01 -- 60
60,01 -- 80
80,01 -- 100
100,01 -- 120
120,01 -- 140
140,01 -- 160

4 profundidad del nivel freático (m)

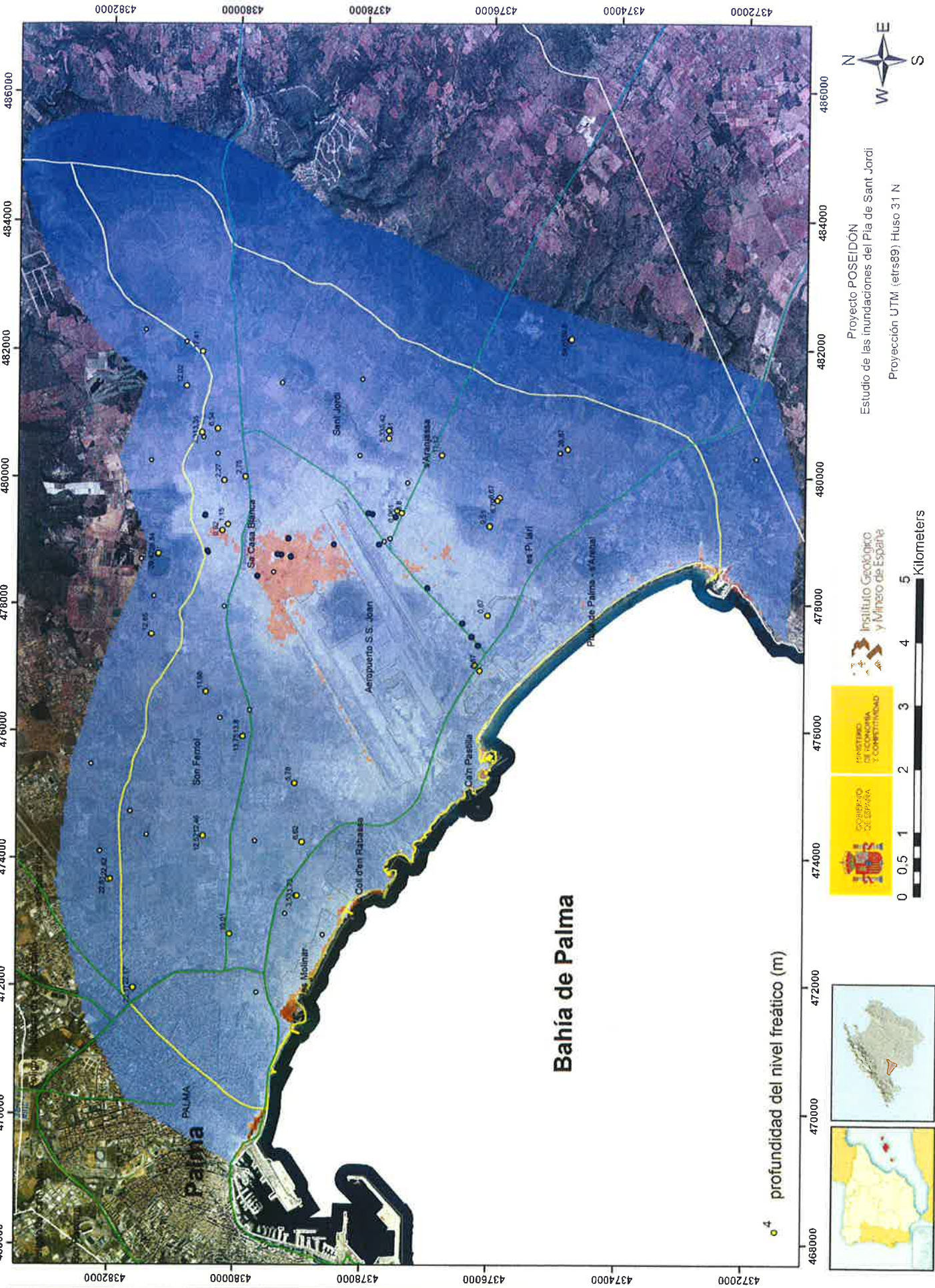


GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD
Instituto Geológico y Minero de España

