



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado de Urbanismo

Metodología para la cuantificación y control de la
subsistencia en grandes extensiones territoriales. Aplicación
al caso de la Cuenca del Guadalentín, Lorca (Murcia).

Autor:

D. Ramón Pablo García Cárdenas

Director:

Dr. D. Jesús Herminio Alcañiz Hernández

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado de Urbanismo

Metodología para la cuantificación y control de la
subsistencia en grandes extensiones territoriales. Aplicación
al caso de la Cuenca del Guadalentín, Lorca (Murcia).

Autor:

D. Ramón Pablo García Cárdenas

Director:

Dr. D. Jesús Herminio Alcañiz Hernández

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

AUTORIZACIÓN DEL DIRECTOR DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN

El Dr. D. Jesús Herminio Alcañiz Hernández como Director de la Tesis Doctoral titulada "Metodología para la cuantificación y control de la subsidencia en grandes extensiones territoriales. Aplicación al caso de la Cuenca del Guadalentín, Lorca (Murcia)".

realizada por D. Ramón Pablo García Cárdenas en el Departamento de Ingeniería Civil, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 y 778/98, en Murcia a 30 de mayo de 2017

“METODOLOGIA PARA LA CUANTIFICACIÓN Y CONTROL DE LA SUBSIDENCIA EN GRANDES EXTENSIONES TERRITORIALES. APLICACIÓN AL CASO DE LA CUENCA DEL GUADALENTÍN, LORCA (MURCIA)”

RESUMEN

La subsidencia es un fenómeno que se manifiesta mediante deformaciones de la superficie terrestre y que se caracteriza por ocasionar movimientos de componente principalmente vertical.

La subsidencia derivada de las extracciones de agua subterránea es un fenómeno global que afecta negativamente a muchas regiones del mundo. La comprensión de los procesos que la gobiernan y la mitigación de los peligros asociados requiere el conocimiento de la distribución espacial de sus factores controladores, tales como los niveles piezométricos, la litología y la deformación del suelo, que normalmente solo se conocen en lugares puntuales.

Tradicionalmente, las técnicas empleadas para la monitorización de la subsidencia son la topografía (e.g. nivelación), técnicas geodésicas (e.g. GPS) e instrumentación geotécnica (e.g. extensómetros). Sin embargo, desde finales del siglo pasado, la interferometría SAR diferencial (DInSAR o InSAR) se ha convertido en un método complementario de monitorización. Las técnicas InSAR permiten medir en detalle la evolución espacio-temporal de la compactación del sistema acuífero y la subsidencia del suelo, proporcionando una cobertura espacial continua del campo de deformación.

Esta Tesis Doctoral se centra en el SE de la Península Ibérica, en la conocida como Cuenca del Alto Guadalentín, en la que, desde los años 60, existe una intensa sobreexplotación del acuífero que ha originado asentamientos del terreno de 1,85 metros en los últimos 18 años y velocidades de subsidencia actuales de 10cm/año.

En consecuencia, resulta necesario estudiar la subsidencia que se da en el ámbito del acuífero del Guadalentín con el fin de determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la subsidencia, así como sus posibles

interrelaciones y elaborar modelos hidrológicos y geotécnicos que expliquen los mecanismos que controlan los procesos geológicos que deben presumirse relacionados con la explotación sostenible del mismo.

Para ello, se ha analizado la subsidencia en la Cuenca del Alto Guadalentín en diferentes períodos de tiempo y con diferentes técnicas, como la nivelación geométrica, instrumental GNSS e interferometría radar (InSAR), en los últimos años demostrando su tendencia hasta hoy día.

Palabras clave : Subsidencia, InSAR, técnicas geodésicas, acuífero, modelo de geoide, Guadalentín, GPS.

"METHODOLOGY FOR THE QUANTIFICATION AND CONTROL OF SUBSIDENCE IN LARGE TERRITORIAL EXTENSIONS. APPLICATION TO THE CASE OF THE GUADALENTIN BASIN, LORCA (MURCIA) "

ABSTRACT

Subsidence is a phenomenon that is manifested by deformations of the earth's surface and is characterized by movements of mainly vertical component.

Land subsidence resulting from groundwater extractions is a global phenomenon adversely affecting many regions in the world. Understanding the governing processes and mitigating associated hazards requires knowledge of the spatial distribution of its controlling factors, such as piezometric levels, lithology and ground deformation, that are usually only known at discrete locations.

Traditionally, the techniques used for subsidence monitoring are topography (e.g. leveling), geodetic techniques (e.g., GPS) and geotechnical instrumentation (e.g., extensometers). However, since the end of the last century, differential SAR interferometry (DInSAR or InSAR) has become a complementary method of monitoring. InSAR techniques allow to measure in detail the spatio-temporal evolution of aquifer system compaction and ground subsidence, providing continuous spatial coverage of the deformation field.

This Doctoral Thesis focuses on the SE of the Iberian Peninsula, known as the Alto Guadalentín Basin, where, since the 1960s, there has been an intense overexploitation of the aquifer, resulting a subsidence of 1,85 meters for the last 18 years and current subsidence speeds of 10cm / year.

Consequently, it is necessary to study the subsidence of the Guadalentín aquifer in order to determine the factors determining and triggering subsidence, as well as their possible interrelationships, and to develop hydrological and geotechnical models that explain the mechanisms controlling the subsidence. Geological processes that must be presumed related to the sustainable exploitation of the same

For this, subsidence will be analyzed in different periods of time with different techniques, such as geometric leveling, GNSS instrumentation and radar interferometry (InSAR) in recent years demonstrating the trend until today.

Keywords: Subsidence, InSAR, geodetic techniques, aquifer, geoid model, Guadalentín, GPS.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer principalmente a mi padre Ramón Pablo por el apoyo brindado y los constantes ánimos, ya no solo en la elaboración de esta Tesis Doctoral, sino a lo largo de todos estos años. Agradecer a mi madre Victoria y a mi novia Claudia la paciencia que han tenido estos últimos meses. Por último, y no menos importante, agradecer al director de esta Tesis Doctoral por el apoyo brindado.

“Con constancia y tenacidad se obtiene lo que se desea; la palabra imposible no tiene significado”. Napoleón Bonaparte
(1769-1821)

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE

AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS	17
I - INTRODUCCIÓN	23
II – ESTADO DEL ARTE	29
2.1. MODELADO ANALÍTICO Y NUMÉRICO DE SUBSIDENCIA.....	29
2.2. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE SUBSIDENCIA.....	29
2.2.1. Métodos topográficos convencionales	30
2.2.2. Métodos geodésicos	31
2.2.3. Métodos fotogramétricos	32
2.2.4. Métodos de teledetección.....	33
2.3. SUBSIDENCIA EN LA CUENCA DEL GUADALENTÍN.....	34
2.4. EL MODELO DE GEOIDE.....	36
III – INVESTIGACIONES PREVIAS.....	43
3.1. ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA MEDIANTE INSAR	43
3.2. ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA MEDIANTE LIDAR	61
3.3. DETERMINACIÓN DE LA SUBSIDENCIA EN EL ÁREA GEOGRÁFICA DE LORCA MEDIANTE TÉCNICAS GEODÉSICAS DE CONTROL.....	70
3.3.1. Metodología	72
3.3.2. Actuaciones sobre la ROI	76
3.3.3. Actuaciones sobre REDNAP	80
3.3.4. Realización de nuevas líneas de NAP	81
3.3.5. Actuaciones llevadas a cabo en Redes Geodésicas Activas	82
3.3.5. Resultados y Discusión.....	85
IV – JUSTIFICACION Y OBJETIVOS	89
V – DATOS Y METODOLOGIA	93
5.1. DATOS DE PARTIDA	93
5.1.1. Datos InSAR.....	93
5.1.2. Redes Geodésicas Activas	94

5.1.3. Red de Nivelación de Alta Precisión REDNAP	96
5.2. METODOLOGÍA.....	100
5.2.1. Determinación de cotas elipsoidales en redes geodésicas activas	100
5.2.2. Determinación de cotas mediante INSAR	105
5.2.3. Determinación de cotas ortométricos con nivel de precisión	108
5.2.4. Determinación de cotas elipsoidales con instrumental GNSS.....	115
5.2.5. Determinación del modelo de geoides en los puntos observados.....	124
VI - RESULTADOS OBTENIDOS	129
6.1. DISCUSION	134
VII - CONCLUSIONES.....	139
VIII –FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	145
IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	149
X – ANEXOS	155

ÍNDICE DE FIGURAS, DE TABLAS Y DE ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Obtención de fotogramas mediante vuelo aéreo .	32
Figura 2. Mapa de descensos piezométricos en los períodos estudiados	35
Figura 3. Determinación del modelo de geoide.....	37
Figura 4. Modelo de geoide EGM08-REDNAP.....	39
Figura 5. Detección de deformaciones en el terreno mediante InSAR.	43
Figura 6. Distribución espacial de la velocidad de deformación	45
Figura 7. Subsistencia en la Cuenca del Guadalentín.....	46
Figura 8. Distribución espacial de los puntos de control de subsistencia.	47
Figura 9. Distribución temporal de la subsistencia.....	47
Figura 10. Distribución espacial de la subsistencia en el perfil AA'	47
Figura 11. Distribución temporal de la subsistencia.....	47
Figura 12. Geología del área estudiada.....	50
Figura 13. Mapa de deformaciones obtenidos con el radar ENVISAT.....	50
Figuras 14 y 15. Estadística de puntos y velocidades de deformación.....	51
Figura 16. Mapa de isóbatas de la unidad Plio-Cuaternaria.....	52
Figura 17. Mapa de isóbatas del Plio-Cuaternario y velocidad de deformación. ..	53
Figura 18. Velocidad de deformación de cada isobata del Plio-Cuaternario.	53
Figura 19. Mapa de sondeos de la zona de estudio.....	54
Figura 20. Columna estratigráfica de un sondeo.....	56
Figura 21. Espesores de suelo blando obtenidos por interpolación IDW.	57
Figura 22. Mapa de espesores de suelo blando en el área de estudio.	57
Figura 23. Subsistencia observada en los diferentes espesores de suelo blando	58
Figura 24. Relación entre espesor de suelo blando y subsistencia observada.	59
Figura 25. Delimitación de la zona de estudio en Lorca	62
Figura 26. Trayectorias del vuelo para la adquisición de datos LiDAR.....	63
Figura 27. Trayectorias del vuelo para la adquisición de datos LiDAR.....	63
Figura 28. Imagen de intensidades de los datos LiDAR del PNOA	64
Figura 29. Líneas de vuelo de los datos del PNOA.....	66
Figura 30. MDT del PNOA antes del ajuste de pasadas	67
Figura 31. Imagen de pendientes y máscara derivada.....	67
Figura 32. Diferencia de cota entre los MDT para un mismo trazado.....	68

Figura 33. Diferencia entre los dos modelos ajustados.....	69
Figura 34. Zona afectada y velocidad de subsidencia de la zona central.....	71
Figura 35. Velocidades de subsidencia en tres periodos diferenciados.	72
Figura 36. Reseña oficial del vértice JERESA de la Red REGENTE.	75
Figura 37. Reseña oficial del vértice VELILLA (ROI).....	79
Figura 38. Líneas REDNAP y zona de subsidencia.....	81
Figura 39. Situación de las estaciones permanentes.....	83
Figura 40. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LOR2	84
Figura 41. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LORC	84
Figura 42. Estaciones permanentes GNSS	95
Figura 43. Puntos REDNAP observados en 2013.	98
Figura 44. Observaciones ortométricas y elipsoidales de la REDNAP en 2017	99
Figura 45. Redes geodésicas activas	101
Figura 46. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación.	102
Figura 47. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LORC. ...	103
Figura 48. Características de la estación LORC.	103
Figura 49. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LRCA. ...	104
Figura 50. Características de la estación LRCA	104
Figura 51. Nube de puntos InSAR correspondiente al satélite ALOS.	105
Figura 52. Modelo digital de velocidad de subsidencia entre 2007 y 2010	106
Figura 53. Nube de puntos INSAR correspondiente al satélite CSK.....	107
Figura 54. Comparativa de subsidencia entre la estación LORC y CSK	108
Figura 55. Ejemplo de reseña de señal de nivelación de la REDNAP	109
Figura 56. Fotografía del nivel SPRINTER 100 utilizado	110
Figura 57. Fotografía de una observación mediante nivelación geométrica	110
Figura 58. Nivelación geométrica sobre puntos REDNAP observados en 2017...111	
Figura 59. Velocidad de subsidencia de los puntos REDNAP observados	114
Figura 60. Observaciones elipsoidales de puntos REDNAP en 2013.....	116
Figura 61. Velocidades de subsidencia entre la fecha de referencia y 2013.	120
Figura 62. GPS LEICA 1200 con antena ATX1230GG	121
Figura 63. Velocidades de subsidencia entre 2013 y 2017	124
Figura 64. Velocidad de subsidencia en el período 2007-2010.....	129
Figura 65. Subsidencia acumulada en el período 2007-2010.....	130
Figura 66. Subsidencia acumulada en el período 2007-2010.....	130
Figura 67. Velocidad de subsidencia con nivelación de precisión en 2017.....	131
Figura 68. Comparativa de subsidencia LORC y datos radar CSK.....	133
Figura 69. Mapa de velocidad de subsidencia en los períodos estudiados	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los métodos topográficos convencionales.....	31
Tabla 2. Características de los métodos geodésicos	31
Tabla 3. Características de los métodos fotogramétricos.....	33
Tabla 4. Características de los métodos de teledetección.	34
Tabla 5. Error promedio y estándar en el modelo de geoide EGM08-REDNAP. ...	40
Tabla 6. Información de los datos espaciales.....	44
Tabla 7. Sondeos en la zona de estudio.....	55
Tabla 8. Características del vuelo LiDAR.	61
Tabla 9. Coordenadas Red REGENTE 98.....	73
Tabla 10. Coordenadas Red REGENTE 2008.....	73
Tabla 11. Diferencia de coordenadas de dos vértices pertenecientes a la red REGENTE en 1998 y 2008	73
Tabla 12. Datos de los vértices MANI y JERESA	74
Tabla 13. Diferencia coordenadas de Velilla y Capitán	80
Tabla 14. Fechas de análisis del satélite ALOS.....	93
Tabla 15. Fechas de observaciones con instrumental GNSS	97
Tabla 16. Fechas de observación de cotas elipsoidales.	99
Tabla 17. Fechas de observación de cotas ortométricas.....	100
Tabla 18. Subsistencia mediante nivelación geométrica.	112
Tabla 19. Velocidad de subsistencia mediante nivelación geométrica.....	113
Tabla 20. Fechas de las distintas campañas de observaciones elipsoidales con instrumental GNSS.	116
Tabla 21. Errores promedio y estándar en diferentes líneas observadas	117
Tabla 22. Cotas ortométricas observadas y cálculo de subsistencia en 2013.....	119
Tabla 23. Subsistencia calculada mediante observaciones con instrumental GNSS entre las fechas de referencia y 2013.....	120
Tabla 24. Observaciones elipsoidales sobre puntos REDNAP en 2017.	122
Tabla 25. Subsistencia calculada mediante observaciones con instrumental GNSS entre 2013 y 2017.	123
Tabla 26. Cálculo del modelo de geoide (N) según observaciones del 2017.....	126

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. DOCUMENTACIÓN REFERENTE A LAS ESTACIONES PERMANENTES GNSS.....	149
ANEXO 2. FICHAS DE LAS RESEÑAS REDNAP	151

I - INTRODUCCIÓN

I - INTRODUCCIÓN

El crecimiento exponencial de la población a nivel mundial ha propiciado un considerable aumento de las actividades agrícolas, ganaderas e industriales, así como el crecimiento de las áreas urbanas, que poco a poco han ido ocupando zonas destinadas a dichas actividades.

Estos factores han generado un aumento en la demanda básica de agua, tanto a nivel de población, como a nivel agrícola e industrial. Tradicionalmente este recurso provenía de fuentes de agua superficiales naturales (lagos, ríos, etc.) y artificiales (embalses, balsas, etc.), pero cuando estos recursos escaseaban, se recurrió, a otro tipo de fuentes de agua, como son los acuíferos subterráneos, mediante la perforación de pozos para la extracción del agua del subsuelo.

El agua subterránea representa un volumen mucho más importante que el agua retenida en lagos o circulante, y de ésta se abastece una tercera parte de la población mundial.

Los valles formados en cuencas con materiales granulares, normalmente, aluviales y lacustres, que se han ido asentados a lo largos de millones de años, propician circunstancias idóneas para la formación de acuíferos subterráneos susceptibles de ser explotados.

Cuando existe una explotación masiva de un acuífero, la cantidad de agua que se extrae suele ser mayor que la recarga del mismo por infiltración, produciéndose una sobreexplotación. Esta sobreexplotación genera hundimientos y asentamientos graduales debidos a la consolidación de los suelos blandos que lo componen.

La subsidencia es un fenómeno que se manifiesta mediante deformaciones de la superficie terrestre y que se caracteriza por ocasionar movimientos de componente principalmente vertical. Las deformaciones asociadas a los fenómenos de subsidencia pueden variar entre unos pocos milímetros y varios metros. Asimismo, los períodos de duración de los procesos de consolidación pueden prolongarse desde minutos a años. Según Prokopovich, (1979) la subsidencia puede clasificarse como de tipo endógena y de tipo exógena. La

subsistencia endógena está asociada a procesos geodinámicos internos (fallas, pliegues, vulcanismo y ajustes isostáticos). Por otro lado, la subsidencia exógena hace referencia a los procesos de hundimiento causados por cambios tensionales en el terreno por causas natural o antrópica (e.g. minería, perforación de túneles, extracción de fluidos como agua, petróleo o gas, descenso de nivel freático y procesos de consolidación de suelos blandos u orgánicos). Los fenómenos de subsidencia ocasionan anualmente cuantiosos daños económicos y sociales, sobre todo en zonas urbanas ampliamente pobladas. Tradicionalmente, las técnicas empleadas para la monitorización de la subsidencia son la topografía (e.g. nivelación), técnicas geodésicas (e.g. GPS) e instrumentación geotécnica (e.g. extensómetros). Sin embargo, desde finales del siglo pasado, la interferometría SAR diferencial (DInSAR o InSAR) se ha convertido en un método complementario de monitorización, ya que tiene la capacidad de medir deformaciones del terreno en zonas extensas, con una frecuencia de revisita alta (i.e. entre 11 y 35 días) y a bajo coste (Tomás et al., 2013). Las técnicas DInSAR son técnicas que emplean las imágenes obtenidas en la misma zona mediante un Radar de Apertura Sintética (SAR) en instantes diferentes para calcular un interferograma diferencial que permite detectar las deformaciones del terreno en los tiempos en los que se dispone de adquisiciones. Actualmente, los métodos de procesado se basan en algoritmos avanzados (Interferometría Diferencial Avanzada, A-DInSAR) (Arnaud et al. 2003; Berardino et al. 2002; Ferretti et al. 2001; Mora et al. 2003; Prati et al. 2010) que utilizan un gran número de imágenes SAR (> 20 imágenes), lo que permite mejorar la estimación de la deformación y obtener una evolución temporal de la subsidencia.