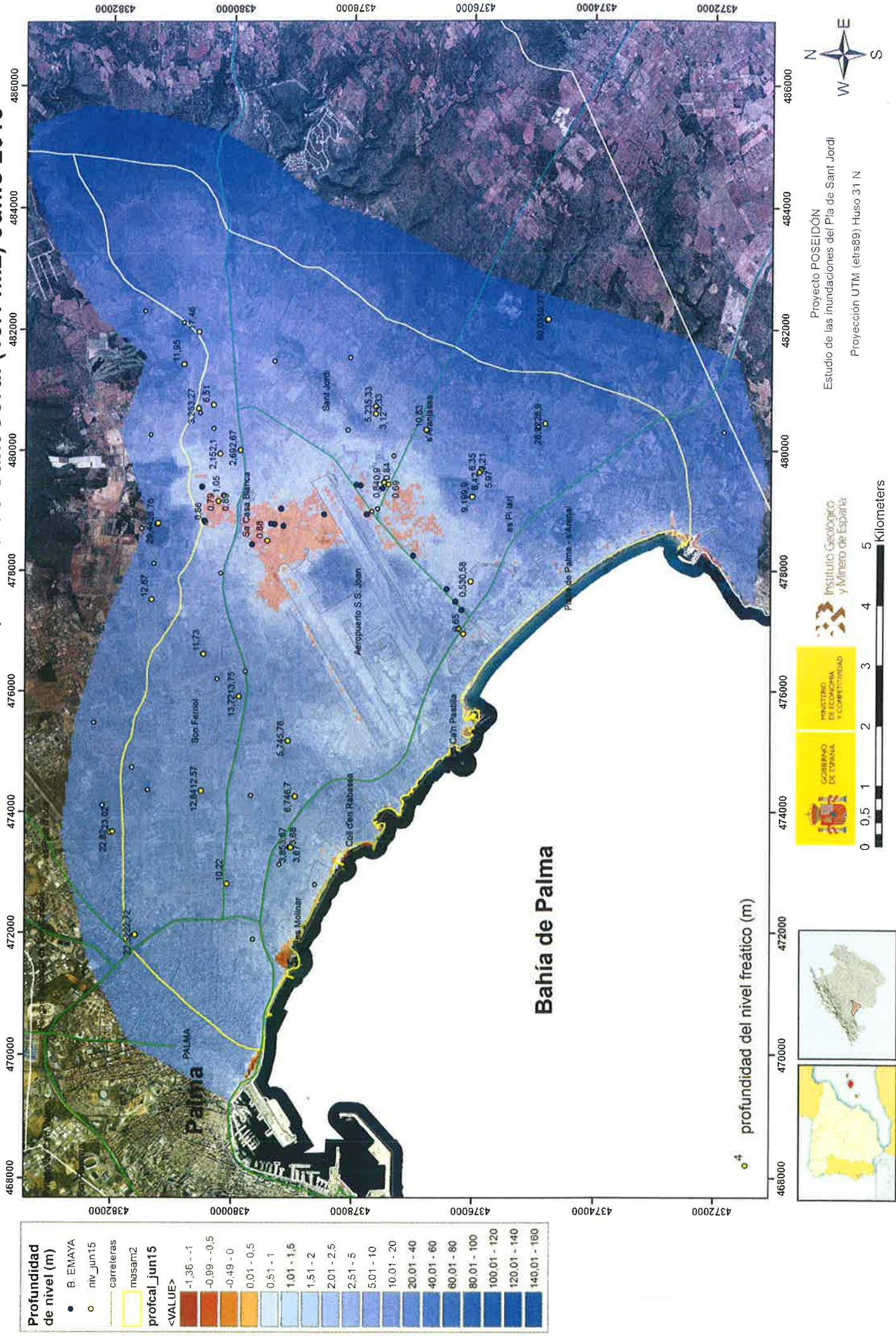


Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Mayo 2015



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Junio 2015

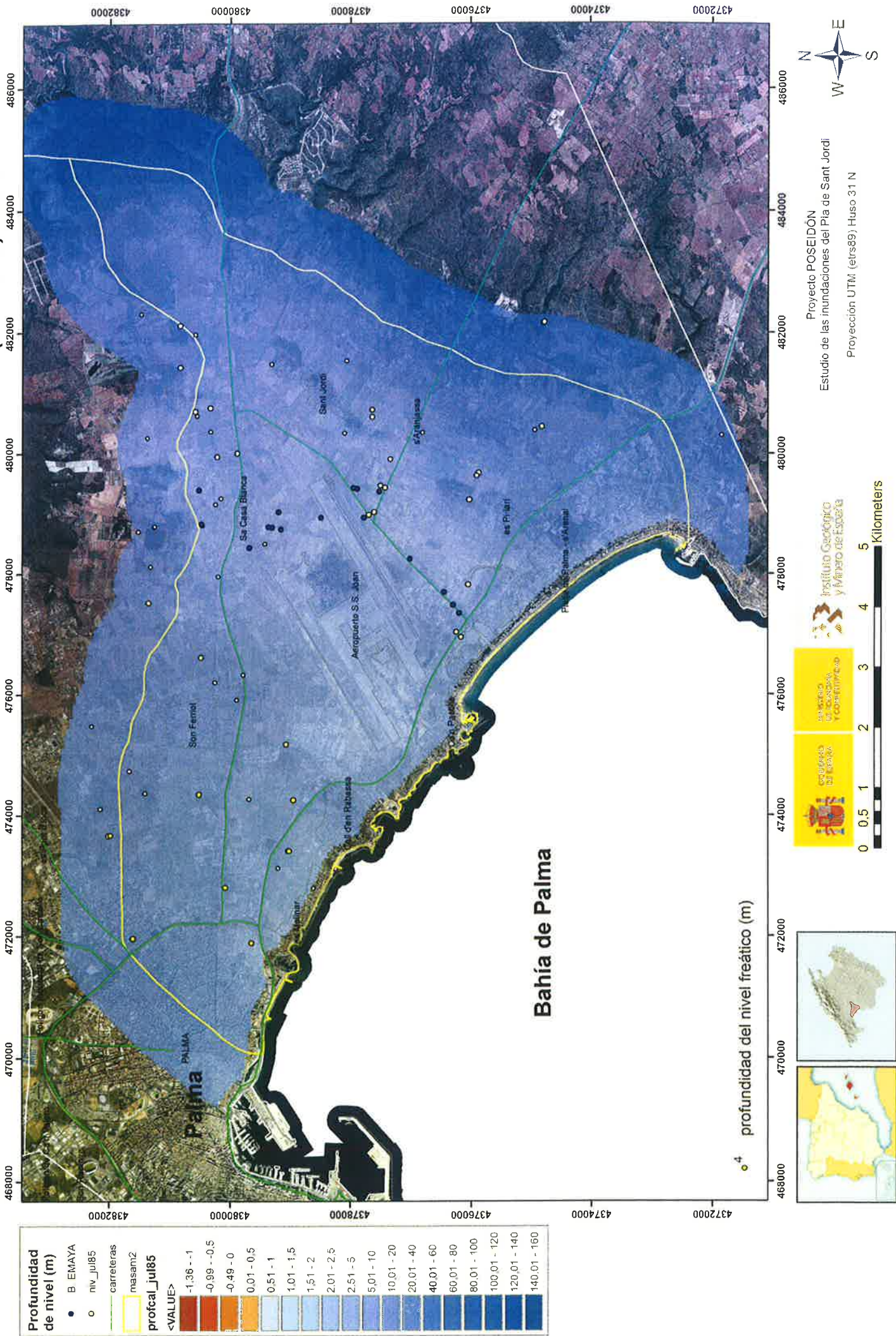


ANEXO 3 B

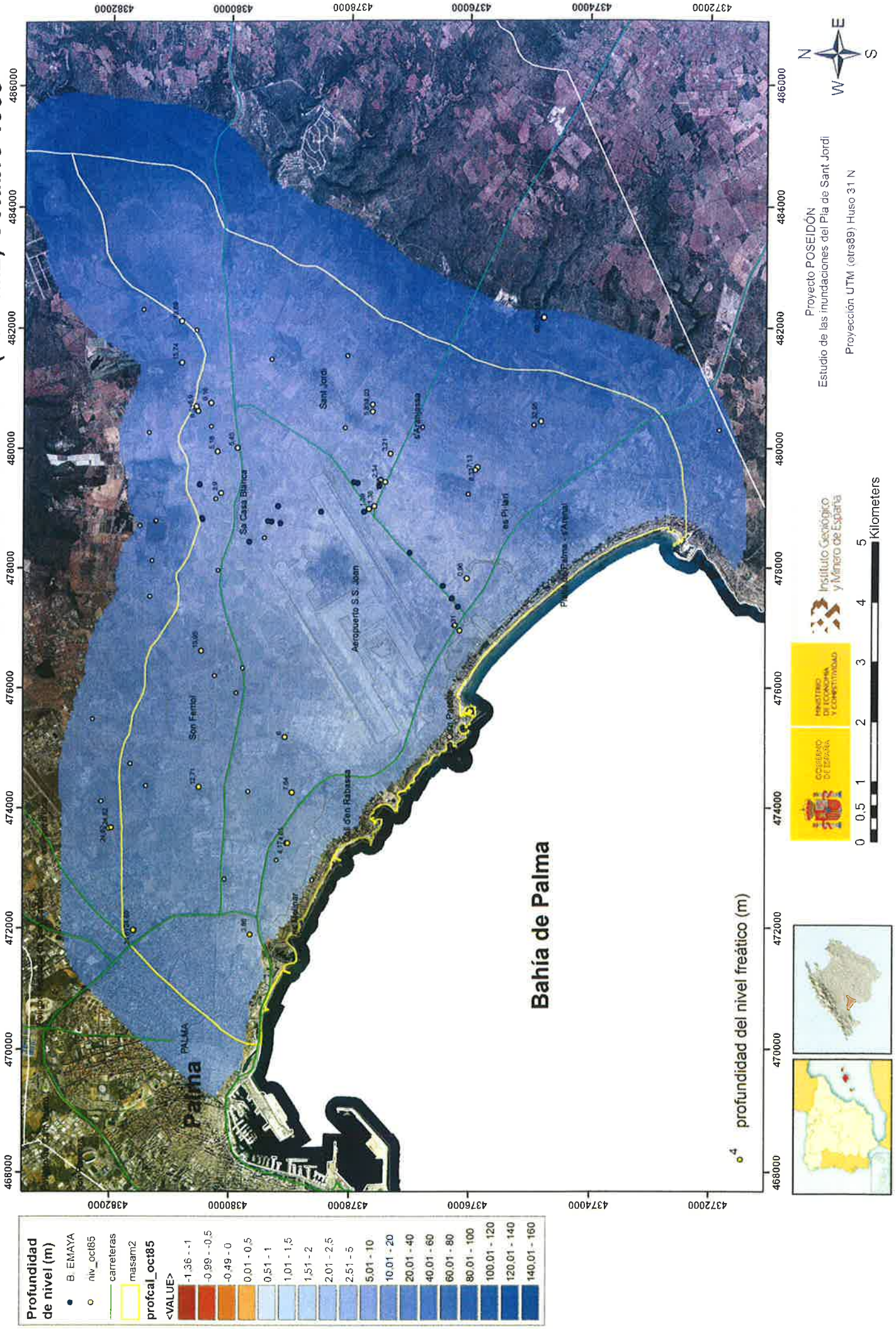
MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Año hidrológico 1985-1986

Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Julio 1985



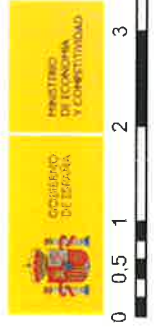
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 1985



Profundidad de nivel (m)

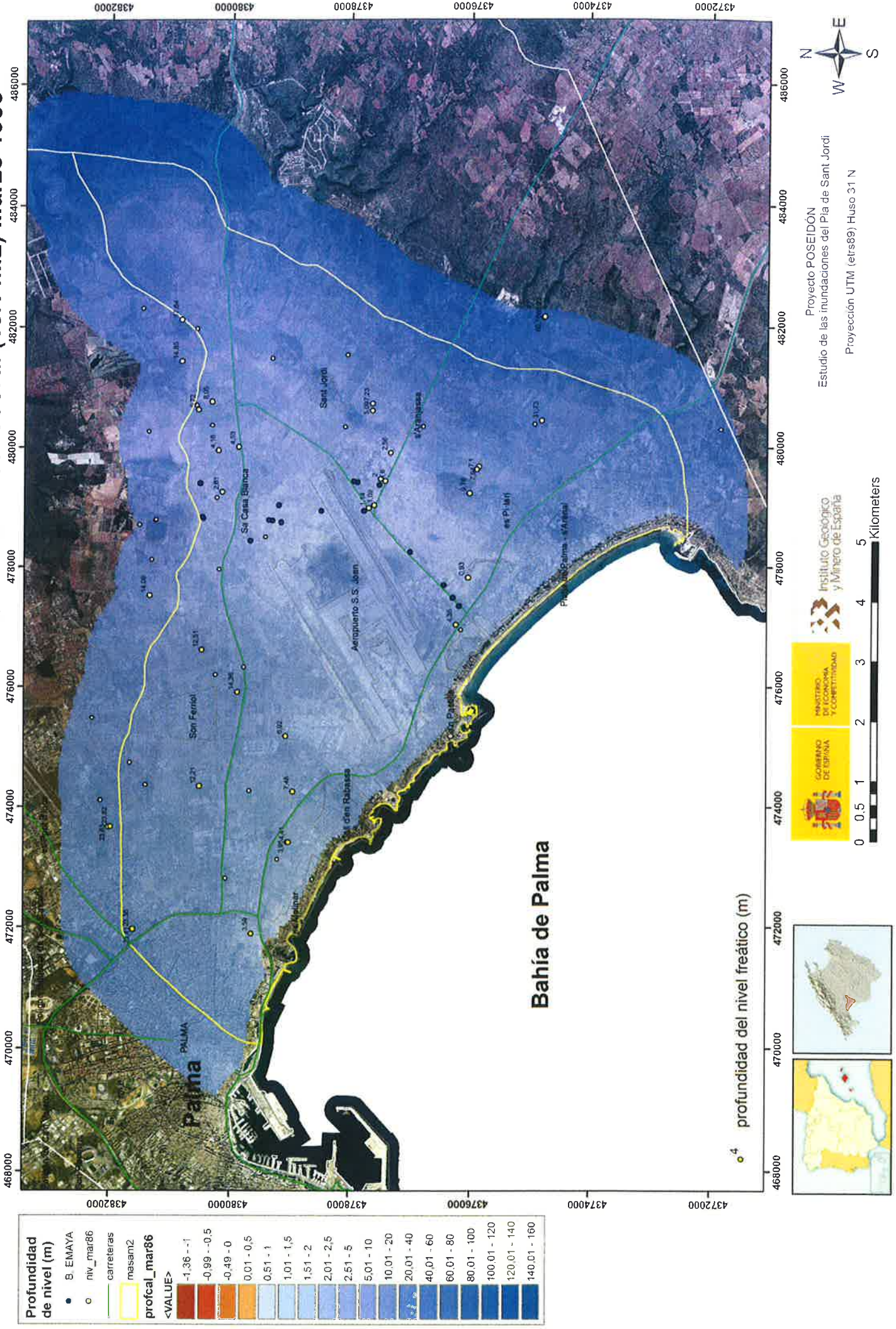
- B. EMAYA
- niv_oct85
- carreteras
- masam2
- profca_oct85
- <VALUE>

-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160

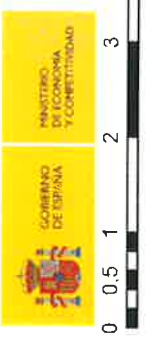


Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las Inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

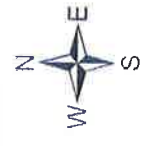
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Marzo 1986



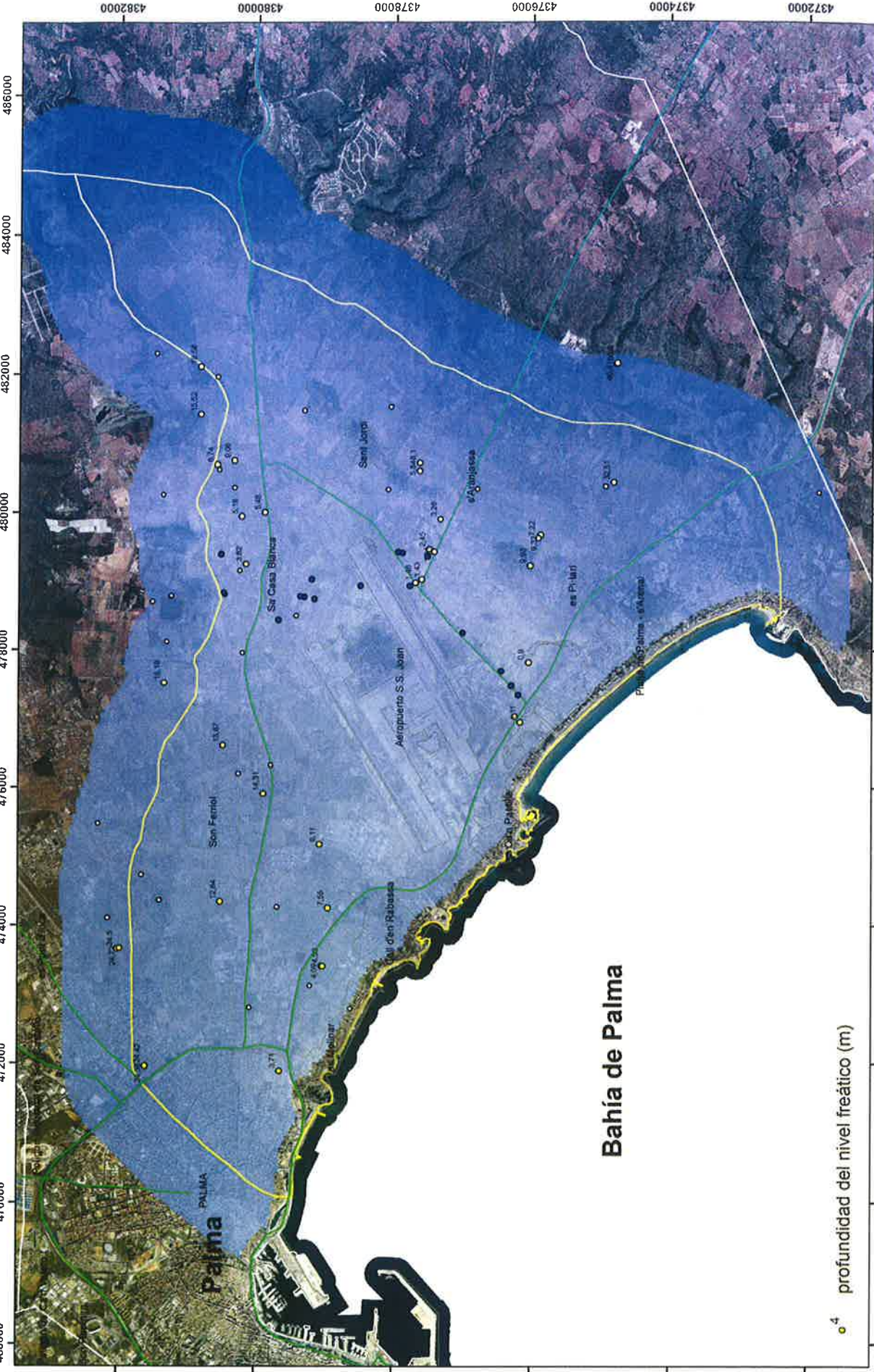
Profundidad de nivel (m)
● B. EMAYA
○ niv_mar86
— carreteras
— mesam2
— profcal_mar86
<VALUE>
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 1986



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_set86
- carreteras
- masam2
- profcal_set86
- <VALUE>