Este trabajo se centra en el Sureste de la Península Ibérica, en la conocida como Cuenca del Guadalentín, en la que, desde los años 60, existe una intensa sobreexplotación del acuífero (Cerón y Pulido-Bosch, 1996) que ha originado asientos del terreno superiores a 1 metro (González y Fernández, 2011). En consecuencia, resulta necesario estudiar la subsidencia que se da en el ámbito del acuífero del Guadalentín con el fin de determinar los factores condicionantes y desencadenantes de la subsidencia, así como sus posibles interrelaciones y elaborar modelos hidrológicos y geotécnicos que expliquen los mecanismos que controlan los procesos geológicos que deben presumirse relacionados con la explotación sostenible del mismo.

La subsidencia que en los últimos años afecta al acuífero de la cuenca Guadalentín-Segura, localmente cuantificada en estaciones GNSS (Global Navigation Satellite System) activas, ubicadas en torno a la ciudad de Lorca, requiere, por la magnitud de la misma, analizar su origen y evaluar las posibles manifestaciones que pudiera producir este fenómeno en edificaciones, estructuras e infraestructuras de ingeniería civil (autovías, ferrocarril, canal del trasvase, etc.) que transcurren, o transcurrirán, por dicha cuenca. En consecuencia, para el estudio de la evaluación de la subsidencia y el posterior análisis de su relación con otros factores, en la tesis propuesta se procesará la zona de interés (valle del Guadalentín) mediante diferentes sensores radar (e.g. ALOS y CosmoSkyMed) utilizando técnicas InSAR. Los datos obtenidos serán validados con medidas in situ procedentes de las diferentes campañas con instrumental GNSS realizadas en la zona de estudio y de las estaciones permanentes GNSS y posteriormente analizados espacio-temporalmente y comparados con información geológica, geotécnica e hidrogeológica con la ayuda de Sistemas de Información Geográfica. Los resultados obtenidos proporcionarán una visión global de la evolución espacio-temporal de la subsidencia y un mejor entendimiento de las causas que la generan.

II – ESTADO DEL ARTE

II – ESTADO DEL ARTE

2.1. MODELADO ANALÍTICO Y NUMÉRICO DE SUBSIDENCIA

El proceso de la subsidencia se puede explicar mediante varios modelos derivados de tres trabajos básicos:

1. La teoría de la consolidación unidimensional de Terzaghi (1956). Se retoma el concepto de esfuerzo efectivos que formuló Boussinesq en 1876, del cual se parte para el cálculo de hundimientos.
2. La teoría de consolidación unidimensional, la cual se adaptó, para la resolución de problemas de hundimiento debido a la extracción de agua en acuíferos subterráneos por varios autores como, Helm (1975, 1976); Trescott (1975); Meyer y Carr (1979); Rivera y Ledoux (1991); Shimizu (1998).
3. Modelo del drenaje del acuitardo. Modelo que estima los hundimientos del terreno en base al descenso de los niveles piezométricos por Poland en 1984. Se trata de una aplicación de los esfuerzos efectivos debido a la despresurización provocado por la disminución del nivel piezométrico ocasionando que el volumen de vacío de los estratos granulares finos (a los que llamó acuitardos), aún sin consolidar, disminuya.

2.2. TÉCNICAS DE MEDICIÓN DE SUBSIDENCIA

Los métodos de detección de subsidencia tienen por fin, determinar el área afectada por este fenómeno, las velocidades y aceleraciones de subsidencia y las causas que provocan este fenómeno, así como la evaluación de las medidas preventivas y correctivas que se hayan adoptado.

La Ingeniería Cartográfica, como rama de la ingeniería, juega un papel fundamental en este campo.

Las observaciones de los desplazamientos verticales se efectúan sobre testigos, principalmente de hormigón. Es importante colocarlos a una determinada profundidad con el fin de que el desplazamiento del mismo sea acorde con el de la zona y que no sea provocado por movimientos parciales provocados por cambios en la capa superficial debido a la desecación del suelo, acciones de las raíces de los árboles o cualquier otro tipo de actividad ya sea natural o antropogénica.

Los diferentes métodos de observación de la deformación del suelo pueden usarse para detectar desplazamientos relativos entre dos objetos o su desplazamiento absoluto, así como desplazamientos en una dirección determinada o desplazamientos en profundidad. La ingeniería considera cuatro métodos para la medición de deformaciones terrestres: los métodos topográficos convencionales, geodésicos, fotogramétricos y teledetección. Existe un método, denominado instrumental, no correspondiente a la Ingeniería Cartográfica

2.2.1. Métodos topográficos convencionales

Los métodos topográficos terrestre hacen referencia a las técnicas clásicas de la cartografía terrestre, que hasta hace poco, constituían las únicas técnicas válidas y precisas para determinar deformaciones en el terreno sin llegar a cometer grandes errores.

Mediante la observación en diferentes instantes de puntos de control, se puede determinar la variación de las coordenadas (X,Y,Z) detectando así si ha habido variación en cualquiera de las tres direcciones, puesto que se conoce previamente las coordenadas de estos puntos.

Para la observación de dichos puntos de control es imprescindible realizarlos desde bases topográficos (coordenadas conocidas), cerciorándonos que permanecen fijas durante el intervalo de observación.

En la tabla 1 se refleja los métodos topográficos clásicos con sus respectivas precisiones.

Método	Uso	Resultados	Rango	Precisión
Nivelación trigonométrica o por pendientes	Variación de la altitud	dZ	Variable	20 mm
Nivelación geométrica o por alturas	Variación de la altitud	dZ	Variable	±1 mm/Km
Nivelación geométrica de precisión	Variación de la altitud	dZ	Variable	±0.1 mm/Km
Triangulación topográfica	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	< 300-1000 m	5-10 mm
Itinerario topográfico (Poligonal)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	Variable	5-10 mm
Distanciómetro electroóptico (MED)	Desplazamiento de blancos móviles	dD	1-10 Km	7 mm±1-5 ppm

Tabla 1. Características de los métodos topográficos convencionales (Fuente: Tomas et al., 2003).

2.2.2. Métodos geodésicos

Los métodos geodésicos permiten determinar las coordenadas referidas a cualquier sistema de proyección, como puede ser la superficie terrestre, el geoide (altura sobre el nivel del mar) o el elipsoide, que en este caso supone establecer una superficie arbitraria para la determinación de los puntos geodésicos observados por las principales técnicas geodésicas de deformación terrestre como son los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), Telemetría de Laser por Scanner (SLR) o Determinación de Órbitas y Radioposicionamiento Integrado por Satélite (DORIS).

Método	Uso	Resultados	Rango	Precisión
Convencional Global Positioning System (CGPS)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ		1-2 mm
Differential Global Positioning System (DGPS)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	Baseline < 20 Km	1 mm
Determination d'Orbites et Radio-Positionnement Intégrés par Satellite (DORIS)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	Variable	2 mm
Telemetría de láser por satélite (SRL)	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	Variable	<1 cm

Tabla 2. Características de los métodos geodésicos (Fuente: Tomas et al., 2003).

2.2.3. Métodos fotogramétricos

La fotogrametría es una técnica consistente en la determinación de las propiedades geométricas (tres dimensiones) de un objeto a partir de fotogramas captados desde diferentes ángulos consiguiendo así una visión estereoscópica.

La fotogrametría terrestre, aérea y por satélite constituyen los tres métodos fotogramétricos existentes.

La fotogrametría terrestre es recomendable cuando se quieren estudiar fenómenos en áreas no muy extensas, estacionando el instrumental a distancias inferiores de 200 metros, obteniendo precisiones de hasta 40 mm.

En cambio, para analizar superficies más extensas, usaríamos un vuelo fotogramétrico, donde la cámara va instalada en una plataforma aérea, ya sea avión o helicóptero, a una altura inferior a 500 metros.

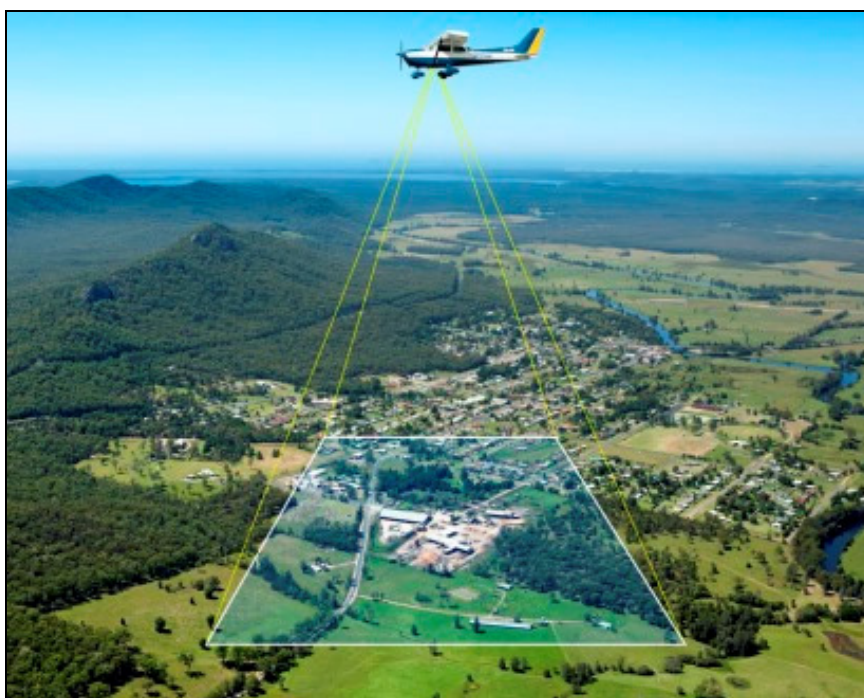


Figura 1. Obtención de fotogramas mediante vuelo aéreo (Fuente: ALLPE Medioambiente).

Si bien, la ventaja frente la fotogrametría terrestre es que se abarcan superficies mayores, la precisión obtenida es mucho menor, llegando a los 100 mm. Mediante el procesado de los fotogramas, puede determinarse Modelos

Digitales del Terreno (MDT), que, mediante la comparación en diferentes intervalos de tiempo, pueden detectarse modificaciones en la superficie terrestre, obteniendo una visión global de la misma, al contrario que otros sistemas locales de control de deformación.

Los principios de la fotogrametría satélite son los mismos que la aérea, con la salvedad que en este caso la plataforma es espacial en lugar de aérea. Las precisiones que se obtenían eran bajas, si bien, las nuevas generaciones de satélites a día de hoy en el mercado son capaces de adquirir dos imágenes en una misma órbita, ha propiciado que la fotogrametría de satélite compita con la fotogrametría aérea, permitiendo realizar o la correlación automática de los pares o la fotointerpretación manual.

Método	Uso	Resultados	Rango	Precisión
Fotogrametría terrestre	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	<200 m	±40 mm
Fotogrametría aérea	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ	H _{vuelo} < 500 m	±100 mm
Fotogrametría satélite	Desplazamiento de blancos móviles	dX, dY, dZ		±15 m

Tabla 3. Características de los métodos fotogramétricos (Fuente: Tomás et al.,2003).

2.2.4. Métodos de teledetección

La teledetección, traducción castellana del término “remote sensing”, es un modo de obtener información remota sin que los instrumentos de adquisición de datos y el objeto estén en contacto directo.

Existe una división tradicional de estos métodos en dos grupos:

- Métodos láser: sobre plataforma terrestre, como es el Scanner Láser o sobre plataforma aérea, como LiDAR, ALS o ALTM.
- Métodos radar: en función de la plataforma empleada para la adquisición de imágenes SAR, se dividen en:
 - Terrestre: GB-SAR (Ground Based Synthetic Aperture Radar)
 - Aerotransportado: Airborne Radar.
 - Satélite: Spaceborne Radar.

A su vez, en base al algoritmo de procesado, las técnicas interferométricas pueden dividirse en:

- Técnicas de Interferometría SAR diferencial convencionales (conventional DInSAR).

- Técnicas de Interferometría avanzadas: Dispersores Permanentes o Pixels Estables Coherentes.

Método	Uso	Resultados	Rango	Precisión
Interferometría diferencial SAR convencional (DInSAR)	Desplazamientos en la Línea de Vista (Line of Sight)	dX, dY, dZ	Baseline < 200 m Coherencia > 0.3 en varios puntos adyacentes	3-5 mm
Permanent Scatterers (PS)	Desplazamientos en la Línea de Vista (Line of Sight)	dX, dY, dZ	Coherencia > 0.7 en un solo punto Nº de imágenes > 30	1 mm
Stable Coherent Pixels (SCP)	Desplazamientos en la Línea de Vista (Line of Sight)	dX, dY, dZ	Coherencia > 0.4 en un solo punto	1 mm
Ground Based Synthetic Aperture Radar (GB-SAR)	Desplazamientos en la Línea de Vista (Line of Sight)	dX, dY, dZ	< 1.5 Km	< 1 mm
Terrestrial Laser Scanner (TLS) o Ground-based Laser Scanner (GB-LS)	Superposición de MDT	dX, dY, dZ	< 400 m	± 1.5 mm (hasta 50 m, para distancias superiores menor precisión)
Airborne Laser Scanner (ALS), Light Detection and Ranging (LIDAR) o Airborne Laser Terrain Mapper (ALTM)	Superposición de MDT	dX, dY, dZ	200 < H _{vuelo} < 6000 m Distancia base < 50 Km	150-200 mm

Tabla 4. Características de los métodos de teledetección (Fuente: Tomás et al., 2003).

El uso de un método u otro a la hora de analizar las deformaciones producidas por subsidencia dependerá de numerosos factores como la naturaleza y geometría del fenómeno a estudiar, el acceso a los datos y el procesado de los estos, tiempo y coste de adquisición, frecuencia deseada, precisión, resolución, etc.

Todos estos factores deben ser tenidos en cuenta a la hora de elegir un método en función de las necesidades que se requieran.

2.3. SUBSIDENCIA EN LA CUENCA DEL GUADALENTÍN

Las condiciones climáticas del área de estudio son semiáridas, las precipitaciones se encuentran en un rango de 180-407 mm/año y la temperatura media es de 12-18°C (CHS, 1998), Lorca es una de las zonas más secas de Europa (Vicente et al, 2003).

Desde la década de los 60s-70s la explotación del acuífero del Guadalentín se incrementó considerablemente declarándose sobreexplotado en 1989. Las principales causas fueron el aumento de la explotación recursos hídricos fruto de desarrollo agrícola en dicha zona y al aumento de la población entre 1990 y 2010.

Se estima que la explotación del acuífero en 1973 era de 24 hm³/año, en 1987 de 69 hm³/año (Cerón and Pulido-Bosch, 1996) y hasta alcanzar los 86 hm³/año en 2006 (CHS, 2006).

Cerón et al. (1996) elaboraron un mapa de disminución del nivel de agua en el acuífero del Alto Guadalentín estudiando 3 períodos, (1975-1984, 1984-1989, 1989-1992) desde 1975 a 1992. Analizando las isopiezas comprobamos la evolución de los niveles del acuífero.

Resaltar el período 1989-1992, en el cual se produce una reducción en la bajada de los niveles piezométricos debido al abandono de muchos pozos como resultado de la mala calidad del agua (Cerón et al., 1996)

El resultado de esta variación certifica un continuo descenso del nivel piezométrico a lo largo del tiempo, que dirige a una variable espacial de descenso entre 0,5 y 10 cm/año. Desde 1990 hasta 1995 se producen importantes sequías en la zona estudiada y más recientemente entre 1999-2000 y 2005-2007. La consecuencia directa de este fenómeno es el descenso de las recargas naturales y el aumento de la explotación del acuífero derivando en un serio déficit hídrico en los últimos años. El descenso de las reservas provoca un cambio en los materiales del acuífero, ya que una menor presión interna provoca una mayor compactación. Esta pérdida es la responsable de la subsidencia de la superficie terrestre.

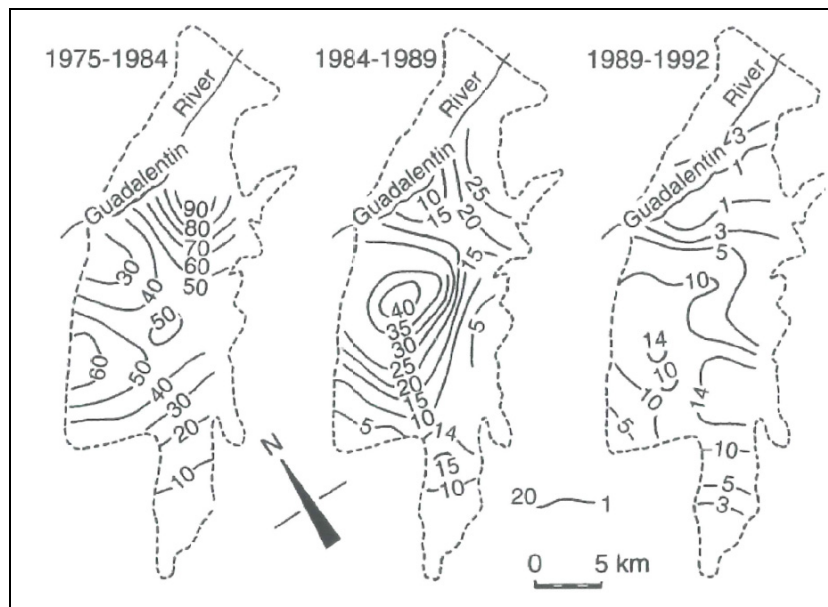


Figura 2. Mapa de descensos piezométricos en metros en los períodos estudiados (Fuente: Cerón et al. 1996).