-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

Instituto Geológico y Minero de España



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

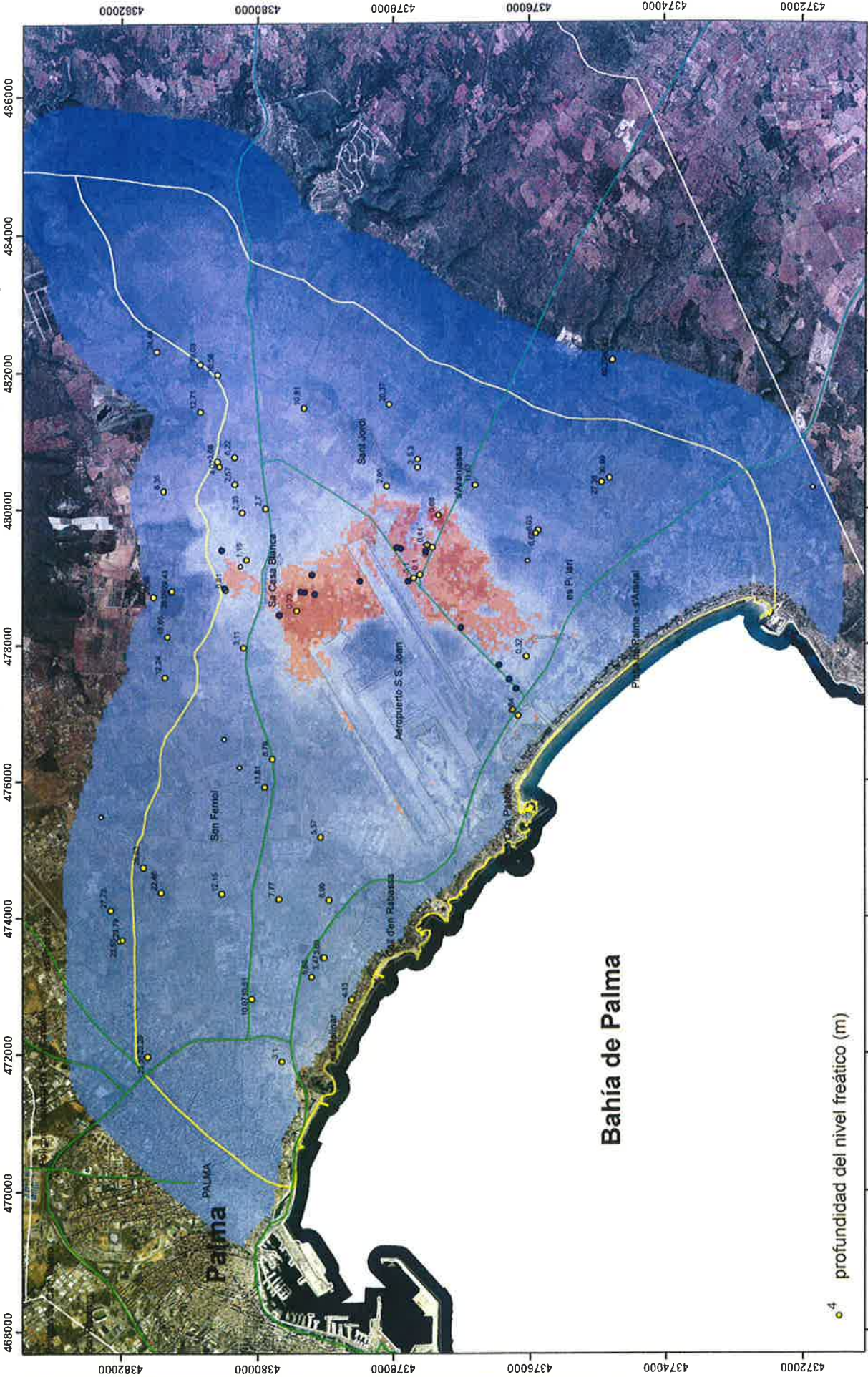
ANEXO 3 C

MAPAS MENSUALES DE PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO

Eventos de precipitación mensual acumulada > 150 mm

Evento	Mes	Año	Precipitación (mm)
1	Octubre	1994	241,8
2	Septiembre	2009	222,3
3	Noviembre	2011	192,0
4	Octubre	1979	181,7
5	Mayo	2008	168,1
6	Octubre	2007	165,0
7	Diciembre	2006	161,3
8	Septiembre	1972	159,3
9	Octubre	1976	157,5
10	Abril	1981	151,2

Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 1994



4 profundidad del nivel freático (m)

profundidad del nivel freático (m)

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

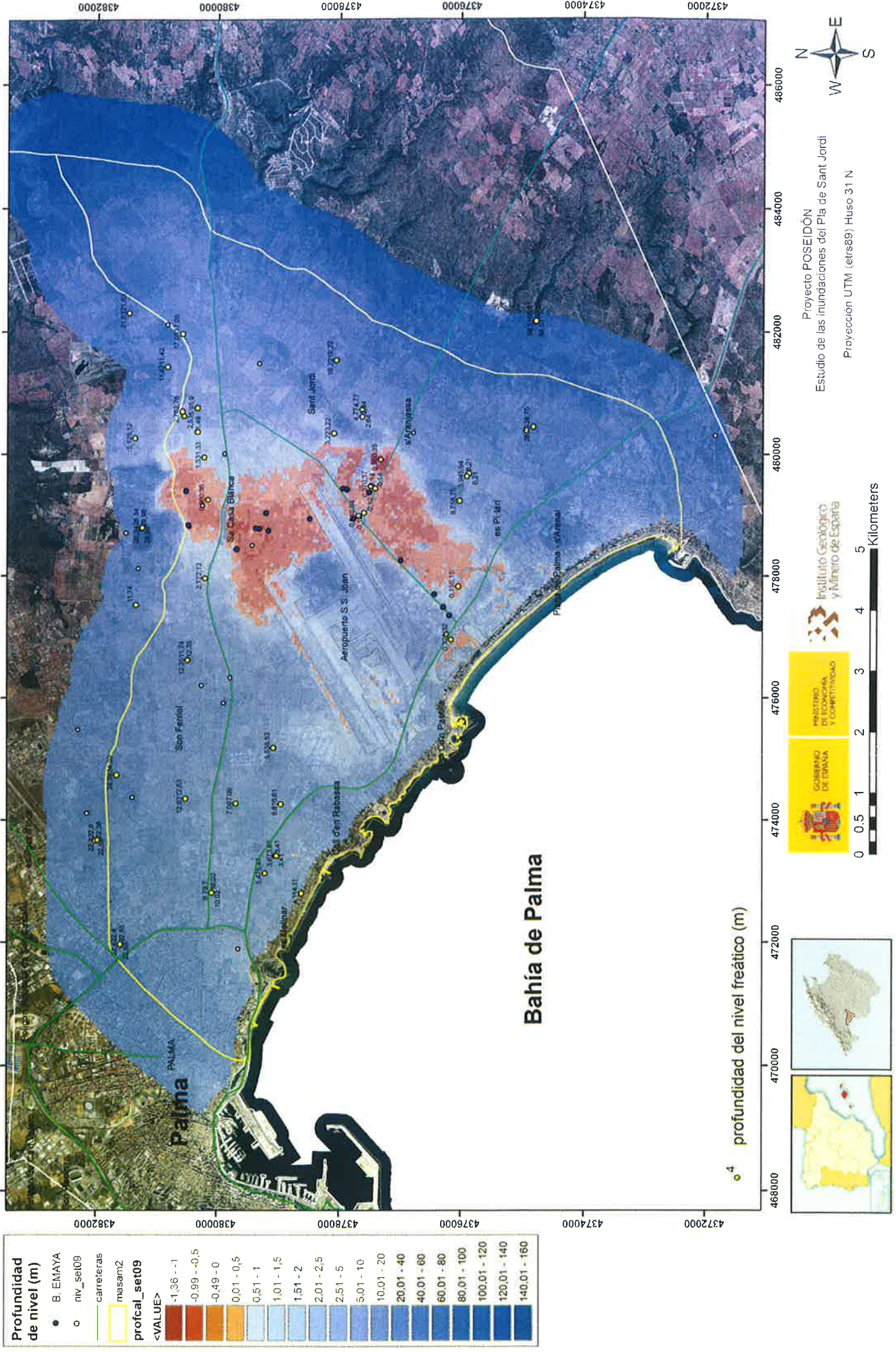
Instituto Geológico y Minero de España

Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

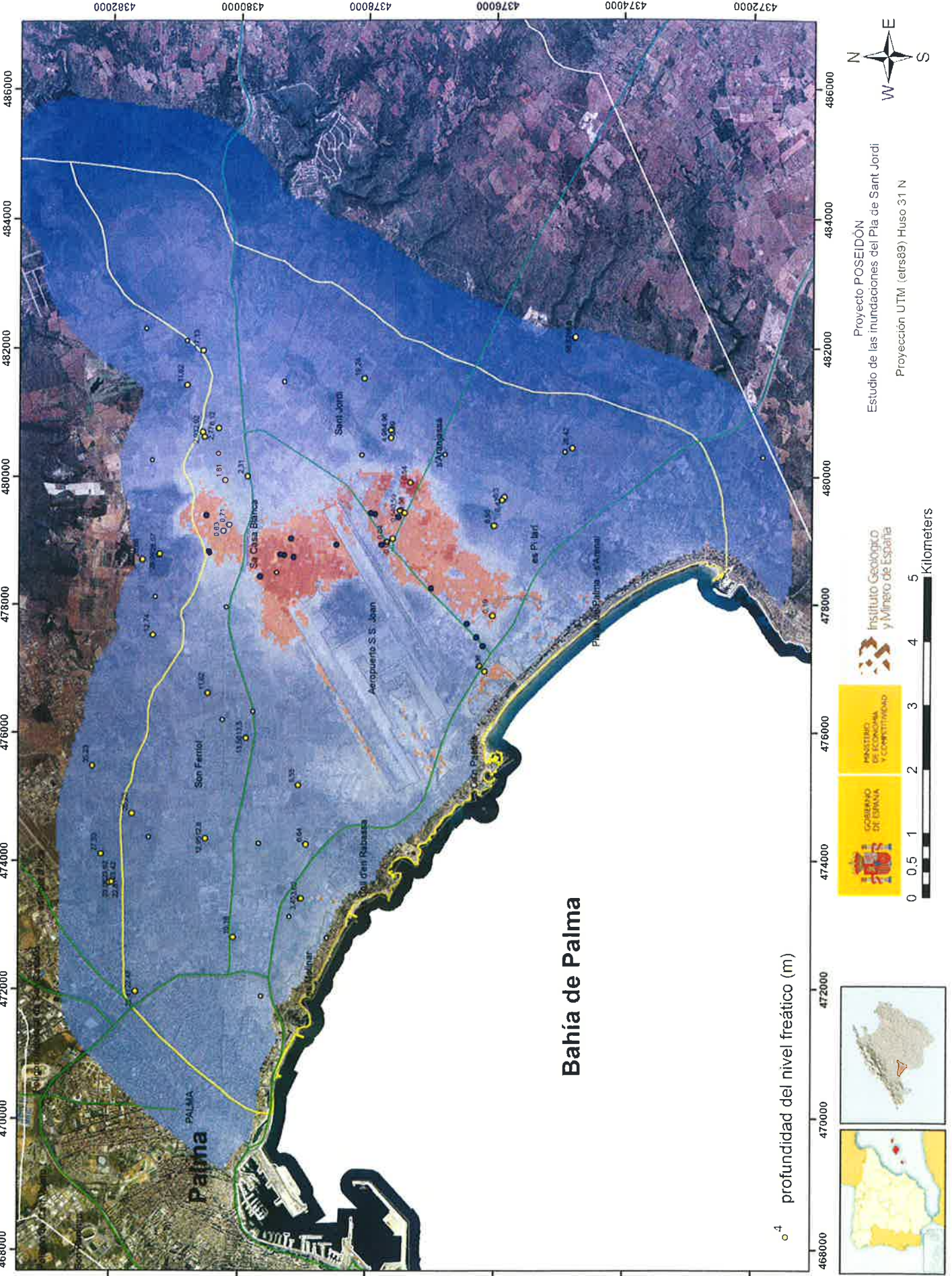
N
E
W
S

Profundidad de nivel (m)
● B ENAYA
○ niv_oct94
carreteras
masam2
profcal_oct94
<VALUE>
-1.36 --1
-0.99 --0,5
-0.49 -0
0.01 -0,5
0.51 - 1
1.01 - 1,5
1.51 - 2
2.01 - 2,5
2.51 - 3
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160

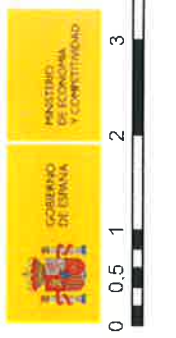
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 2009



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Noviembre 2011



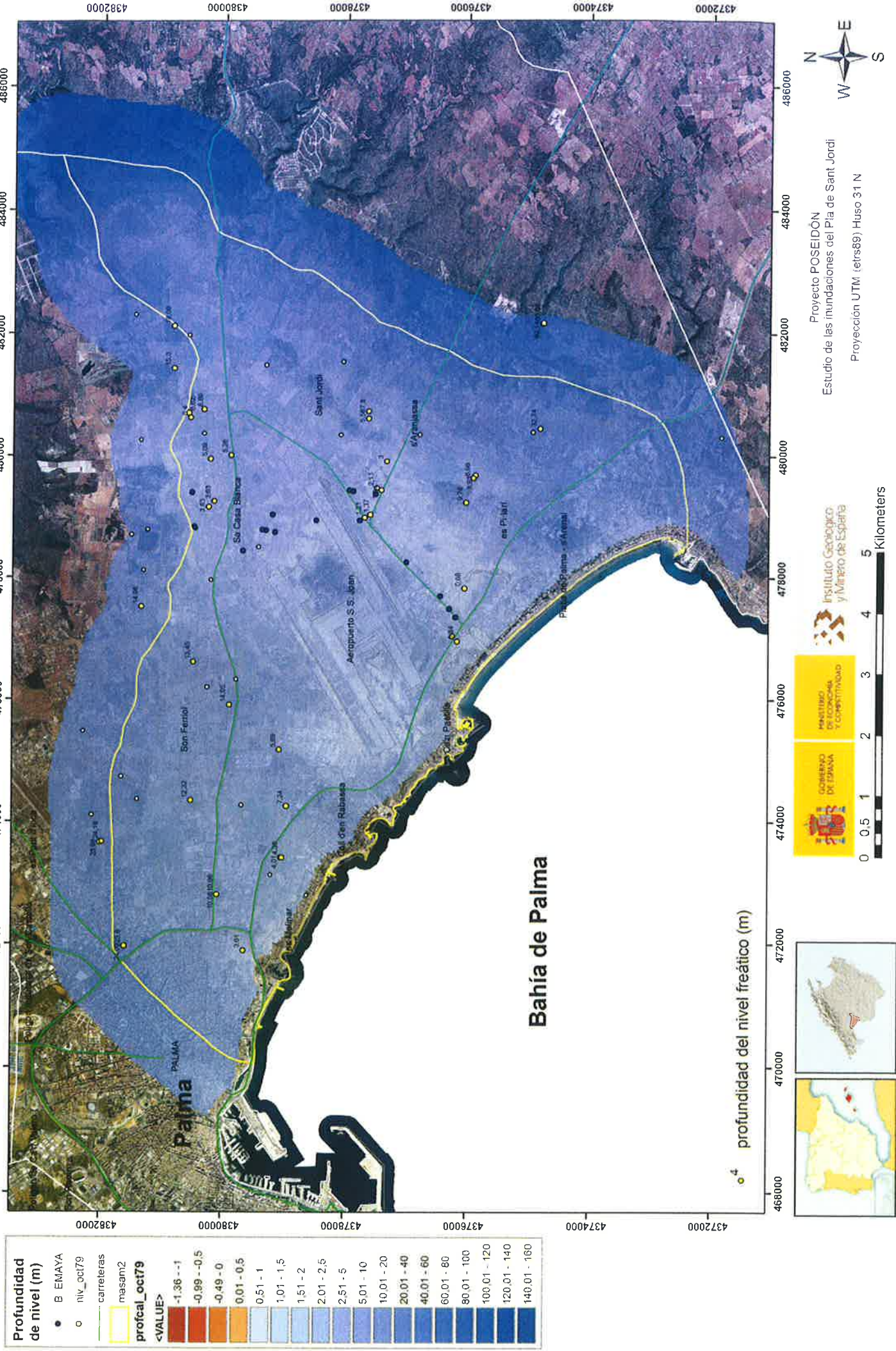
Profundidad de nivel (m)	
●	B. EMAYA
○	niv_nov11
—	carreteras
—	masam2
—	profcal_nov11
<VALUE>	
Dark Red	-1.36 -- -1
Red	-0.99 -- -0.5
Orange	-0.49 - 0
Light Orange	0.01 - 0.5
Yellow	0.51 - 1
Light Yellow	1.01 - 1.5
Light Green	1.51 - 2
Green	2.01 - 2.5
Light Blue	2.51 - 5
Blue	5.01 - 10
Dark Blue	10.01 - 20
Very Dark Blue	20.01 - 40
Black	40.01 - 60
Black	60.01 - 80
Black	80.01 - 100
Black	100.01 - 120
Black	120.01 - 140
Black	140.01 - 160



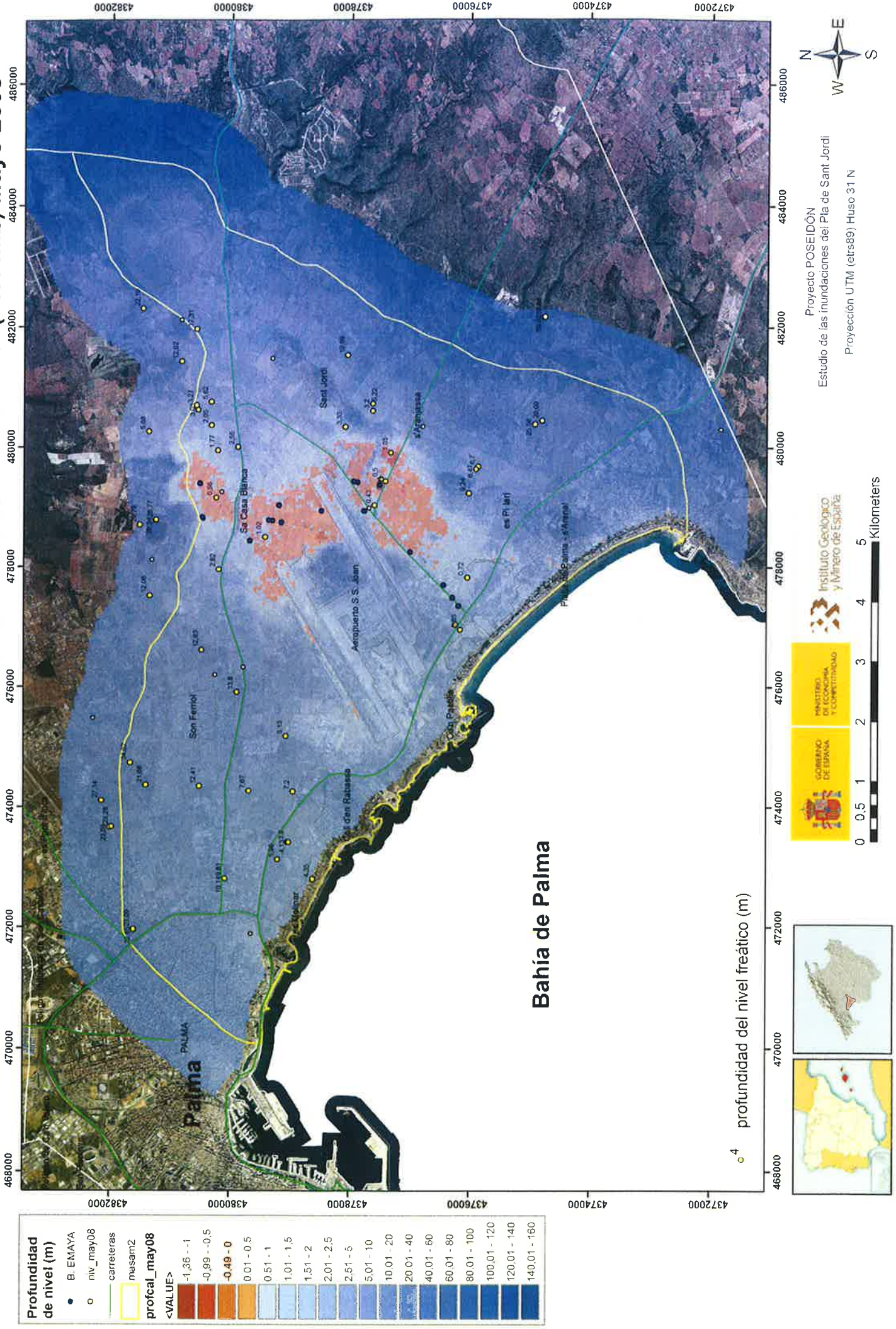
Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N