Existe una relación entre los períodos de sequía y subsidencia como revela un estudio por González et al., tanto en el Alto como el Bajo Guadalentín, así como demuestra el análisis de otros autores usando ERS-1, ERS-2 y ENVISAT-ASAR entre los años 1992 y 2007.

Los resultados obtenidos por González et al. muestran los valores dispares de subsidencia entre la subcuenca "Guadalentín Alto" y la subcuenca "Guadalentín Bajo". Otro aspecto importante a destacar es el valor no constante de la subsidencia en el período examinado, es decir, existe una aceleración progresiva de este valor, provocada por los movimientos terrestres influenciados por el período de sequía entre 1992 y 1995.

Este período de sequía ha sido correlacionada por varios autores con la compactación transitoria no lineal del terreno, observando el cambio producido en el índice de deformación del terreno al final del período de sequía (1995-1996).

2.4. EL MODELO DE GEOIDE

Actualmente, con un sistema global de navegación por satélite (su acrónimo en inglés, GNSS) es fácil obtener coordenadas con precisión suficiente para todo tipo de aplicaciones geodésicas y topográficas incluso trabajando a distancias relativamente grandes. La Red Geodésica Nacional de Estaciones de Referencia GNSS (ERGNSS) y la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE), proporcionan un marco homogéneo y preciso para la geodesia nacional en el nuevo sistema European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89). Asimismo, la mayor parte de las Comunidades Autónomas han desplegado redes de estaciones permanentes GNSS en su territorio con coordenadas en un sistema de referencia absolutamente compatible con los marcos de las redes nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con la suficiente densidad de estaciones como para poder ofrecer a los usuarios correcciones diferenciales de fase, de tal forma que estos pueden obtener precisiones de unos pocos centímetros en tiempo real. Según el Real Decreto 1071/2007 para el cambio de sistema geodésico de referencia en España, ETRS89 y REGCAN95 son los nuevos marcos en los que se debe compilar toda la información geodésica, topográfica y cartográfica. Asimismo, en el Artículo 4, se establece que "El Sistema de Referencia Altimétrico tomará como referencia el nivel medio del mar Mediterráneo en Alicante para la península y las respectivas referencias mareográficas locales para el resto de los

territorios. En todos los casos, el sistema altimétrico queda materializado por la nueva Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) con altitudes ortométricas Helmert (H)".

Tanto la red de estaciones permanentes ERGNSS como REGENTE tienen altitudes elipsoidales (h) sobre ETRS89 bien determinadas y por tanto el usuario también puede calcular altitudes sobre el elipsoide con sistemas GNSS. Sin embargo, el problema surge a la hora de transformar estas altitudes elipsoidales (h) en altitudes ortométricas (H), que, obviamente, tienen una aplicación más práctica en topografía y cartografía.

La relación entre la altura elipsoidal (h) y la altura ortométrica (H) es la denominada ondulación del geoida (N), o separación entre geoida y elipsoide en un punto tomada sobre la normal al geoida.

A partir de la figura 3 se puede aproximar (las normales al geoida y al elipsoide no son coplanarias debido a la curvatura de la línea de la plomada respecto a la normal al elipsoide) y obtener la relación entre ambas altitudes:

$$N = h - H$$

En el caso de España, N es siempre positiva con respecto al elipsoide de referencia SGR80 usado en ETRS89, si bien en todo el globo adquiere valores positivos o negativos que en general no superan los 100 m.

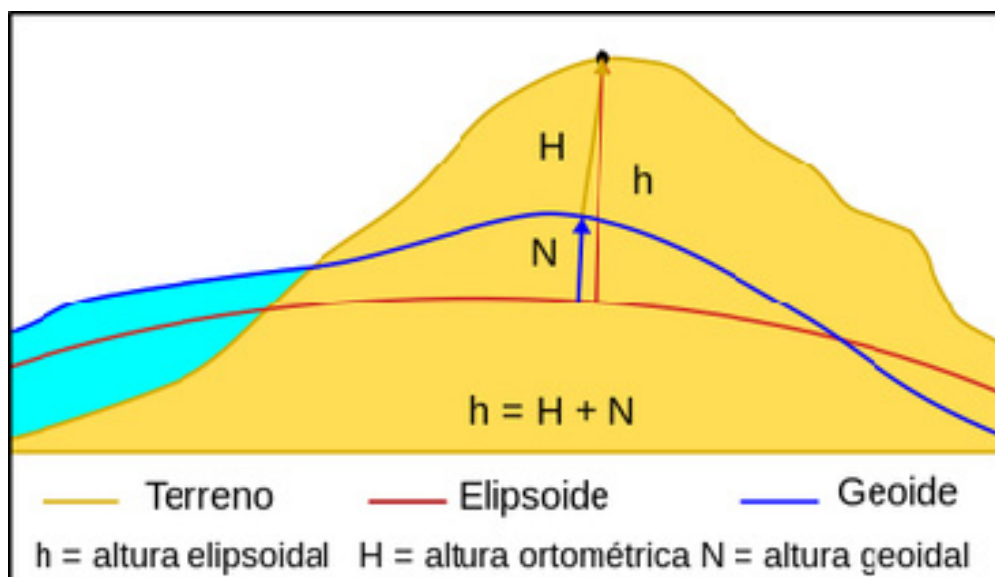


Figura 3. Determinación del modelo de geoida (Fuente: www.efemeridesastronomicas.org)

Cuando la distancia entre los puntos en la zona de trabajo es pequeña, se puede asumir que el incremento de altitud elipsoidal es semejante al incremento de altitud ortométrica y por tanto se podría considerar que las superficies del geoide y del elipsoide son casi paralelas, o lo que es lo mismo, existe la misma ondulación media del geoide en el área considerada.

Sin embargo, cuando se trabaja con GPS en zonas más extensas, esta hipótesis no es asumible en ningún caso y el conocimiento de la ondulación del geoide se hace imprescindible. Incluso trabajando en zonas pequeñas pueden existir diferencias de ondulación que hacen imposible para las precisiones exigidas el asumir una ondulación del geoide similar para todos los puntos. Por ejemplo, en el Valle del Guadalquivir se pueden dar diferencias de ondulación del orden de un metro en menos de 10 km de distancia. Incluso mayores gradientes pueden encontrarse en Canarias, sobre todo en las islas de mayor relieve. Por tanto, es imprescindible cuando se trabaja con GNSS disponer de un modelo de geoide con la suficiente precisión relativa para convertir incrementos de altitud elipsoidal en incrementos de altitud ortométrica, ya que la altimetría que se obtiene, por principio, es sólo la elipsoidal.

El Centro de Observaciones Geodésicas de la Subdirección General de Astronomía, Geodesia y Geofísica del IGN publicó a finales de 2009 el modelo de geoide EGM08-REDNAP. Para ello, adaptó el modelo gravimétrico mundial actual, Earth Gravitational Model 2008 (EGM08), al marco de referencia vertical dado por la Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP).

Además, se creó un modelo de superficie de corrección a la ondulación gravimétrica, usando las casi 14.000 señales REDNAP, determinando la diferencia entre, su altitud ortométrica mediante nivelación geométrica (H), y su altitud elipsoidal (h) mediante GPS.

Para la generación de modelo de superficie de corrección y adaptación del original EGM2008 gravimétrico se utilizó el algoritmo curvatura (figura 4).

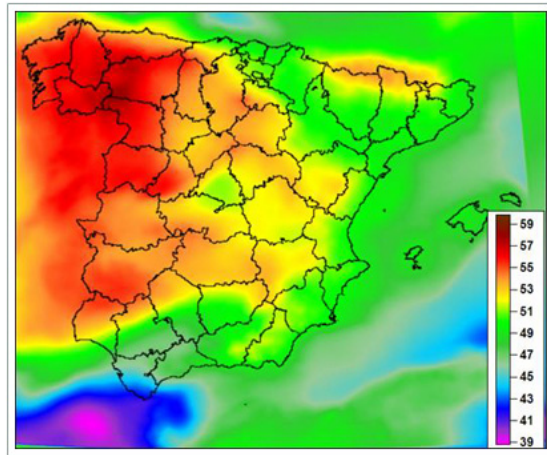


Figura 4. Modelo de geoida EGM08-REDNAP (Fuente: IGN).

Hay que recalcar que teniendo en cuenta que las superficies altimétricas de referencia que están construyendo el modelo final son REGENTE y REDNAP, es lógico que la precisión final del modelo con la superficie de corrección, dependa en cierto modo de la distancia del punto considerado a las líneas de nivelación más cercanas.

Por ello, el IGN realizó una revisión del modelo EGM08-REDNAP, la observación de 188 señales de la ampliación de REDNAP que no habían intervenido en la elaboración del modelo, llegando a valores de diferencia promedio (en valor absoluto) de 0,038 m entre el modelo y las observaciones efectuadas y una desviación estándar de 0,061 m. Los resultados de la comparación observación - modelo se reflejan en la tabla 5.

Línea REDNAP	Nº señales observadas	Diferencia promedio (m)	Desviación estándar (m)
813	12	0.031	0.038
822	17	0.017	0.021
823	18	0.052	0.030
824	16	0.028	0.036
825	18	0.027	0.033
827	19	0.052	0.059
829	23	0.059	0.031
830	16	0.026	0.034
831	19	0.050	0.032
832	14	0.050	0.061
833	16	0.035	0.045
Promedio	Total 188	0.038	0.038

Tabla 5. Error promedio y estándar en el modelo de geoide EGM08-REDNAP (Fuente: IGN).

El mayor error estándar se produce en la línea REDNAP 832, objeto de estudio de esta tesis, con un error de 6,1 mm.

III – INVESTIGACIONES PREVIAS

III – INVESTIGACIONES PREVIAS

A continuación, se detallan los estudios previos presentados por el autor de esta Tesis Doctoral en otros trabajos anteriores y en otras publicaciones que han servido de base para su elaboración. En estos trabajos se analizó la subsidencia del área de estudio en otros períodos, mediante técnicas InSAR, LiDAR y técnicas de control geodésico.

3.1. ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA MEDIANTE INSAR

El radar interferométrico de apertura sintética (InSAR), se usa en geodesia y en teledetección. Mediante la comparación de imágenes de dos o más radar se generan, usando diferencias en la fase de las ondas retornantes al satélite activo, modelos digitales de superficie y elevación, y modelos de deformación de superficie. Dependiendo de los satélites, se pueden detectar modificaciones en el terreno de días a años con precisión centimétrica. Dentro de las aplicaciones destaca el monitoreo geofísico de peligros naturales, como pueden ser, deslizamientos de tierra, terremotos, volcanes, así como la subsidencia y estabilidad estructural.

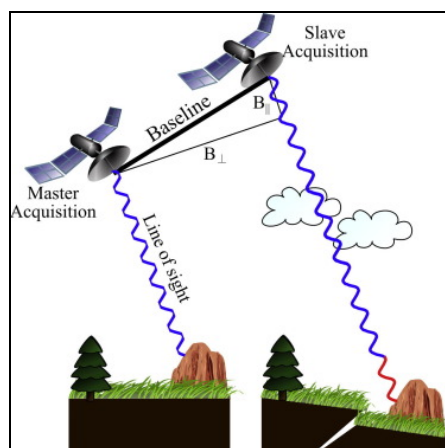


Figura 5. Detección de deformaciones en el terreno mediante InSAR (Fuente: *Time series analysis of INSAR data: Methods and trends*).

Análisis de datos del satélite ENVISAT

El satélite ENVISAT (Environmental Satellite) es un satélite de observación terrestre construido. Fue lanzado por la Agencia espacial Europea (ESA) el 1 de marzo de 2002 describiendo una órbita polar síncrona con el sol a una altura de 790 km. Su período de órbita es de 101 minutos, con un período de repetición de ciclos cada 35 días. Estuvo operativo diez años hasta que se perdieron las comunicaciones en abril de 2012.

El ENVISAT dispone de nueve instrumentos para la captación de información sobre la superficie de la tierra, los océanos y la atmósfera.

Una vez procesado los datos obtenidos, estos se han proyectado a lo largo de la línea de visión supuesta vertical, ya que el área de estudio se encuentra en el valle plano de la cuenca del Guadalentín y los desplazamientos horizontales no son significativos.

El análisis espacial realizado mediante ArcGIS, basado en el mapa de velocidad de deformación revela que el área de subsidencia tiene una forma alargada con dirección SW-NE, paralela a la dirección de valle. Las áreas de subsidencia con un valor mayor de 5 cm/año, presentan una longitud máxima en torno a los 13 km y una longitud mínima de 4 km. La dispersión total de puntos (PS) es de 8438 con un valor máximo de -14,28 cm/año evaluado en el período 2003-2010. A continuación, se representan información complementaria de dicha dispersión, extensión total del área y la densidad media de la dispersión resumida en la siguiente tabla:

Satellite	Period	PSI area de estudio			Lorca metropolitan area		
		km ²	N°.PS	PS/km ²	km ²	N°.PS	PS/km ²
ENVISAT	2003	277	8438	30	6,7	1097	163,7
	2010						

Tabla 6. Información de los datos del satélite ENVISAT en la zona de estudio (Fuente: <http://www.infoterra.es>).

A continuación (Figura 6) se muestra un resumen de la distribución espacial de los puntos y sus velocidades medias de deformación (cm/año) al área del estudio referido.

Teniendo en cuenta la distribución espacial de los datos, las velocidades anuales en el rango de ± 2 cm/año se consideran estables y están representadas en color verde.

Los valores en amarillo y rojo representan movimientos detectados por el sensor y son considerados como zonas inestables, en las cuales se produce subsidencia.

Analizando estadísticamente los valores detectados por el radar en la zona de influencia la velocidad media del área completa es de $-1,18 \pm 3,4$ cm/año.

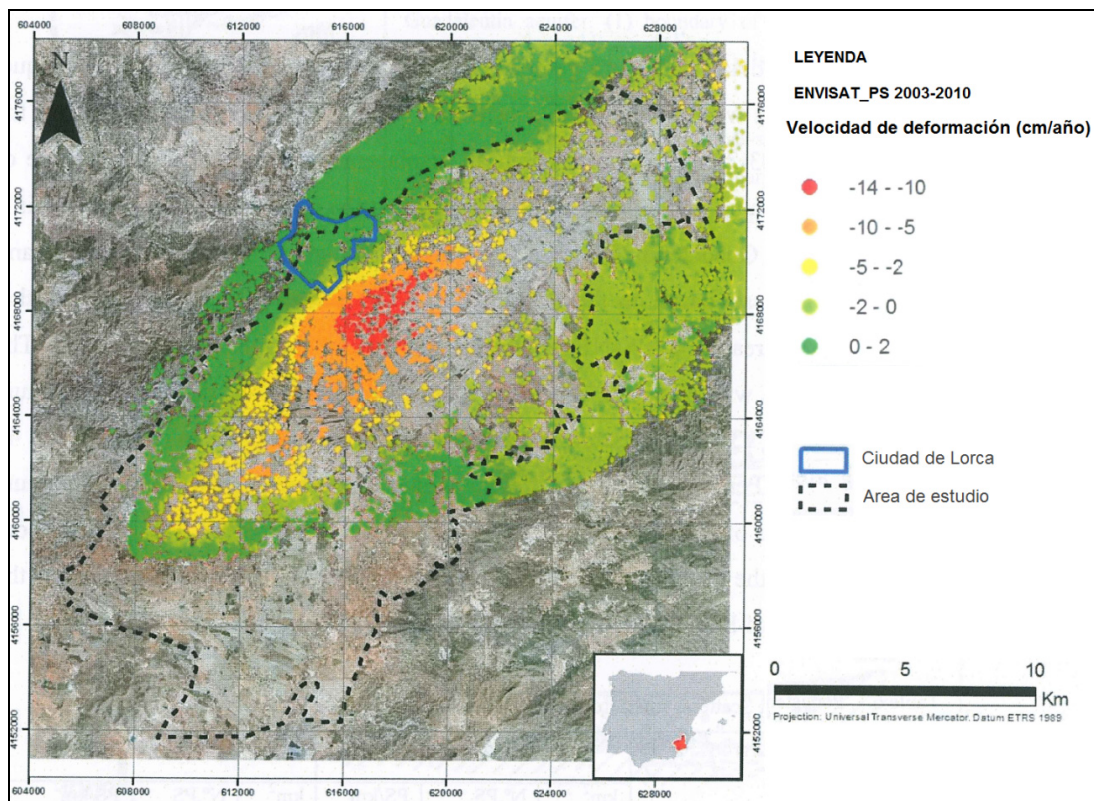


Figura 6. Distribución espacial de la velocidad de deformación en el área de Lorca (Fuente: Elaboración propia).

Validación de resultados ENVISAT

Desde la década de los 90s el fenómeno de subsidencia en la Cuenca del Guadalentín ha estado presente acelerándose en relación con la sobre-explotación del acuífero como puede apreciarse en la siguiente figura 7.

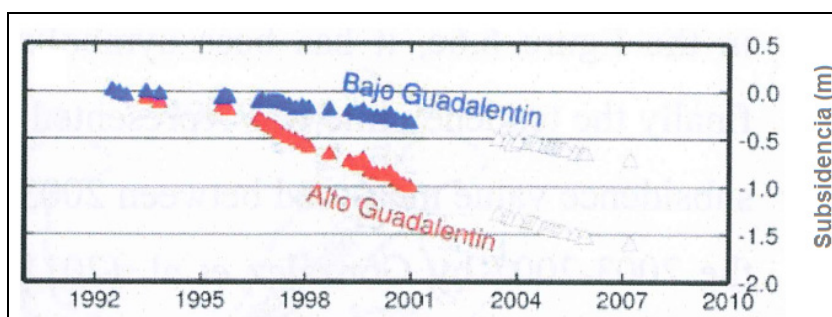


Figura 7. Subsidencia en la Cuenca del Guadalentín (Fuente: Gonzalez et al.2011).

La tendencia del valor de la subsidencia analizada por González et al. (2011), se ha comparado con la tendencia entre 2003 y 2010, superponiendo los datos radar disponibles sobre la cuenca georreferenciada y se han representado espacialmente en un perfil longitudinal definido por la sección A-A' (figura 4) para compararlos con los datos de otros autores.

Se disponen de datos de subsidencia entre 1992 y 2001 que a continuación se muestran en dos gráficas, una espacial (se han tomado 7 puntos concretos) y otra temporal respectivamente (figuras 8 y 9).