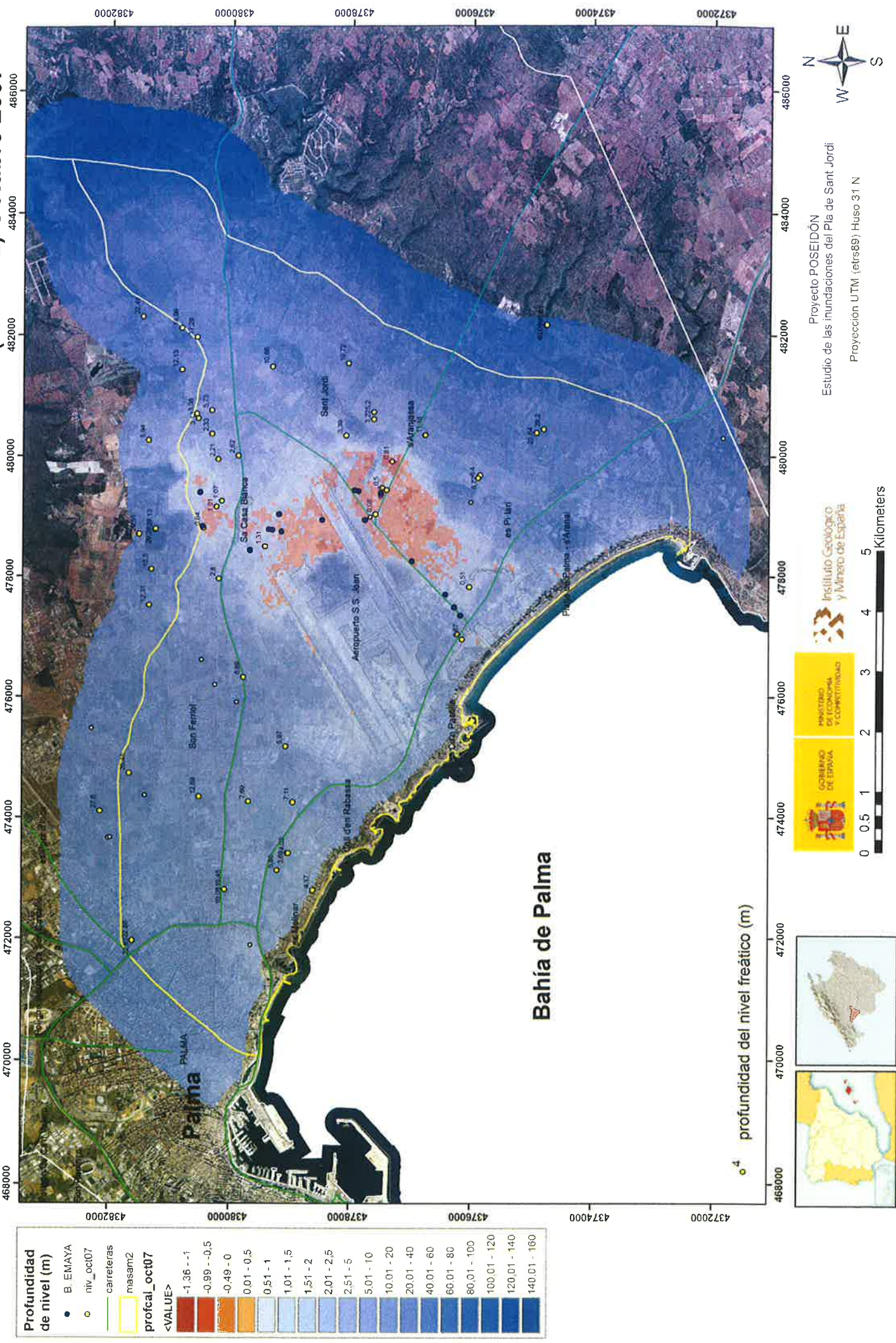
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 1979



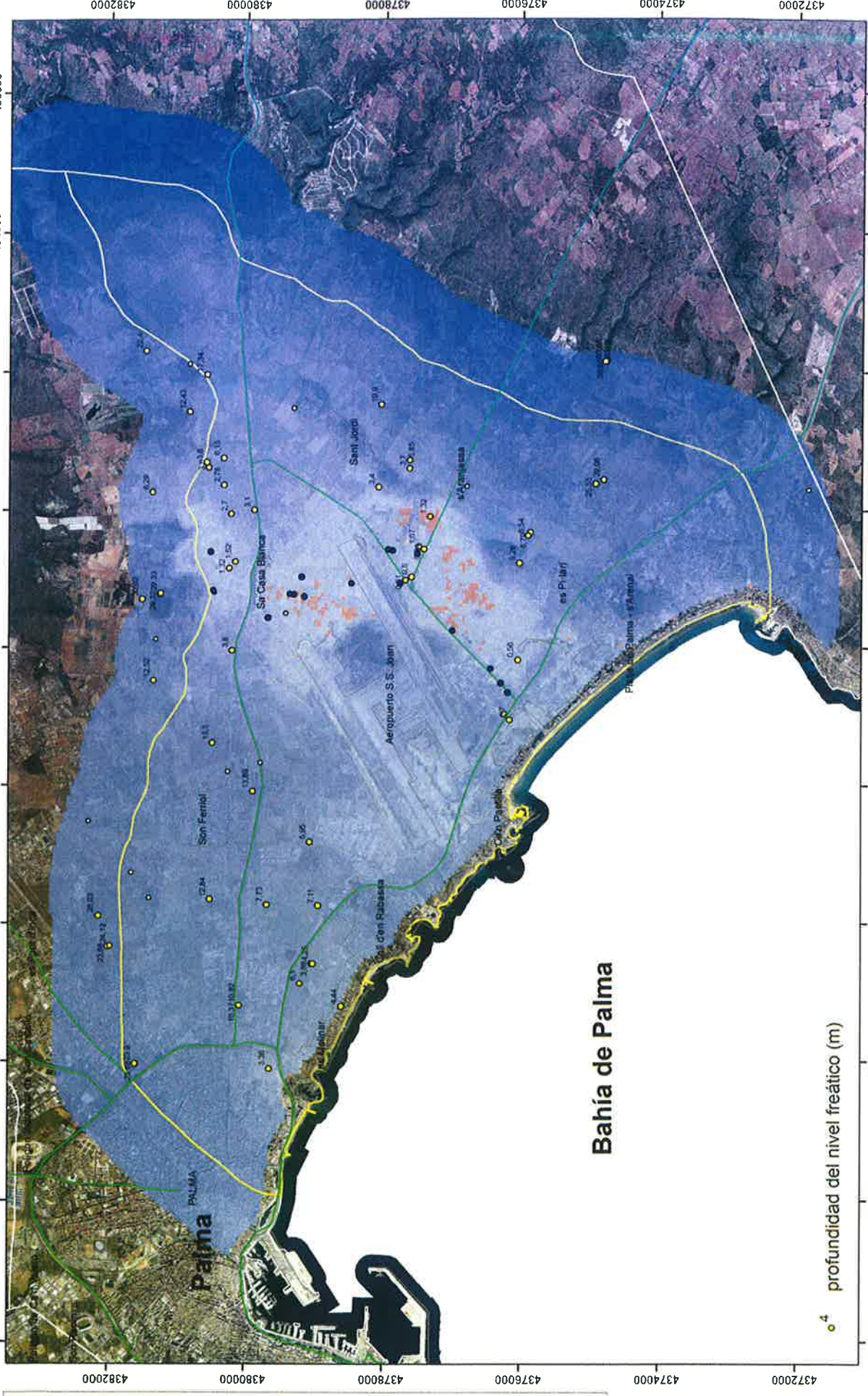
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Mayo 2008



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 2007



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Diciembre 2006



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_dic06
- carreteras
- masam2
- profcal_dic06
- <VALUE>

-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD

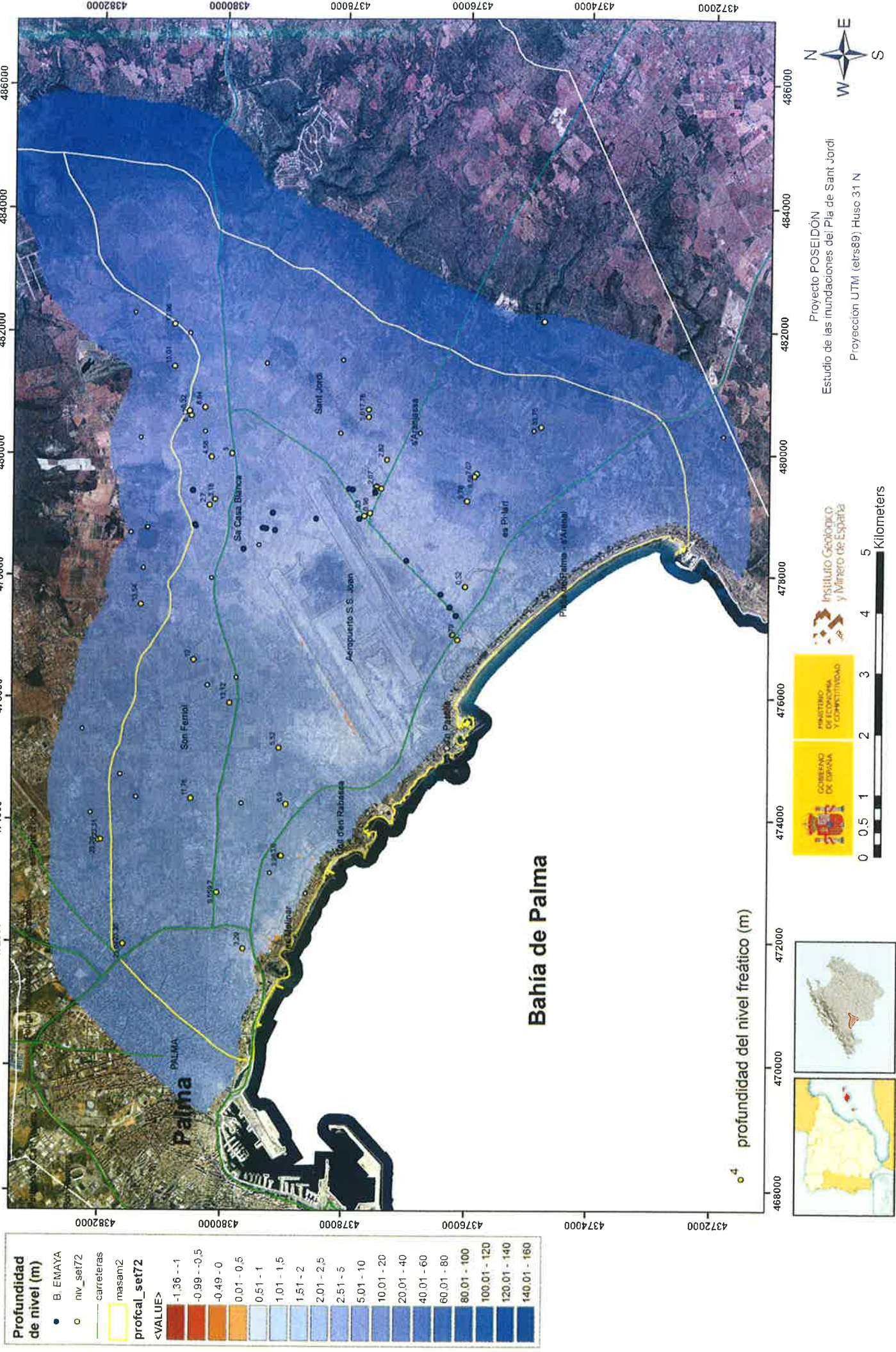
Instituto Geológico y Minero de España



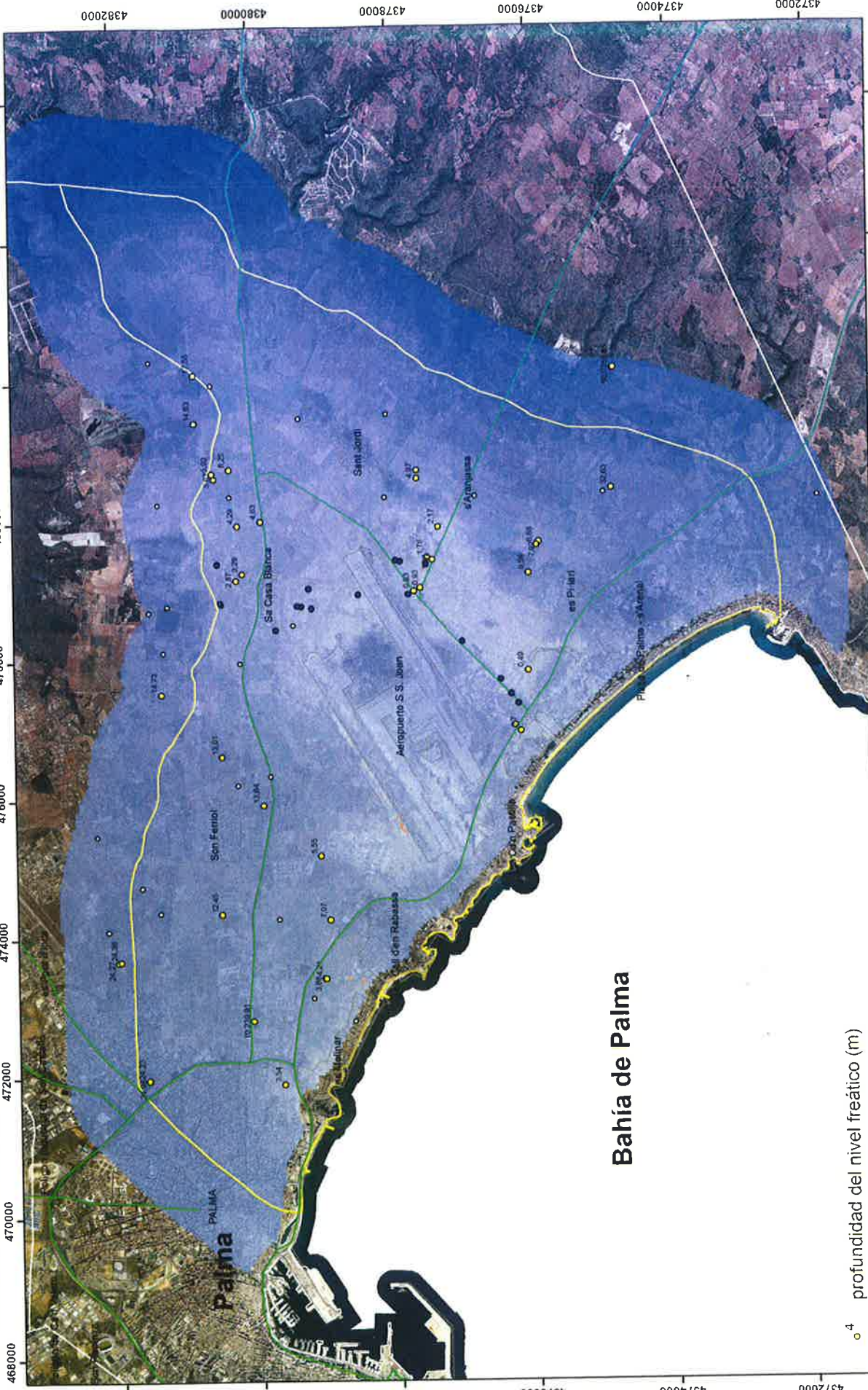
Proyecto POSEIDÓN
Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

4 profundidad del nivel freático (m)

Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Septiembre 1972



Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Octubre 1976



Profundidad de nivel (m)

- B. EMAYA
- niv_oct76
- carreteras
- masam2
- profcal_oct76

<VALUE>

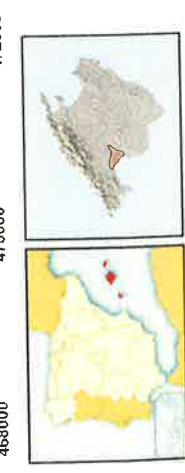
-1.36 - -1
-0.99 - -0.5
-0.49 - 0
0.01 - 0.5
0.51 - 1
1.01 - 1.5
1.51 - 2
2.01 - 2.5
2.51 - 5
5.01 - 10
10.01 - 20
20.01 - 40
40.01 - 60
60.01 - 80
80.01 - 100
100.01 - 120
120.01 - 140
140.01 - 160