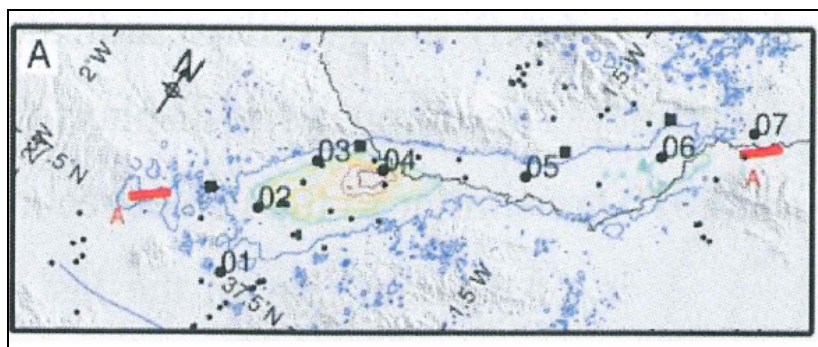


Figura 8. Distribución espacial de los puntos de control de subsidencia (Fuente: González et al.2011).

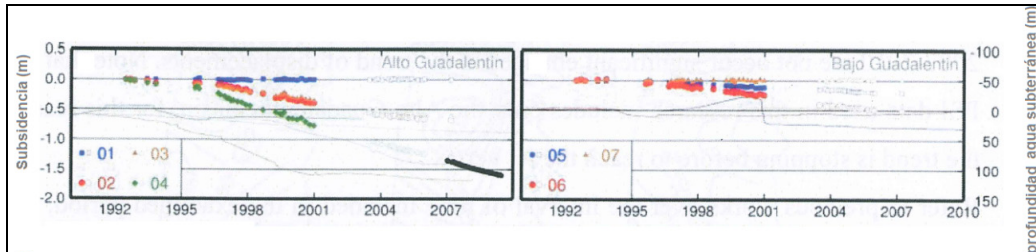


Figura 9. Distribución temporal de la subsidencia (Fuente: González et al.2011).

Para el perfil AA' (figura 10) se representan los valores medios en los períodos descritos.

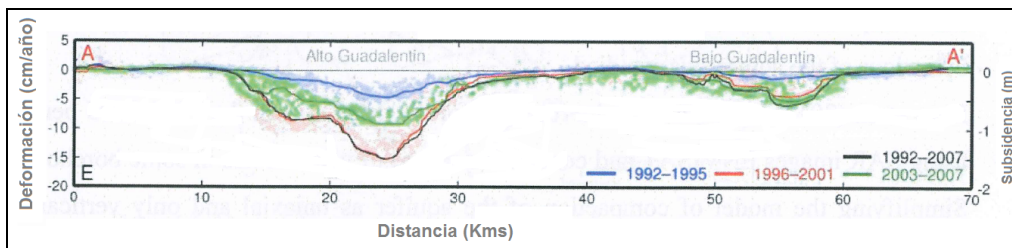


Figura 10. Distribución espacial de la subsidencia en el perfil AA' (Fuente: Gonzalez et al.2011).

En amarillo se representa los datos obtenidos mediante los datos radar ENVISAT para el período 2003-2010. Notar que dicha representación se trunca en el km 45 ya que únicamente se poseen datos de la subcuenca "Guadalupe Alto".

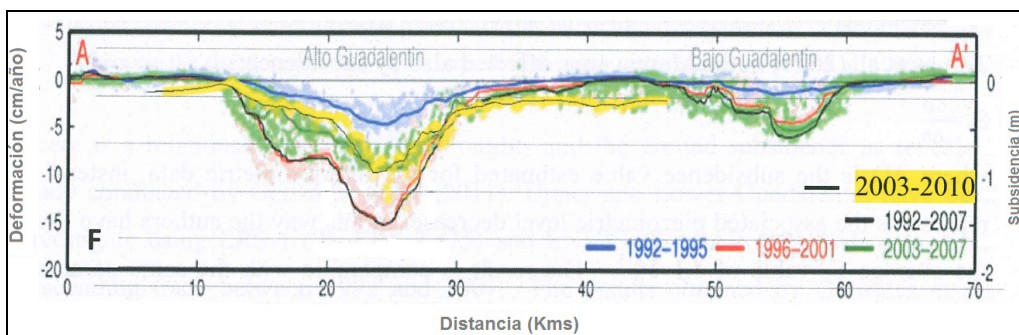


Figura 11. Distribución temporal de la subsidencia (Fuente: Gonzalez et al.2011).

Se puede apreciar que los datos de la distribución espacial del radar ENVISAT (2003-2010) representados en amarillo se ajustan a los calculados por otros autores para un período similar (2003-2007), representados en verde.

Rigo et al. (2013) llevaron a cabo una investigación en el mismo área de estudio en el período 2004-2005 mediante el uso de imágenes SAR ENVISAT y monitorización constante de niveles piezométricos de distintos pozos.

Simplificando el modelo de compactación del acuífero, como uniaxial en sentido vertical, calcularon el coeficiente de almacenamiento del acuífero por dichos autores de la misma forma que Tomas et al. (2010) en el área de Murcia, afectada igualmente por la subsidencia:

$$S_k = \frac{\Delta D}{\Delta h}$$

Donde ΔD es el valor de la subsidencia estimada por datos interferométricos frente a Δh que representa el descenso piezométrico. Los investigadores han calculado un valor medio $S_k = 4.1 \times 10^{-3}$.

El resultado obtenido es comparable al mismo valor calculado en el valle del río Segura (municipio de Murcia), por Tomás et al. (2010), lo que evidencia las mismas características geológicas y geotécnicas de ambos acuíferos. En ambas áreas el máximo desplazamiento vertical se produce en las zonas aluviales más recientes (Rigo et al. 2013). Una interpretación del comportamiento del acuífero se deriva de la comparación entre el valor del nivel piezométrico H y el mínimo valor del nivel piezométrico registrado (consolidación principal H_p).

Hoffmann et al., (2001) y Tomás et al., (2010) establecen la siguiente relación:

$$S_k = S_{ke} \text{ st } H > H_p$$

$$S_k = S_{kv} \text{ st } H < H_p$$

Donde S_{ke} es el coeficiente de almacenamiento elástico, en lugar del coeficiente inelástico S_{kv} .

Puesto que en el período 2004-2005, $H > H_p$ y teniendo en cuenta la relación anteriormente expuesta la subsidencia en el área de Lorca se ha interpretado como una respuesta inelástica y de deformación permanente debido al continuo descenso del nivel del agua subterránea.

Análisis espacial de los factores condicionantes de la subsidencia

La relación entre la gestión del agua subterránea y la subsidencia está influenciada por numerosos factores, entre ellos, geométricos, geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos.

Todos estos factores pueden tener un rol directo como desencadenante de la subsidencia (ej., nivel piezométrico) y otros tener simplemente un rol condicionante.

En los próximos subcapítulos se analiza espacial la relación de existente entre la subsidencia y los factores anteriormente descritos (geología, isóbatas del relleno plio-cuaternario y espesor de suelo blando).

Relación subsidencia- geología

La Cuenca del Alto Guadalentín está principalmente formada por sedimentos recientes del Holoceno. En la parte norte del río Guadalentín y a lo largo del borde de estos sedimentos, están presentes materiales más antiguos y menos deformables pertenecientes al Pleistoceno, Mioceno-Plioceno y Pérmico-Triásico.

Se ha realizado un análisis espacial para determinar si existe correlación entre la subsidencia con cada unidad geológica. La mayoría de los datos obtenidos por el radar (79,47%), pertenecen a la zona de sedimentos del Holoceno.

Todos estos puntos muestran una velocidad de deformación media de $-1,58 \pm 3,71$ cm/año en un área analizada de 236,41 km².

La litología más antigua localizada en los bordes de la cuenca (Permo-Triásico, Mioceno-Plioceno y Pleistoceno) muestran valores de subsidencia mucho menores, que oscilan, en un rango de -0,013 a -0,57 cm/año.

Por lo tanto, estos resultados demuestran que unidades litológicas más jóvenes compuestas de sedimentos sin consolidar son más vulnerables de ser afectadas por la subsidencia mientras que por el contrario materiales más antiguos se ven menos influenciados.

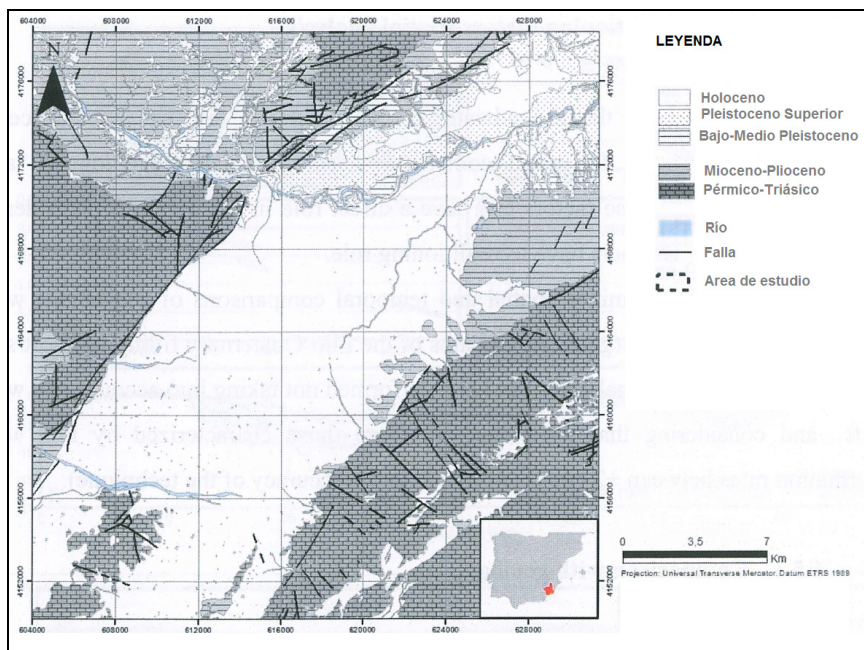


Figura 12. Geología del área estudiada (Fuente: IGME).

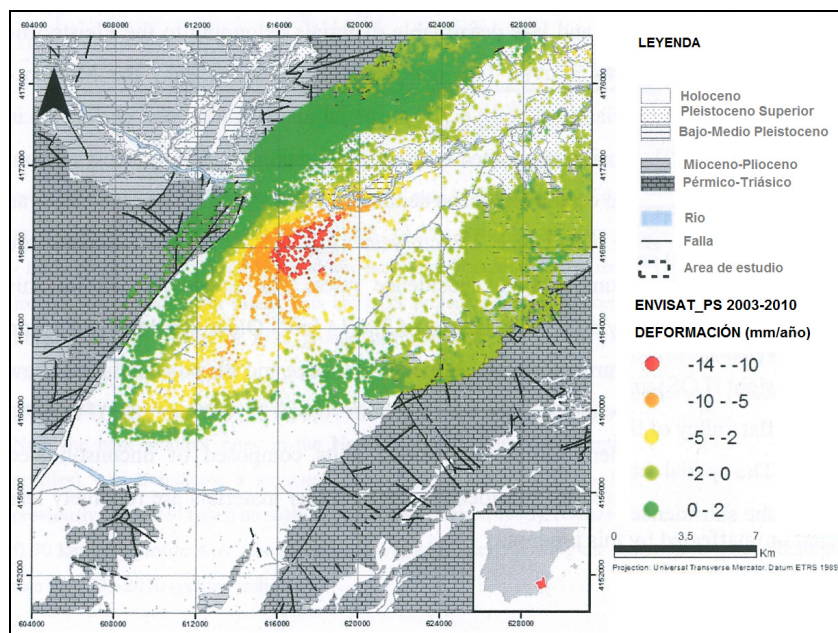
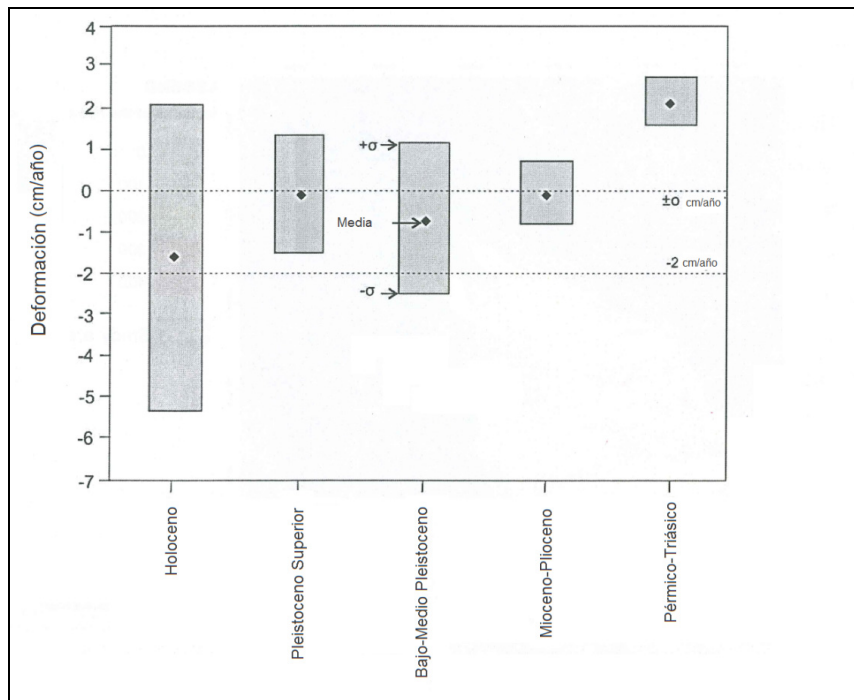
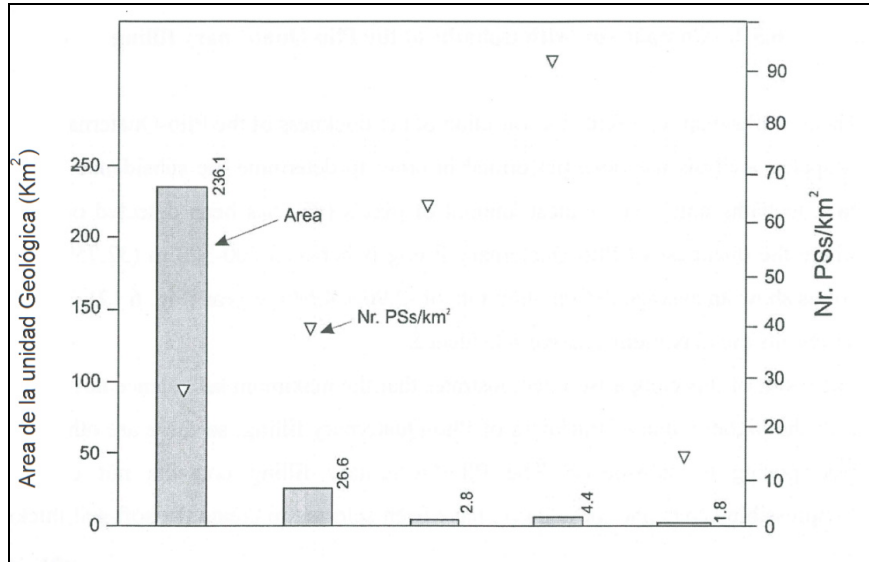


Figura 13. Mapa de deformaciones obtenidos con el radar ENVISAT sobre superficie geológica (Fuente: Elaboración Propia).



Figuras 14 y 15. Densidad de puntos y velocidades de deformación para cada unidad geológica (Fuente: Elaboración Propia).

Relación subsidencia- isóbatas del Plio-Cuaternario

El mapa de isóbatas (*f. Geogr. Curva para la representación cartográfica de los puntos de igual profundidad en océanos y mares, así como en grandes lagos*), muestra los espesores de las unidades Plio-Cuaternaria en la zona de estudio (figura 16). Mediante un análisis espacial se determina la relación entre subsidencia e isóbatas del Plio-Cuaternario.

El mayor porcentaje de datos radar se encuentra en la unidad de espesor de entre 200 y 300 (32,75%). Estos puntos muestran una deformación media de $-3,96 \pm 4,64$ cm/año, valor que representa la máxima subsidencia media.

De los resultados de esta relación se deduce que el máximo valor de subsidencia no coincide con el máximo valor de espesor del suelo del Plio-Cuaternario, por lo que existirán otros factores condicionantes de dicha subsidencia. Las unidades plio-cuaternarias contienen capas discontinuas compresibles, las cuales se han usado para crear el mapa de espesor de suelo blando.

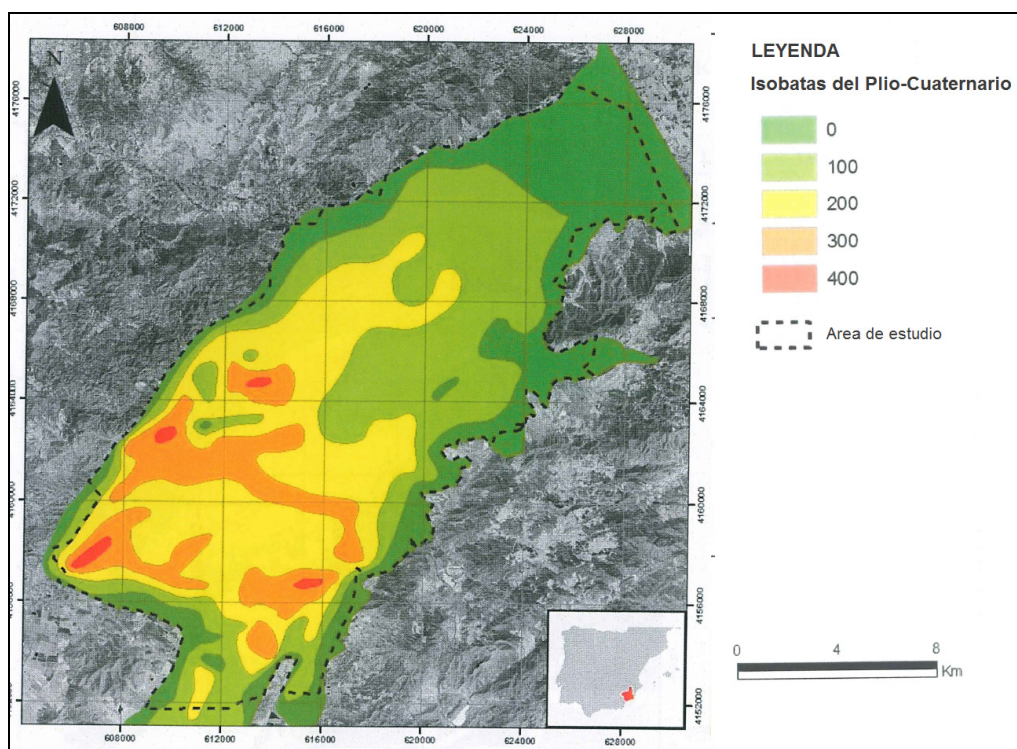


Figura 16. Mapa de isóbatas de la unidad Plio-Cuaternaria (Fuente: Elaboración Propia).

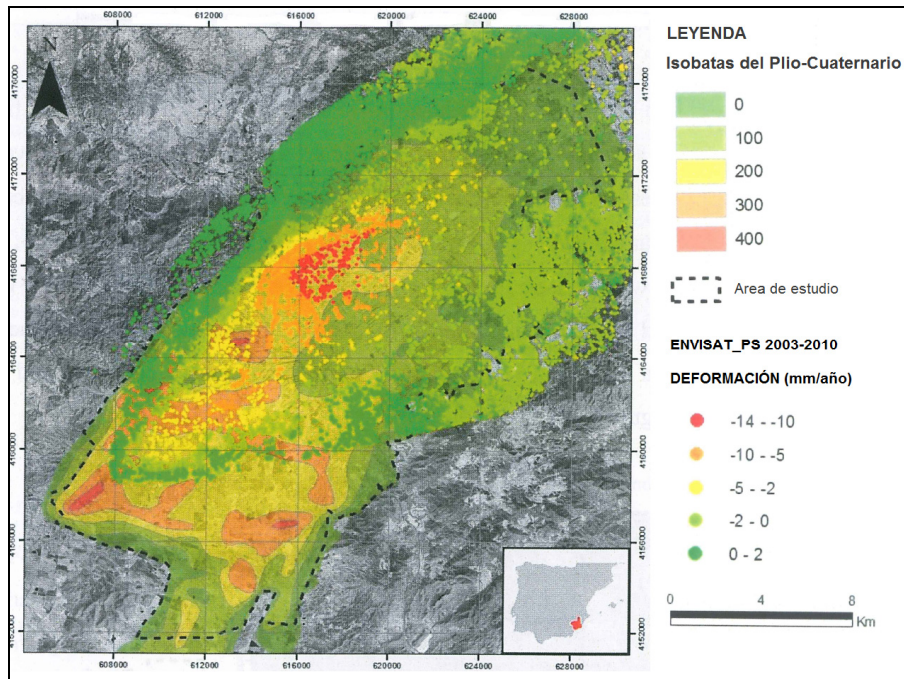


Figura 17. Mapa de isóbatas del Plio-Cuaternario y velocidad de deformación del radar ENVISAT (Fuente: Elaboración Propia).

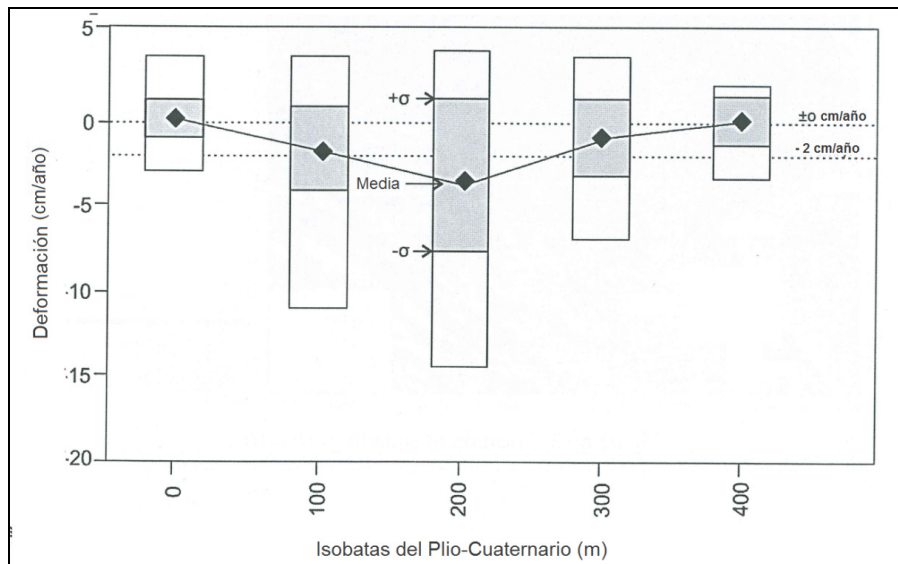


Figura 18. Velocidad de deformación de cada isobata del Plio-Cuaternario (Fuente: Elaboración Propia).

Relación Subsistencia-espesor de suelo blando

Como se ha comentado anteriormente la depresión del Alto Guadalentín contiene un alto porcentaje de suelo compuesto por sedimentos recientes. Con la información disponible de los diferentes sondeos, se tiene información que dichos sedimentos constituyen suelos blandos, responsables de la subsidencia, pero su exacta distribución y espesor son desconocidos en la mayoría de la cuenca.

A partir de los datos obtenidos de 4 pozos destinados a búsqueda de agua, 3 pozos para estudios geotécnicos y 16 piezómetros se ha determinado la distribución y espesor del terreno. Se han documentado un total de 23 sondeos como se refleja en la figura 19 y tabla 7

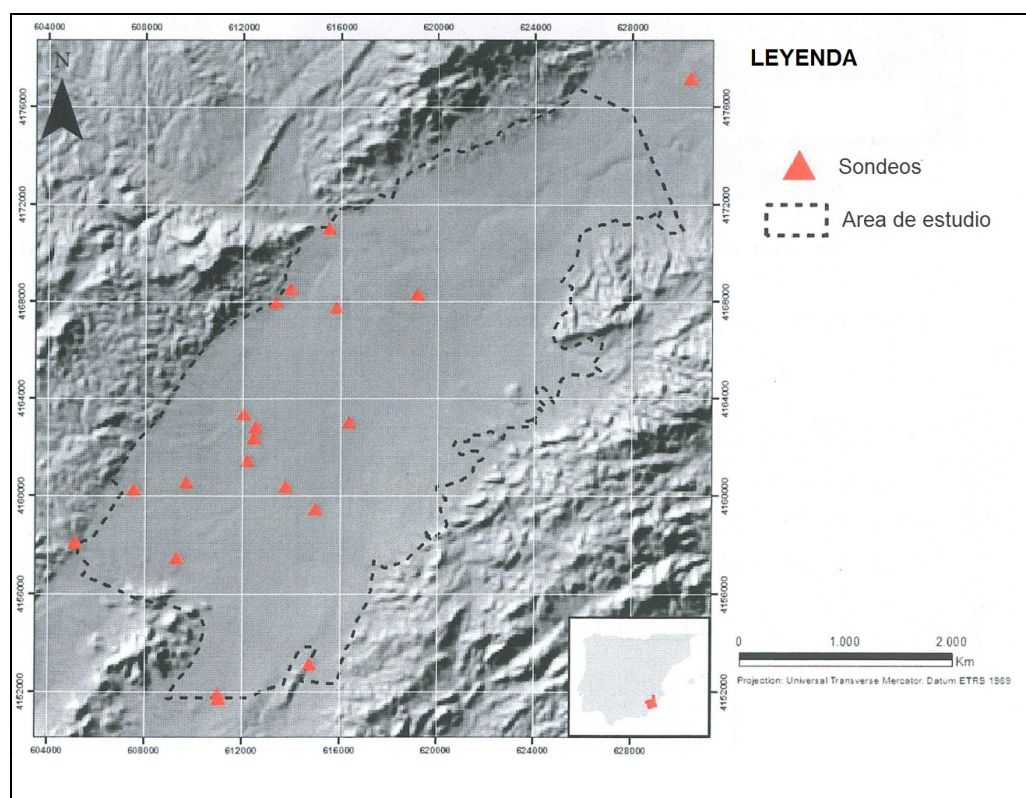


Figura 19. Mapa de sondeos de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).

	Número de Sondeo	XUTM	YUTM	Descripción del terreno	prof sondeo	confianza	tipo	esp_deformacion	esp_deformable	observaciones
G-1	975-382	609744,57	4160614,54	gravas y arenas con matriz limo arcillos	260	3	A			algo cementac
G-2	975-356	608097,181	4160442,11	arenas y gravas con matriz arcillosa lime	250	3	A			algo cementac
G-3	975-228	616274,686	4167186,14	limos con gravas y arenas	221,5	3	A			
G-4	975-66	612400	4161020	40-64 m tierra y arena,64-75 m conglonrv	204	3	A			
G-5				0-130 m cuaternario, 130-200 m caliza d	200	3	A	130		cor. Lambert x
G-6	975-159	612602,61	4162347,81	gravas con matriz limosa arenosa	183	3	A			tramos mas pequeños
G-7	954-291	636675	4180950	0-55,5 m arcillas, 55,5-59,5 m arenas, 51	179	1	A	149,5	55,5	
G-8	975-217	611475,618	4163716,67	arenas con matriz limo arcillosa	170,5	3	A			localización In
G-10	975-183	612190,923	4161524,43	gravas con matriz limosa arenosa	170	3	A			tramos mas pt
G-11	975-263	612050,169	4163413,79	gravas con matriz limosa arenosa	170	3	A			algo cementac
G-9	975-315	609364,506	4157477,67	102 m arenas y gravas con matriz arcilic	170	3	A	102		algo cementac
G-13	954-102	640260	4186830	0-66 m arcillas, 66-70 m arenas,70-78 m	165	3	A	156,25	66	
G-12	975-295	611085,136	4151729,79	117 m conglomerado de matriz arcillosa	165	3	A	1	0	
G-14	975-203	611696,9	4163989,41	arenas y gravas con matriz limo arcillose	164	3	A			localización
G-15	975-226	613766,791	4160461,43	arenas con matriz limo arcillosa	164	3	A			algo cementac
G-16	953-42	630435	4177210	0-46 m arcilla, 46-52 m gravas y conglon	151	3	A	140	46	
G-17	975-90	612557,711	4162864,56	arenas y gravas con matriz limo arcillosa	147	3	A			algo cementac
G-18	934-609	665677	4202725	0-17m limo, 17-26 m arcilla, 26-27 m grs	145	3	A	135	26	
G-19	953-41	630420	4177210	0-50 m arcilla, 50-59 m grava, 59-130 m	137	3	A	121	50	
G-20		604253	4177093	Suelo Orgánico 0-1 mMargas Y Arcillas 1	103	2	G	15,4	15,4	
				Margas Y Arcillas 1-20,30 m						
				Calizas Y Arenas 20,30-79 m						
				Calizas Y Areniscas 79-91 m						
				Margas Y Arcillas 91-101 m						
G-21		604292	4127070		101	2	G	20,3		20,3

Tabla 7. Sondeos en la zona de estudio (Fuente: IGME).

A partir de otro trabajo realizado y en base a estos sondeos se ha interpolado mediante la técnica del Kriging para obtener un mapa aproximado de suelo deformable.

Las características litológicas juegan un papel importante en la determinación del espesor del suelo compresible, éste es el único parámetro que se ha tenido en cuenta para la elaboración de un mapa de espesor de suelo blando

en la cuenca, ya que los datos geológicos no estaban disponibles y por lo tanto no han sido considerados en este trabajo.

El espesor de suelo blando se ha calculado para cada sondeo como el espesor total de capas de limos y arcillas localizadas por encima de las capas de gravas del acuífero. Un ejemplo de la metodología adoptada se representa en la figura 16.

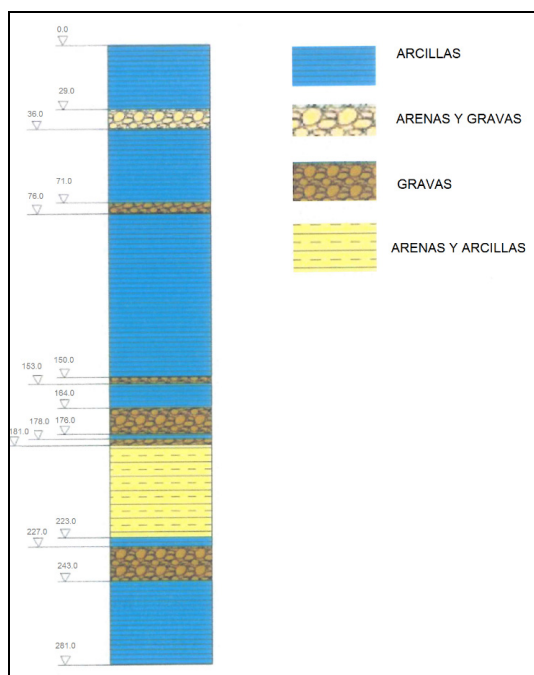


Figura 20. Columna estratigráfica de un pozo localizado cerca de la zona de mayor subsidencia (Fuente: IGME).

Así mismo se ha estudiado la variación del espesor de los suelos blandos, en base al espesor total arcilloso y el tipo de arcilla en cada sondeo, por lo que se han diferenciado cinco tipos de espesores:

- Suelo compresible de espesor 0-10 m.
- Suelo compresible de 10-25 m.
- Suelo compresible de espesor 25-50 m.
- Suelo compresible de espesor 50-100 m.
- Suelo compresible de espesor mayor de 100 m.

Para calcular el mapa de espesor de suelo se han realizado en dos fases:

- a) Obtención de los datos estadísticos de los datos disponibles
- b) Uso del Kriging ordinario (método de interpolación) para obtención del mapa de suelo.

El resultado de dicho proceso se refleja en la siguiente figura:

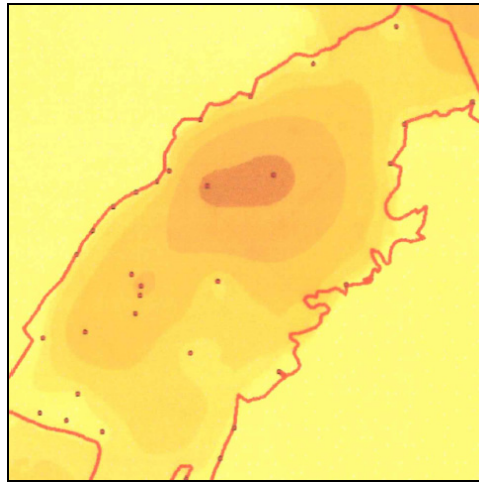


Figura 21. Espesores de suelo blando obtenidos por interpolación IDW (Fuente: Elaboración propia).

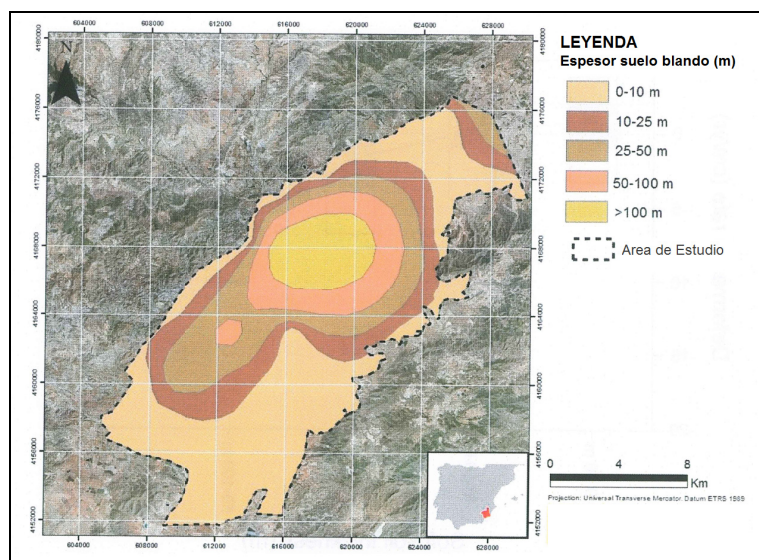


Figura 22. Mapa de espesores de suelo blando en el área de estudio (Fuente: Elaboración propia).

Se ha analizado la relación de subsidencia obtenida a partir de radar con los espesores de las diferentes capas compresibles calculadas (figura 23)

Se observa que la subsidencia acumulada varía en un rango de $-1,74 \pm 1,75$ cm/año a $-9,26 \pm 2,31$ cm/año para capas de espesor 0-10 metros y mayores de 100 metros respectivamente.

Superponiendo las capas de espesores de suelo blando y velocidades de deformación se observa que las zonas inestables (subsidencia > 2 cm/año) coincide con la zona de espesores máximos de suelo blando. Esta evidencia muestra la correlación existente entre la subsidencia y las características litológicas del suelo.

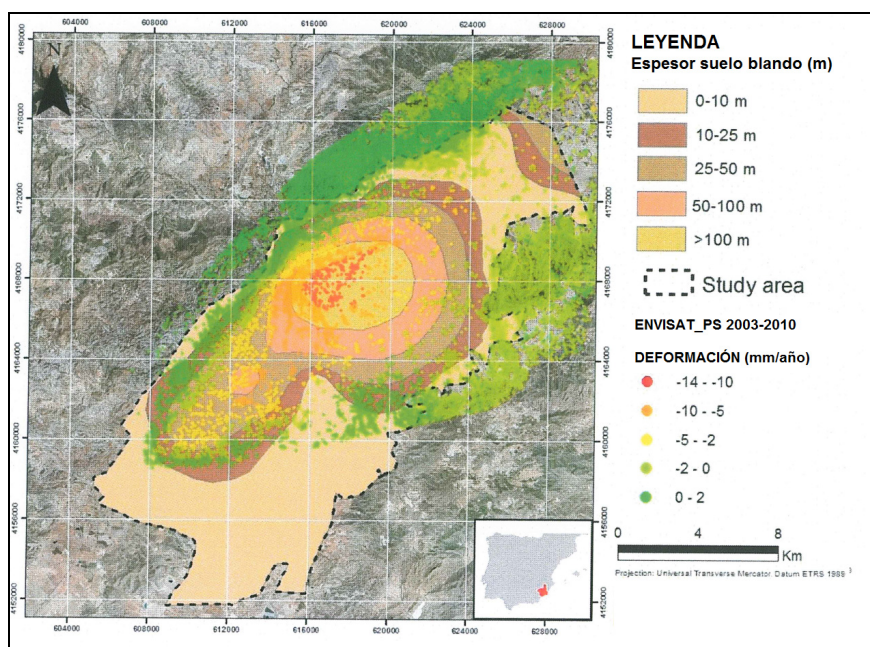


Figura 23. Subsidencia observada en los diferentes espesores de suelo blando (Fuente: Elaboración propia).