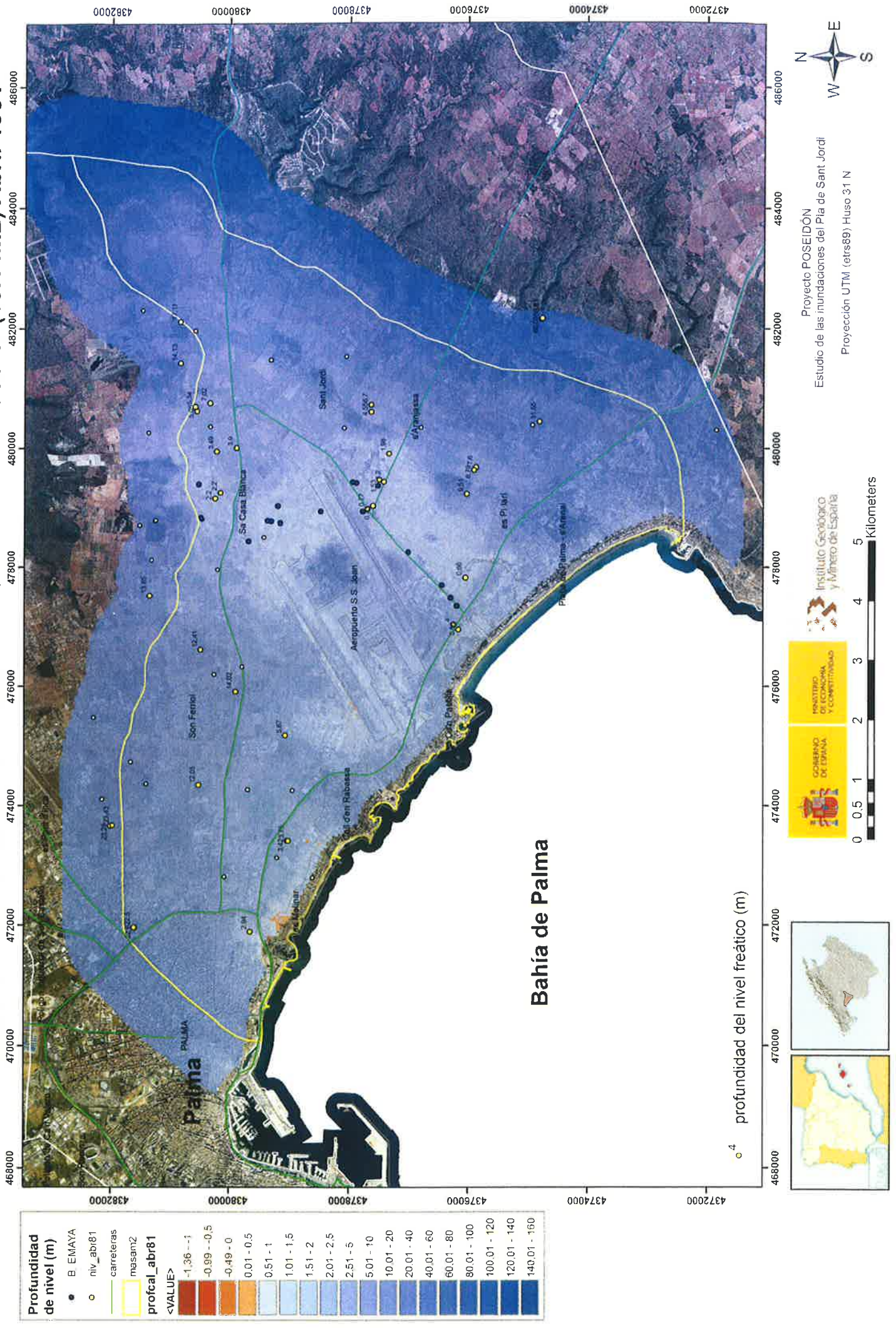
Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers

Instituto Geológico y Minero de España



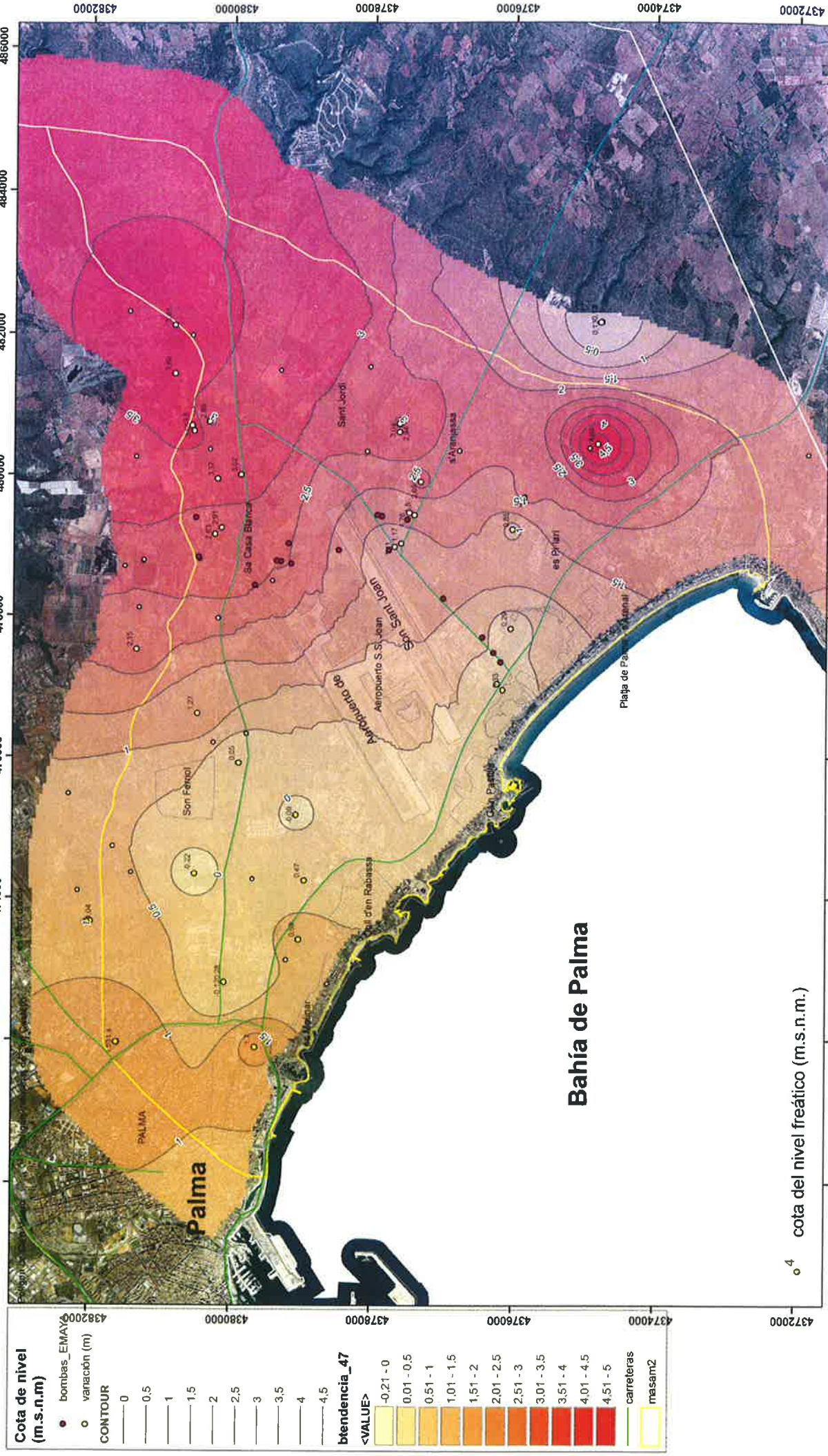
Profundidad del nivel freático del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2) Abril 1981



ANEXO 4

MAPAS DE TENDENCIA EVOLUTIVA DEL NIVEL FREÁTICO

Tendencia evolutiva del nivel del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2). Periodo 1968 - 2015



Cota de nivel (m.s.n.m.)

- bombas_EMAX9
- variación (m)

CONTOUR

- 0
- 0.5
- 1
- 1.5
- 2
- 2.5
- 3
- 3.5
- 4
- 4.5

btendencia_47

<VALUE>

- -0.21 - 0
- 0.01 - 0.5
- 0.51 - 1
- 1.01 - 1.5
- 1.51 - 2
- 2.01 - 2.5
- 2.51 - 3
- 3.01 - 3.5
- 3.51 - 4
- 4.01 - 4.5
- 4.51 - 5

- carreteras
- masam2



Instituto Geológico y Minero de España

0 0.5 1 2 3 4 5 Kilometers



Proyecto POSEIDÓN
 Estudio de las inundaciones del Pla de Sant Jordi
 Proyección UTM (etrs89) Huso 31 N

Tendencia evolutiva del nivel del acuífero PL-Q del Pla de Sant Jordi (18.14M2). Periodo 1985 - 2015