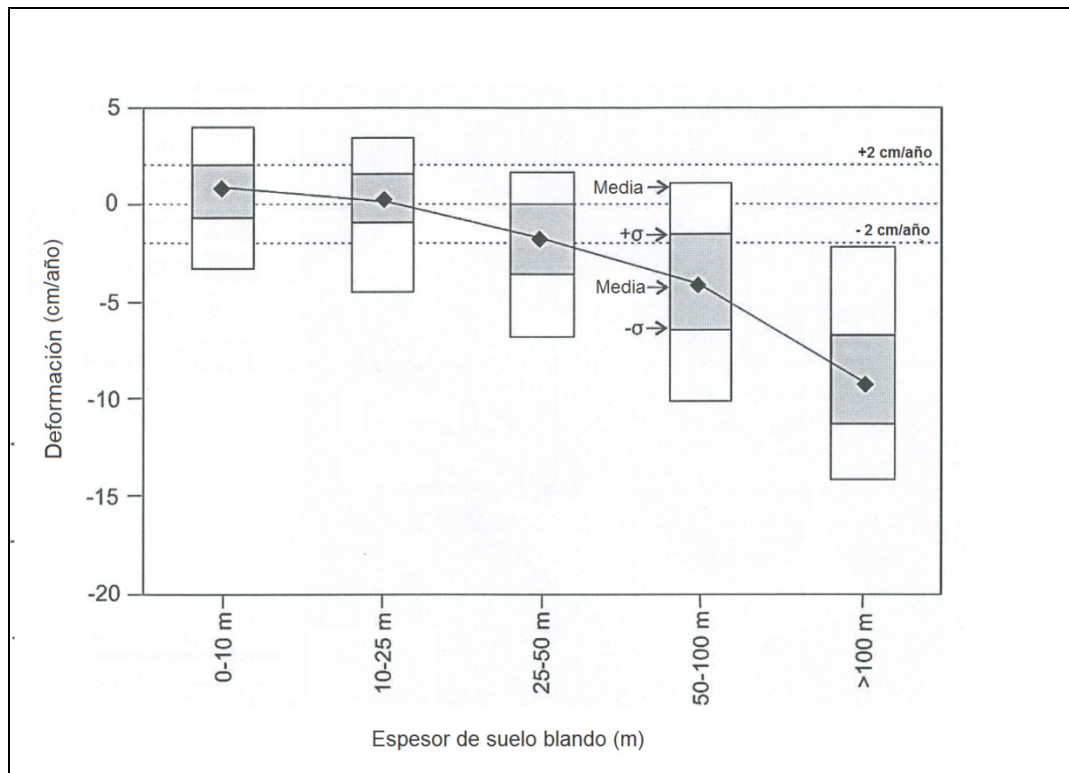


Figura 24. Relación entre espesor de suelo blando y subsidencia observada (Fuente: Elaboración propia).

Análisis y resultados

El análisis estadístico de los datos muestra una velocidad de deformación media de $-1,58 \pm 3,71$ cm/año (con máximas de 14 cm/año) en un área analizada de 236,41 km², zona compuesta por sedimentos aún sin consolidar, mientras que los bordes de la cuenca que presenta una litología más antigua poseen valores en un rango de -0,013 a -0,57 cm/año, demostrando que unidades litológicas más jóvenes son más vulnerables al fenómenos de la subsidencia

Si nos centramos en las unidades Plio-cuaternarias, el mayor porcentaje de datos radar se encuentra en la unidad de espesor de entre 200 y 300 (32,75%). Estos puntos muestran una deformación media de $-3,96 \pm 4,64$ cm/año, valor que representa la máxima subsidencia media.

De los resultados de esta relación se deduce que el máximo valor de subsidencia no coincide con el máximo valor de espesor del suelo del Plio-Cuaternario.

Si tenemos en cuenta la compresibilidad del suelo, la relación de subsidencia obtenida a partir de radar con los espesores compresibles arroja unos datos que varían en un rango de $-1,74 \pm 1,75$ cm/año a $-9,26 \pm 2,31$ cm/año para capas de espesor 0-10 metros y mayores de 100 metros respectivamente. Esta evidencia muestra la correlación existente entre la subsidencia y las características litológicas del suelo.

El análisis espacial basado en los mapas de velocidad de deformación muestra un área de subsidencia en sentido SW-NE, paralela al valle del Guadalentín. Las áreas que presentan subsidencia, con índices mayores a 5 cm/año presentan una longitud máxima alrededor de 13 km y 4 km de mínima en un área total de 40 km². La aplicación de los datos obtenidos del satélite ENVISAT en el período 2003-2010 no solo han sido utilizados para confirmar la subsidencia en la zona sino para relacionar éste área inestable con factores como, unidades geológicas, isóbatas del relleno del Plio-Cuaternario y espesor de suelo blando.

Los resultados muestran ciertas evidencias:

- a) Las capas compresibles (limos y arcillas) juegan un papel importante en el control de los mecanismos de subsidencia.
- b) Los índices de subsidencia en el período estudiado son similares a las medidas adquiridas por otros autores en un período similar (2003-2007) por lo que se concluye que la subsidencia de 2007 a 2010 no presenta aceleraciones significativas.

El mapa de espesores de suelo blando ha resultado útil para identificar el área con los valores máximos de subsidencia, los cuales requieren un sistema de monitorización más precisa.

3.2. ANÁLISIS DE LA SUBSIDENCIA MEDIANTE LIDAR

LiDAR (acrónimo del inglés, Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging) determina la distancia desde un emisor a una superficie u objeto mediante un haz láser que mediante el tiempo de retraso en la emisión del pulso y la detección de la señal reflejada se determina la distancia a la superficie.

Datos LiDAR

El objetivo en este capítulo efectuar un análisis de dos modelos digitales de elevaciones de la zona de Lorca en la Región de Murcia, para determinar si se pueden detectar subsidencias entre ambos modelos. Uno de los modelos se obtiene a partir de los datos LiDAR del PNOA-2009 (Plan Nacional de Ortofotografía Aérea) y el otro modelo se obtiene a partir de un vuelo LiDAR del 14 de mayo de 2011, tres días después del terremoto de Lorca, (en adelante nos referiremos a estos datos como "El vuelo de Lorca").

En este capítulo se presentan los procesos realizados para la generación de ambos modelos y la comparativa que se ha realizado entre ellos.

Características:	
Superficie	11,44 Km ²
Número de bloques (1x1 km)	22
Sistema de coordenadas	UTM huso 30 sobre ETRS89 altura ortométrica

Tabla 8. Características del vuelo LiDAR (Fuente: www.pnoa.ign.es).



Figura 25. Delimitación de la zona de estudio en Lorca y división por bloques de 1x1 km (Fuente: Elaboración propia).

Los datos LiDAR del vuelo de Lorca se presentan el 14 de mayo del 2011, tres días después del terremoto. Los datos están en coordenadas UTM 30, sobre ETRS89 y alturas ortométricas.

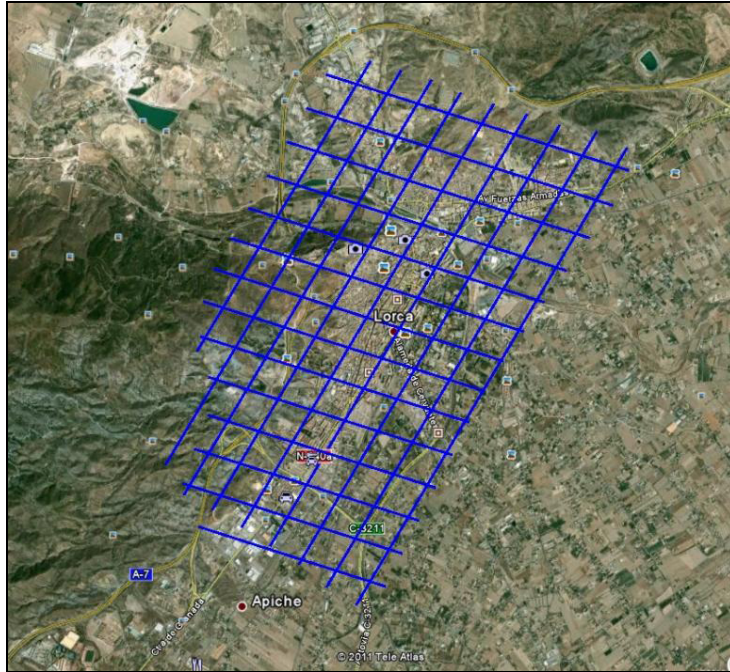


Figura 26. Trayectorias del vuelo para la adquisición de datos LiDAR sobre Lorca (Fuente: Elaboración propia).

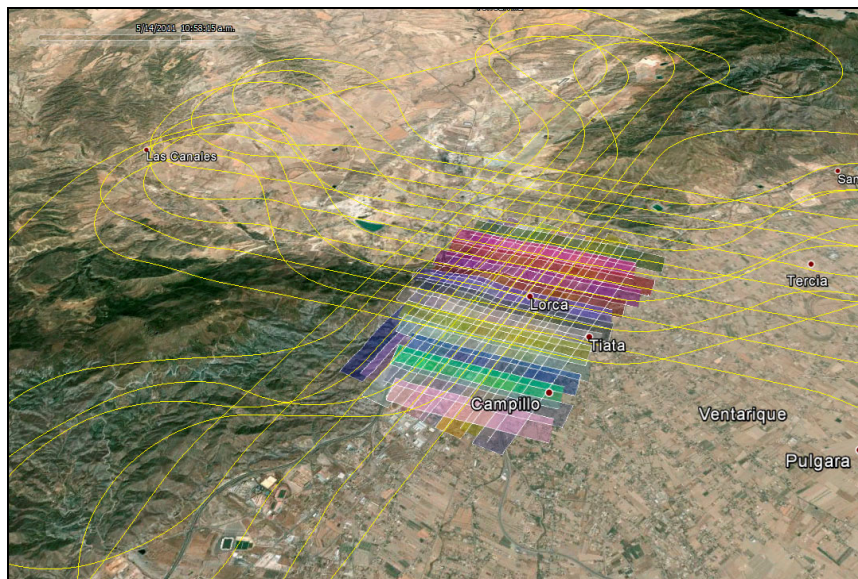


Figura 27. Trayectorias del vuelo para la adquisición de datos LiDAR sobre Lorca (Fuente: Elaboración propia).

Los datos del PNOA de Lorca son cedidos por la región de Murcia. El vuelo se realizó el 2009 y se entregan en el sistema de coordenadas UTM 30 sobre ETRS89 y alturas ortométricas. Estos datos como es de esperar tienen una precisión en alturas de ± 20 cm. Son necesarios un total de nueve archivos para cubrir la zona de estudio.

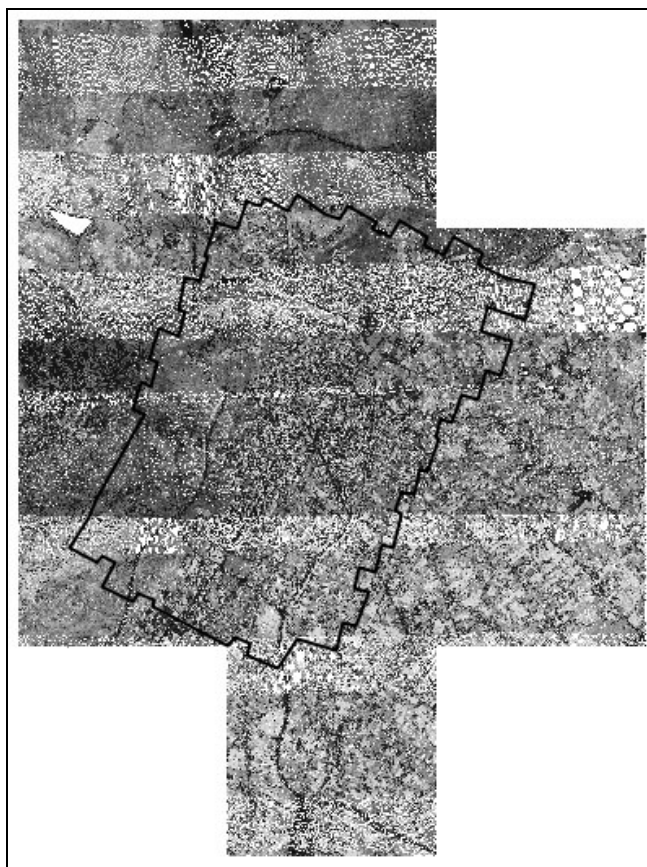


Figura 28. Imagen de intensidades de los datos LiDAR del PNOA de la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).

Metodología

La metodología a seguir la podríamos plantear con los siguientes pasos:

1. Generación de los dos Modelos Digitales del Terreno (MDT) del vuelo de Lorca y del PNOA, a partir de los puntos clasificados como suelo. Previamente se realizarán ajustes entre las pasadas del vuelo si es necesario.
2. Localización de las zonas más planas para poder realizar la diferencia entre los MDT. Para ello nos quedaremos con las superficies con pendientes comprendidas entre el 0 y el 5 %.
3. Ajuste de alturas entre los dos MDT. Una vez obtenidos los modelos se comprueba si existe una diferencia uniforme entre las cotas de ambos modelos para poder compensarla.
4. Generación de la diferencia entre el MDT del vuelo de Lorca y el MDT del PNOA, para analizar si se pueden detectar subsidencias.

Generación de los MDT

En el caso del vuelo de Lorca, tras la generación y revisión del MDT no se aprecia ningún desajuste entre pasadas, con lo cual, tras su generación no es necesario ningún procesado adicional sobre ese modelo.

No sucede lo mismo con el modelo derivado a partir de los datos del PNOA, en el cual se aprecia un ligero desajuste entre pasadas (figura 29) que será necesario tratar de mejorar para que no tenga influencia en la comparativa entre los dos modelos. Concretamente el desajuste se da en las líneas 44 y 26.

Para el análisis del ajuste entre pasadas se emplea el software de gestión de información LiDAR dentro del software GvSIG. Tras analizar el desajuste entre estas líneas y sus colindantes se concluye que, si bien es difícil tratar de ajustar estas líneas a lo largo de todo su recorrido, sí que se puede mejorar significativamente su ajuste dentro de nuestra área de estudio. Concretamente para la línea 44 se incrementarán sus cotas en 10 centímetros y la línea 26 en 5 centímetros. El resultado de este ajuste se puede apreciar en la figura 29.

Por último, se hace necesario que tras la superposición de ambos modelos no se aprecia ningún desplazamiento en X e Y, es decir, que ambos encajan perfectamente en planimetría.

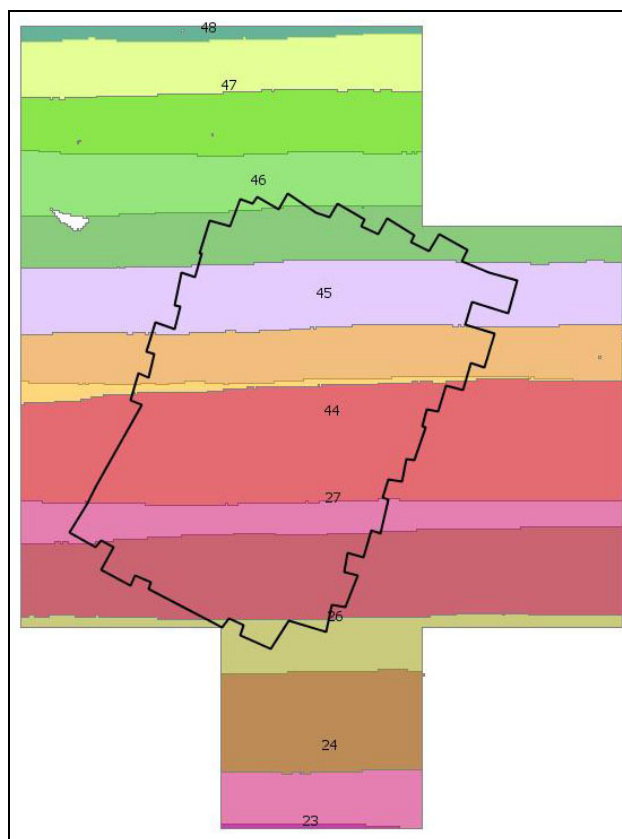


Figura 29. Líneas de vuelo de los datos del PNOA (Fuente: Elaboración propia).



Figura 30. MDT del PNOA antes del ajuste de pasadas (izqda.) y después (dcha.) (Fuente: Elaboración propia).

Selección de las zonas llanas

La comparativa entre los modelos para tratar de detectar subsidencias se realizará en las zonas planas que podamos localizar entre los dos modelos.

El método que emplearemos para seleccionar las zonas planas será calcular las pendientes de ambos modelos y a partir de ellas, generaremos una máscara quedándonos con aquellas zonas cuyas pendientes estén comprendidas en un rango entre el 0 y el 5%.



Figura 31. Imagen de pendientes y máscara derivada (Fuente: Elaboración propia).

En la imagen anterior se puede apreciar las pendientes obtenidas de uno de los modelos y a la derecha la máscara derivada. En la máscara los puntos en blanco se corresponden a aquellos con pendiente entre el 0 y el 5 %, los puntos en negro se descartan.

Se calcula esta máscara para los dos modelos y se multiplican ambas máscaras. La máscara resultante se aplica a ambos modelos de modo que nos aseguramos de comparar entre los dos modelos aquellos puntos que cumplen con nuestro criterio de pertenecer a las zonas planas.

Ajuste entre modelos

Una vez aplicada la máscara de pendientes obtenida anteriormente a ambos modelos, se calcula una primera diferencia entre ellos. Del análisis de esta diferencia en las zonas más planas que se pueden observar se concluye que entre ambos MDT hay un desfase uniforme en las cotas entre ambos modelos, resultando que el MDT del PNOA está por debajo del derivado a partir de los datos del vuelo de Lorca. Esto se puede observar en la siguiente imagen, donde se ha realizado un perfil en ambos modelos con el mismo trazado y se puede apreciar en este caso que existe entre ambos perfiles una diferencia de cotas entorno a los 20 centímetros.

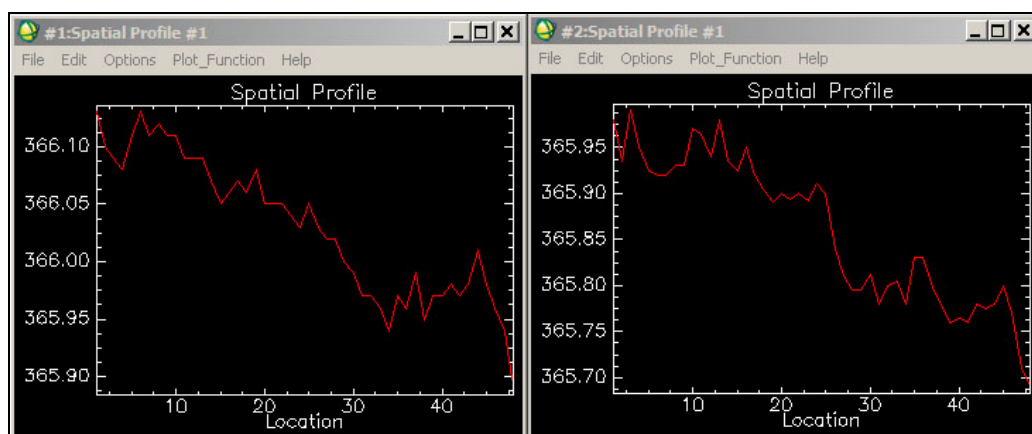


Figura 32. Diferencia de cota entre los MDT para un mismo trazado (Fuente: Elaboración propia).

Como en principio se adjudicó mayor precisión al vuelo de Lorca, al ser un vuelo específico con mayor densidad de puntos y pasadas, lo que haremos será compensar esa diferencia en el modelo del PNOA, incrementando sus cotas un valor de 25 centímetros, dato que se obtiene tras realizar numerosos perfiles y tras observar las estadísticas de las diferencias entre ambos modelos. En todo caso, cuál sea el MDT sobre el que se compensa está diferencia tampoco tiene mayor transcendencia, ya que de lo que se trata es que ambos estén en la medida de lo posible lo más ajustados entre sí, para poder analizar si se puede observar con estos modelos la aparición de subsidencias en el terreno.

Cálculo de diferencias para la detección de subsidencias.

Con los modelos ajustados entre sí se realiza la diferencia entre ellos para ver si es posible la detección de subsidencias. Tras estudiar el resultado obtenido se observa que entre los modelos hay una continua y aleatoria variación de las alturas comprendida dentro del rango de precisión en altura de los datos del PNOA, es decir, ± 20 cm. La presencia de este ruido, imposibilita totalmente la detección de subsidencias, tal y como se puede comprobar en la siguiente imagen, en la que se están representando las diferencias por rangos en incrementos de 5 centímetros.

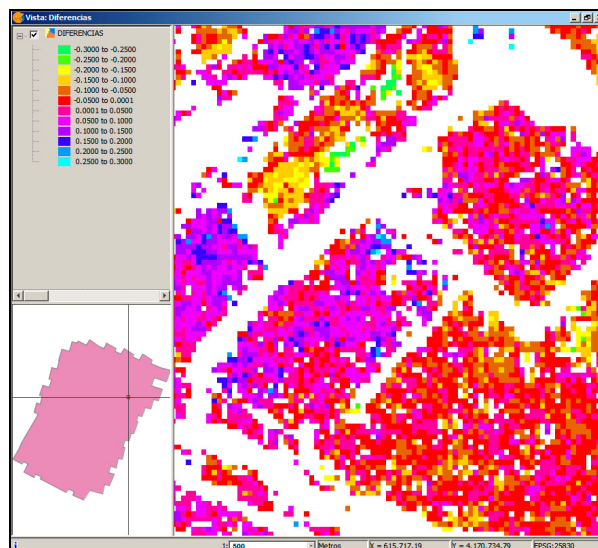


Figura 33. Diferencia entre los dos modelos ajustados (Fuente: Elaboración propia).

Análisis y resultados

Los resultados del análisis efectuado entre el PNOA 2009 y el vuelo de Lorca 2011 muestran variaciones en torno a ± 5 cms entre uno y otro, en un período de 2 años (2,5 cm/año) lo que confirmaría a priori los resultados del estudio realizado con radar, donde la zona urbana de Lorca se incluía en una clasificación de zona estable con valores de subsidencia en un rango de -2 a +2 cm.

Dada la precisión de estos vuelos se estaría hablando de una subsidencia de 5 cm \pm 20 cm, resultado que no puede compararse con los obtenidos mediante otras técnicas dados los valores tan pequeños con los que se trabaja.

Tras el trabajo realizado a partir de los datos LiDAR del vuelo de Lorca y del PNOA: generación de los respectivos MDT, su ajuste y comparación; se concluye que el rango de precisión de los datos del PNOA (\pm 20 cm) no es suficiente para la detección de subsidencias en el terreno, ya que estas variaciones pueden ser mayores que el fenómeno de subsidencias que se quiere detectar.

Se recomendaría que se realizara la adquisición de datos LiDAR con sensores terrestres móviles, que cuentan con mayor precisión y densidad de puntos (llegando a precisiones del orden de 2cm) en diferentes fechas de modo que se pueda estudiar la evolución del terreno y detectar la aparición de posibles subsidencias.

3.3. DETERMINACIÓN DE LA SUBSIDENCIA EN EL ÁREA GEOGRÁFICA DE LORCA MEDIANTE TÉCNICAS GEODÉSICAS DE CONTROL.

Las distintas actuaciones cartográficas llevadas a cabo a lo largo de los últimos años en la zona de Lorca, han detectado inconsistencias tanto planimétricas como altimétricas (estas últimas de mucho mayor rango), en las distintas infraestructuras geodésicas de la zona. Así, recientes resultados obtenidos a través de observaciones geodésicas con receptores GNSS, ponen de manifiesto las incoherencias existentes entre estos y los que les fueron asignadas hace años por las distintas administraciones que las amparan.

Estas inconsistencias parecen fundamentadas a tenor de lo expuesto en la publicación científica denominada "Drought-driven transient aquifer compaction imaged using multi-temporal satellite radar interferometry", de J. Fernández y P.J. González, publicado en *Geology* en junio de 2011. En ella se estima en unos 700 km² la zona de subsidencia en el Valle del Guadalentín.

Según el artículo anterior, las tasas de subsidencia son las mayores detectadas en toda Europa, del orden de 6 a 15 cm por año en el estudio realizado con imágenes ERS desde 1992 a 2007. En la figura 31 se puede ver el área con subsidencia detectada en el estudio, así como la velocidad de que es objeto.

Siempre según dicho artículo (figura 35) se establecen tres periodos de 4-5 años de diferente velocidad de subsidencia, aunque el área afectada es bastante similar en los tres casos.

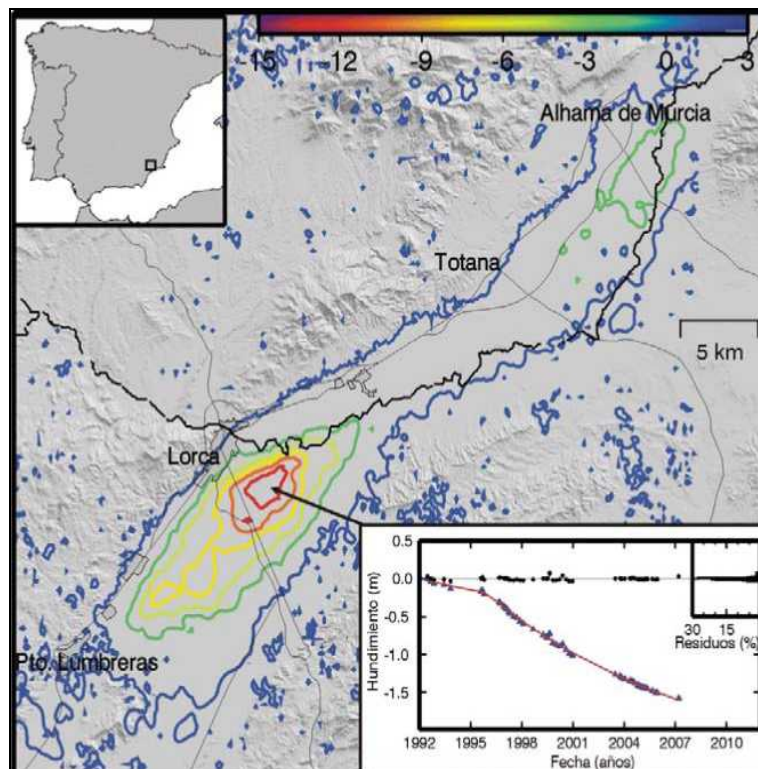


Figura 34. Zona afectada y velocidad de subsidencia de la zona central (Fuente: J. Fernández y P.J. González).

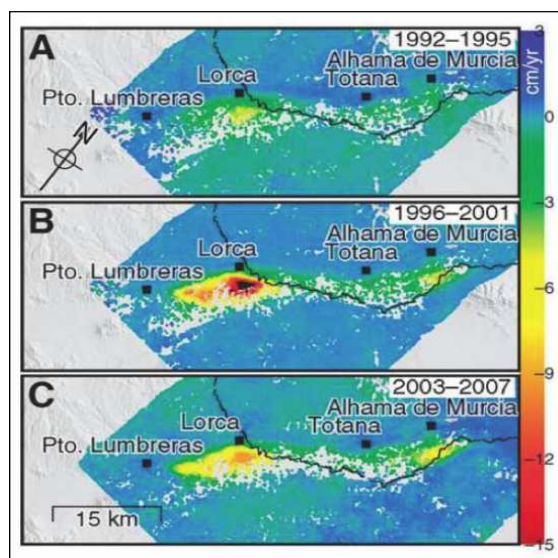


Figura 35. Velocidades de subsidencia en tres periodos diferenciados (Fuente: J. Fernández y P.J. González).

3.3.1. Metodología

A tenor de lo descrito tanto en la citada como otras publicaciones de referencia, se exponen las actuaciones que, hasta el presente, y exclusivamente por métodos geodésicos, se han desarrollado en la zona para cuantificar valores “in situ” de la subsidencia en elementos concretos de las infraestructuras descritas.

Además de las referencias geodésicas propias que para otros estudios en curso ha habido que establecer en la zona, la misma cuenta con la siguiente infraestructura geodésica:

- Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales (REGENTE)
- Red de Orden Inferior (ROI)
- Red Española de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP)
- Redes Geodésicas Activas de la Región de Murcia (REGAM y MERISTEMUM)

Vértice	REGENTE98			CAMPAÑA 2011			Diferencia		
	x	y	h	x	y	h	dx	dy	dh
Pareja	579599.155	4176417.049	1183.053	579599.159	4176417.099	1183.126	0.004	0.050	0.073
Manilla	621317.574	4178129.535	1016.521	621317.582	4178129.560	1016.556	0.008	0.025	0.035
Cabezo	645258.156	4183659.639	306.830	645258.190	4183659.660	306.794	0.034	0.021	-0.036
Roldán	580662.585	4153929.278	1161.058	580662.594	4153929.317	1161.078	0.009	0.039	0.020
Jeresa	609473.985	4163252.379	432.645	609474.086	4163252.384	432.447	0.101	0.005	-0.198
Reventón	643349.088	4168943.868	240.373	643349.105	4168943.903	240.365	0.017	0.035	-0.008

Tabla 9. Coordenadas Red REGENTE 98 (Fuente: IGN).

Analizados los resultados, existen diferencias con el cálculo anterior del orden de menos de 5 mm en planimetría y menos de 1 cm en altimetría (promedio de 6 mm) y por tanto se puede concretar que ambos cálculos son perfectamente coherentes, teniendo en cuenta que las estaciones fiduciales utilizadas en ambos procesamientos son diferentes. Para asignar unas coordenadas definitivas, sería mejor tomar las del cálculo de Bernese.

En el año 2008, a raíz de la observación GPS / gravimétrica de señales REDNAP, se estacionó sobre los vértices Roldán y Jeresa por un periodo aproximado de 3 horas en ambos. Procesando estos datos con Bernese los resultados fueron:

Vértice	Latitud	Longitud	h
ROLD	37° 31' 43.72379"	-2° 5' 13.50267"	1161.073 m
JERE	37° 36' 35.48167"	-1° 45' 34.81912"	432.468 m

Tabla 10. Coordenadas Red REGENTE 2008 (Fuente: IGN).

Y la comparación con REGENTE en coordenadas UTM resulta:

Vértice	REGENTE98			CAMPAÑA 2008			Diferencia		
	x	y	h	x	y	h	dx	dy	dh
Roldán	580662.585	4153929.278	1161.058	580662.580	4153929.321	1161.073	-0.005	0.043	0.015
Jeresa	609473.985	4163252.379	432.645	609474.073	4163252.382	432.468	0.088	0.003	-0.177

Tabla 11. Diferencia de coordenadas de dos vértices pertenecientes a la Red REGENTE en 1998 y 2008 (Fuente: Elaboración propia).


Asimismo, en 2009 una empresa privada que realizaba trabajos en la zona, detectó que las coordenadas del vértice Jeresa presentaban claras inconsistencias. Una vez se tuvo acceso a los ficheros RINEX proporcionados por la misma, se procedió a su procesado confirmándose esa presunción. Si bien estas observaciones fueron de tan sólo 1 hora en cada vértice, lo cierto es que se llevaron a cabo en dos días diferentes. Los resultados del procesamiento con Bernese fueron los siguientes:

Vértice	Latitud	Longitud	h
MANI	37° 44' 32.72893"	-1° 37' 22.96071"	1016.535 m
JERE	37° 36' 35.48135"	-1° 45' 34.81937"	432.476 m

Tabla 12. Datos de los vértices MANI y JERESA (Fuente: IGN).

Las tres secuencias de observaciones correspondiente a los distintos años, denotan por una subsidencia en JERESA que en 2011 alcanzaba los 20 cm y un desplazamiento hacia el este de 10 cm.

No obstante, los resultados anteriores, la ubicación del vértice JERESA puede hacer albergar dudas sobre si los desplazamientos detectados en el mismo son achacables exclusivamente a la subsidencia del conjunto. El lugar donde se ubica (figura 36), concretamente entre la carretera de acceso al Polígono Industrial "San Francisco" de Lorca y la Autovía A-7, debiera analizarse para aseverar su estabilidad local.



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico 28-sep-2013

Número.....: 97526
Nombre.....: Jeresa
Municipios: Lorca
Provincia: Murcia
Fecha de Construcción.....: 03 de agosto de 1982
Pilar con centrado forzado.....: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 2,00 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 2,00 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89
Longitud.....: - 1° 45' 30,4166"	- 1° 45' 34,82270"
Latitud.....: 37° 36' 39,9417"	37° 36' 35,48163"
Alt. Elipsoidal.....:	432,645 m (CF)
Compensación.....: 01 de octubre de 1991	28 de noviembre de 2004

Coordenadas UTM. Huso 30 :

Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89
X.....: 609585,09 m	609473,985 m
Y.....: 4163459,88 m	4163252,379 m
Factor escala.....: 0,999747906	0,999747617
Convergencia.....: 0° 45' 28"	0° 45' 25"
Altitud sobre el nivel medio del mar: 380,506 m. (BP)	


Situación:
 Situado al lado de la carretera nacional N-340, de Puerto Lumbreras a Lorca, 500 m. al N.W. de la antigua señal.

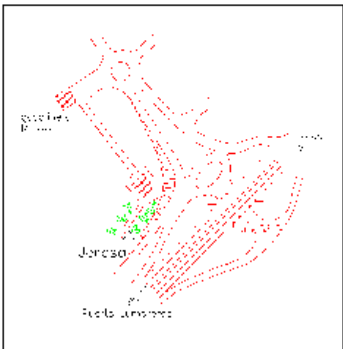
Acceso:
 Desde Puerto Lumbreras, por la autovía N-340, a 4 km del cruce con la N-340a con dirección a Lorca, en el pk 585, se toma a la derecha hacia el polígono industrial de Lorca (situado al noroeste de la autovía) y se sigue hasta la señal según croquis gráfico.

Horizonte GPS:
 [Abr-05] Rodeada de árboles que sobresalen hasta 1 m. de la parte superior del pilar.

Observaciones:
 REGENTE
 [Jul-10] Altitud ETRS89 aproximada. Pendiente de corrección.
 Vértice observado con GPS.

Jeresa





CF: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CN: Clavo Nivelado. CS: Clavo Sueto.

Informe del estado del Vértice: <http://www.geodesia.gn.es/Estados/Info/IG.pdf>

Figura 36. Reseña oficial del vértice Jeresa de la Red REGENTE (Fuente :IGN).

Conviene incidir en el gran valor del desplazamiento horizontal obtenido. Tan es así, como se verá más adelante al tratar de las actuaciones llevadas a cabo en Redes Geodésicas Activas, ni siquiera en aquellas estaciones donde el valor de la subsidencia es cinco veces mayor que la obtenida en Jeresa, se han registrado variaciones significativas en la componente horizontal, máxime teniendo en cuenta que este no se encuentra en la zona de mayor subsidencia del Valle del Guadalentín, sino en una zona de transición entre valle y montaña. De ahí la necesidad de analizar su emplazamiento para descartar la existencia de movimientos locales.

Siguiendo con el análisis de los resultados obtenidos, se detecta que el vértice Manilla, como vértice REGENTE más cercano a Lorca, no presenta ninguna subsidencia, consecuencia lógica de su ubicación fuera del Valle del Guadalentín, en una zona de gran relieve con una altitud de 964 metros frente a los 300 metros de altitud media del valle, que es donde se dan los mayores registros de subsidencia.

3.3.2. Actuaciones sobre la ROI

La Red Geodésica de Orden Inferior (ROI), puede considerarse una densificación de REGENTE, con coordenadas que tienen menor precisión debido a la naturaleza de los observables utilizados para su determinación y cálculo.

Los vértices ROI se distribuyen sobre el territorio con una densidad de aproximadamente 1 vértice/ 45 kilómetros cuadrados, lo que hace que su número ascienda a 11.000 entre Península y Baleares. En la Región de Murcia se contabiliza un número cercano a los 300. En la zona afectada y en comparación con los REGENTE, su número crece extraordinariamente.

A pesar de su densidad, ya que se pueden localizar entre 5 y 10 en la zona afectada, para la realización del estudio se seleccionaron tres vértices concretos: Velilla, Capitán y Casa Rosendo, ello atendiendo fundamentalmente a su distribución en la zona eligiendo cuidadosamente los que se encuentran la mayor actividad de la subsidencia. Concretamente el vértice Casa Rosendo se encuentra en lo que pudiera denominarse zona cero de la misma.

La comparación de datos altimétricos exige el conocimiento preciso de la calidad de los mismos, ya que, de no ser así, los resultados pueden quedar desvirtuados y dadas las múltiples asignaciones de coordenadas (1985, 1992, 2008 y 2009) que han sufrido los vértices ROI, se precisa realizar puntualizaciones al respecto.

Desechando por su menor calidad las anteriores a 2008, año en que se llevó a cabo el ajuste en el Sistema Geodésico ETRS89 de la ROI, quedó pendiente un recálculo de altitudes ortométricas cuya precisión nominal, hasta esa fecha, siempre se había cifrado en un valor de 0,3 metros.

En 2009 se acomete esta labor con un nuevo cálculo de ROI que también afecta a las coordenadas planimétricas, y que para zonas como Murcia que carecía de observaciones GPS, quedaron definidas con errores promedio de 9,7 cm (nivel de confianza del 95%), sucediendo otro tanto con la componente vertical o altitud, que quedó determinada con un error de 8,8 cm (nivel de confianza del 95%).

Finalmente, las altitudes ortométricas 2009 de ROI se obtuvieron con el modelo de geoide EGM08-REDNAP. Este modelo permite obtener ondulaciones del geoide sobre el Sistema Geodésico WGS84 con precisiones absolutas de 38 mm.

A tenor de lo anterior, no cabía otra opción que elegir por su mayor nivel de precisión las altitudes 2009 de ROI para su comparación con los resultados de observaciones realizadas para este estudio en el año 2012.

Todas las observaciones se calcularon en post-proceso, y no obstante la escasa longitud de la base-línea principal se establecieron estacionamientos mínimos de media hora, utilizando un modelado de correcciones diferenciales proporcionado por la REGAM que pondera la magnitud de otras líneas-base que también intervienen en la observación.

La precisión a esperar en la determinación de la altitud elipsoidal según la metodología seguida en las observaciones, se encuentra en el ámbito de los de 10 a 20 mm. Ahora bien, dado que se precisa su transformación a ortométrica, el anterior valor debe componerse cuadráticamente con los 38 mm de precisión que proporciona el uso del modelo de geoide EGM08-REDNAP, lo que finalmente proporciona altitudes con un error máximo de 40 mm.


Por su especial ubicación, todas las expectativas se centraban en el resultado que ofreciera el vértice Casa Rosendo. Este no pudo ser más decepcionante al

comprobar que la altitud oficial asignada por el IGN es errónea.

Como puede verse en los anexos, en la reseña oficial que dicho organismo tiene para el vértice Casa Rosendo, este tiene una altitud ortométrica de 310,033 m, sin embargo, la determinada por medios GNSS para este trabajo resulta ser de 304,450 metros. Lógicamente esta diferencia hizo que se repitieran y extremaran los cuidados de nuevas observaciones para la confirmación del resultado.


En base a ello, lo inmediato era considerar que el emplazamiento del vértice original podría haber sufrido alteraciones como consecuencia de obras de mantenimiento o reparación de la azotea de la casa de una planta sobre la que se encuentra, consideración que está descartada rotundamente, entre otras cosas porque lo normal es que cualquier reforma tenga por objeto añadir más cuerpos o plantas a un edificio. En el hipotético caso de que hubieran desaparecido casi dos plantas (la diferencia entre ambas altitudes es de 5,783 m) de la casa, idéntica suerte hubiera ocurrido con el vértice. Muy al contrario, al día de la fecha sigue perfectamente identificable coincidiendo las coordenadas planimétricas obtenidas con las ofrecidas por el IGN. En consecuencia, se ha contactado con dicho organismo para, a partir de sus datos originales, tratar de averiguar la causa del error.

En cuanto al vértice Velilla, los resultados reflejan una pérdida de altitud de 5 centímetros para el período que va de noviembre 2009 a octubre 2012. El vértice se ubica sobre promontorio rocoso conocido con el topónimo "Altos de la Velilla", a 600 metros al sur de la Rambla de la Viznaga (figura 37), en una zona de borde o límite de decrecimiento de los valores de subsidencia. Ello, sumado a su ubicación sobre la elevación rocosa, puede suponerse un atenuante a su exposición a los movimientos verticales que se detectan en el entorno.



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO



Área de Geodesia

Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña Vértice Geodésico 28-sep-2013

Número.....: 97567
Nombre.....: Velilla
Municipios: Lorca
Provincias: Murcia
Fecha de Construcción.....: 26 de octubre de 1995
Pilar sin centrado forzado...: 1,20 m de alto, 0,30 m de diámetro.
Último cuerpo.....: 0,40 m de alto, 1,00 m de ancho.
Total cuerpos.....: 1 de 0,40 m de alto.

Coordenadas Geográficas:

Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89
Longitud.....: - 1° 37' 40,5011"	- 1° 37' 44,89608" ±0.056 m
Latitud.....: 37° 37' 03,1098"	37° 36' 58,65543" ±0.048 m
Ait. Elipsoidal...: 364,267 m ±0.056 (BP)	
Compensación...: 03 de Junio de 1998	01 de noviembre de 2009

Elipse de error al 95% de confianza.

Coordenadas UTM. Huso 30 :


Sistema de Ref.: ED 50	ETRS89
X.....: 621096,56 m (0.026)	620985,414 m
Y.....: 4164334,36 m (0.024)	4164126,858 m
Factor escala...: 0,999780613	0,999780295
Convergencia...: 0° 50' 15"	0° 50' 13"

Altitud sobre el nivel medio del mar: 313,532 m. (BP)

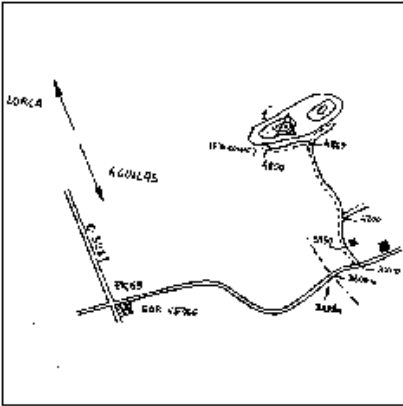
Situación:
 Situado en lo alto de la elevación más al S. de las tres que componen los denominados "Cabeicos de Velilla", al SE. de Lorca.

Acceso:
 Desde Lorca, por la carretera comarcal C-3211, con dirección a Aguilas, en el Km. 69 cruza una pista asfaltada; en dicho cruce hay un Bar, que queda a la izquierda, llamado "Bar Verde", tomando el ramal que sale a la izquierda. Considerando este punto como origen de distancias y por esta pista, sin apartarse de ella, a los 3.600 m. cruza una rambia, existiendo un badén pronunciado. A los 3.800 m. sale a la izquierda un camino de tierra, en buen estado, que se toma. Por este camino, a los 3.950 m. se deja una casa a la derecha, a los 4.200 m. se deja un camino a la derecha, a los 4.800 m. se llega a una bifurcación, tomando el ramal de la izquierda, a los 4.850 m. se deja el coche, frente a los denominados "Cabeicos de Velilla" y, a pie, se llega a la señal en un minuto.

Horizonte GPS:
 "Despejado"



Velilla



Observaciones:

CP: Centrado Forzado. CP: Cabeza Pilar. BP: Base Pilar. CH: Clavo Nivelado. CS: Clavo Sueto.

Informe del estado del Vértice: ftp.geodesia.ign.es/464646des/46464646.pdf

Figura 37. Reseña oficial del vértice VELILLA (ROI)(Fuente: IGN).

El vértice Capitán, era otro punto clave para evaluar y contrastar los posibles movimientos verticales de la zona. Este se enclava en la confluencia de la Rambla de la Viznaga con el Río Guadalentín, zona ciertamente expuesta a la subsidencia. El resultado de las observaciones realizadas acredita un descenso en su altitud de 0,409 metros para un periodo de casi tres años, concretamente de noviembre 2009 a octubre 2012.

El cuadro resumen de resultados quedaría en el Sistema ETRS89:

Vértice	2009			2012			Diferencias		
	x	y	h	x	y	h	dx	dy	dh
Velilla	620985,41	4164126,86	313,5	620985,44	4164126,92	313,5	0,03	0,1	-0,05
Capitán	626892,04	4173174,95	256,4	626892	4173175,06	256	-0	0,1	0,41

Tabla 13. Diferencia de coordenadas de dos vértices (Velilla y Capitán) (Fuente: Elaboración propia).

3.3.3. Actuaciones sobre REDNAP

La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) fue iniciada en 1999 y finalizada en el año 2007. Todas las líneas que la componen suman una longitud de casi 20.000 kilómetros.

En el año 2008 se procedió a su compensación conjunta, adoptándose un único punto fundamental (nodo de Alicante), materializado por la señal NP1 con un valor geopotencial de 3,34142 u.g.p. referido al nivel medio del mar en Alicante. Para todos los cálculos de la red altimétrica española hasta la fecha, esta señal ha sido fundamental.

El error promedio de todas las líneas REDNAP arroja un error promedio de 0,16 ppm, lo que indica la gran calidad de las observaciones en su conjunto.

En la ciudad de Lorca (figura 41) confluyen cuatro líneas, observadas en diferentes épocas y, por tanto, con valores de altitudes correspondientes a esas épocas:

- Línea 326 (Lorca- Caravaca): observada en 2004.
- Línea 10327 (Lorca-Totana): observada en 2004.
- Línea 10426 (Lorca-Águilas): observada en 2005.
- Línea 832 (Lorca-Cúllar): observada en 2009(REDNAP A-400).

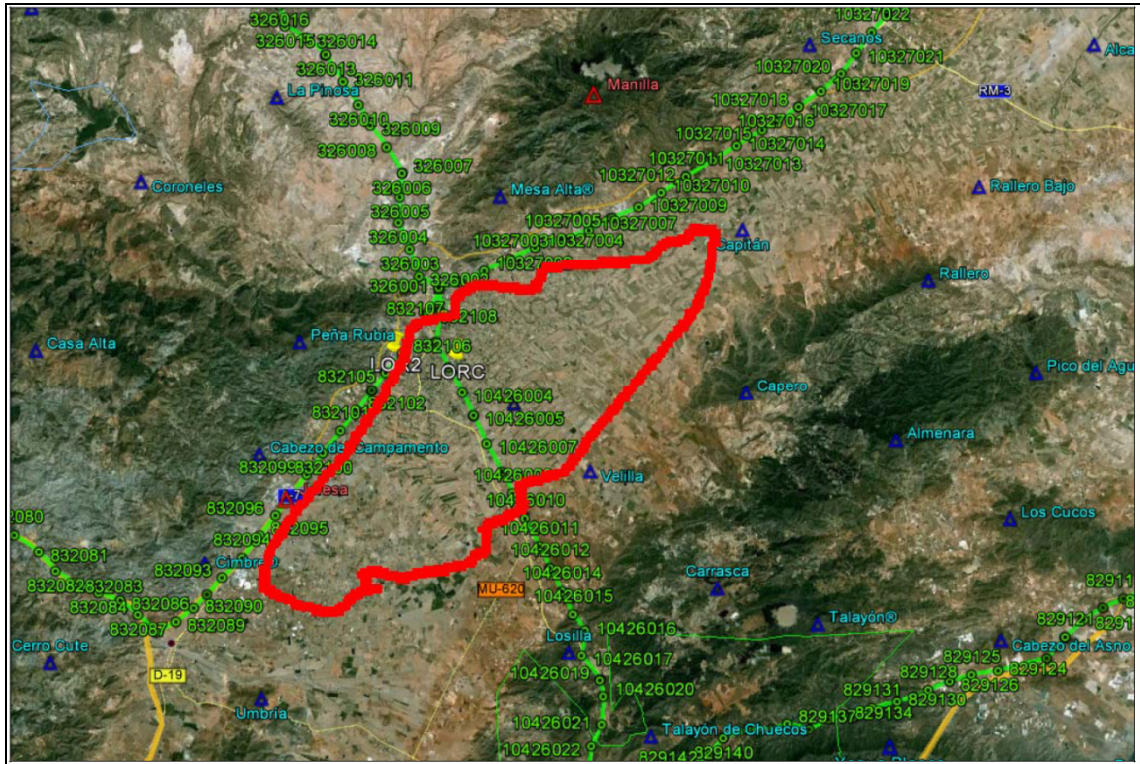


Figura 38. Líneas REDNAP y zona de subsidencia. (Fuente: IGN).

Descartada en la actualidad cualquier inversión económica destinada a la instalación de extensómetros o de estaciones permanentes GNSS en la zona, que serían las soluciones de futuro, se plantean algunas alternativas siempre entendidas como complementos a los controles instrumentales enumerados.

3.3.4. Realización de nuevas líneas de NAP

Aunque tampoco parece factible en este momento de crisis económica, que las administraciones aporten fondos para acometer nivelaciones geométricas de alta precisión que recorrieran las líneas de REDNAP enumeradas, esta sería la solución que aportaría más precisión a las conclusiones del estudio

Con esta metodología debe tenerse presente que, al objeto de tener la absoluta certeza de estar a salvo de cualquier movimiento de subsidencia de partida, las líneas NAP debieran iniciarse en puntos muy alejados del Valle del Guadalupe, lo que se traduciría en un aumento considerable en la longitud de las líneas

estimadas imprescindibles.

Se prevé que, por este método, si se cuenta con itinerarios de ida y vuelta para el control de cierre de los anillos correspondientes, la longitud a nivelar no sería menor de 100 kilómetros. Las estrictas condiciones de este tipo de nivelación, conjuntamente con la necesidad de instrumental, operadores, ayudantes, equipos de protección y seguridad viaria para operar instrumentalmente por las carreteras y autovías que transcurren, lo hacen en la actualidad absolutamente inviable.

3.3.5. Actuaciones llevadas a cabo en Redes Geodésicas Activas

En el ámbito de la ciudad de Lorca se ubican dos estaciones permanentes GNSS ambas pertenecientes a la Administración Autonómica (REGAM y MERISTEMUM). Ambas estaciones, que por distintos avatares han sufrido cambios de ubicación que, desgraciadamente se traducen en alteraciones de las secuencias originales de datos, se erigen en la actualidad como la referencia básica para registrar los movimientos del terreno sobre el que se ubican.

En lo que a la REGAM se refiere, la estación original denominada LOR2, se instaló en el año 2008 en el Parque de Bomberos de Lorca, permaneciendo en funcionamiento hasta finales del año 2012. Como consecuencia de los graves daños estructurales del edificio del Parque de Bomberos debido al terremoto de Lorca, hubo que desmantelarla, lo que supuso poner fin a la secuencia original de datos.

En el mes de septiembre de 2012, la estación permanente LOR2 pasa a denominarse LRCA y comienza a funcionar en su nuevo emplazamiento del edificio que el Ayuntamiento de Lorca tiene destinado a Servicios de Seguridad y Protección Civil, situado junto al cauce del Río Guadalentín.

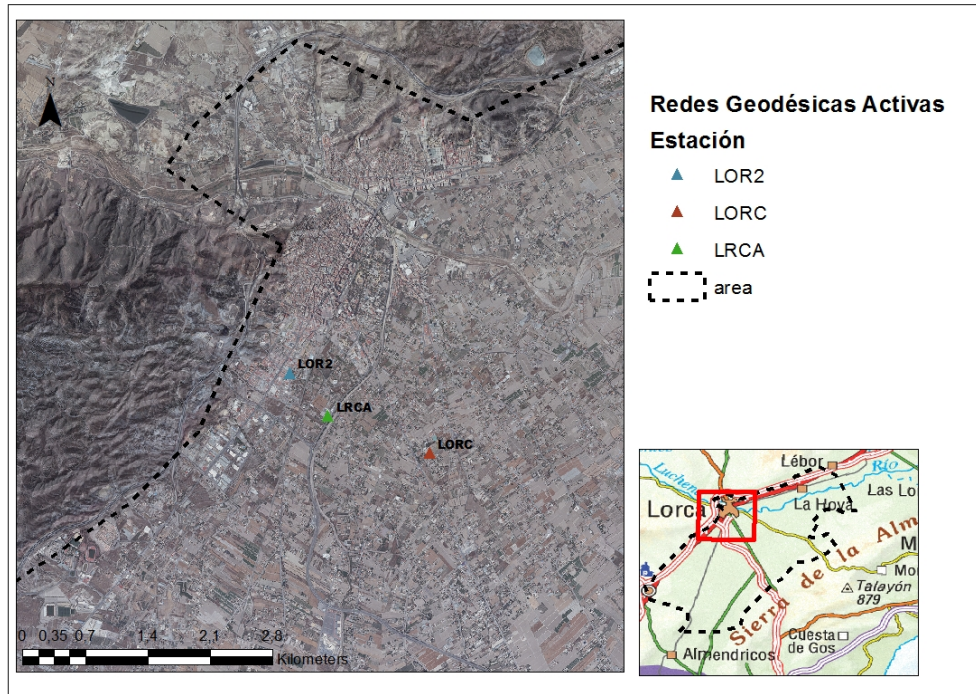


Figura 39. Localización de las estaciones permanentes GNSS de La Región de Murcia (Fuente: Elaboración Propia).

La figura 40, muestra la gráfica extraída del procesado de sus datos RINEX (siglas en inglés de "Receiver INdependent EXchange"). Se trata de un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite) en el período comprendido entre septiembre de 2012 y el mismo mes de 2013. El escaso tiempo transcurrido desde el comienzo de registro de datos de LOR2 en su nuevo emplazamiento, tan solo permite aventurar tendencias, máxime si se considera que el edificio donde se emplaza es de relativa nueva construcción y pudiera estar afectado por movimientos de asentamiento propios, circunstancia a considerar para analizar con prudencia los resultados de dicha estación permanente. La tendencia de subsidencia de esta estación es de 2,7 cm/año.

Igualmente se ha tenido acceso a los ficheros RINEX de la estación permanente LORC de MERISTEMUM (figura 41), que una vez procesados proporcionan unas magnitudes de pérdida de altitud que alcanzan la cifra de 0,163 metros lo que supone una velocidad de subsidencia de 7,7 cm/año.

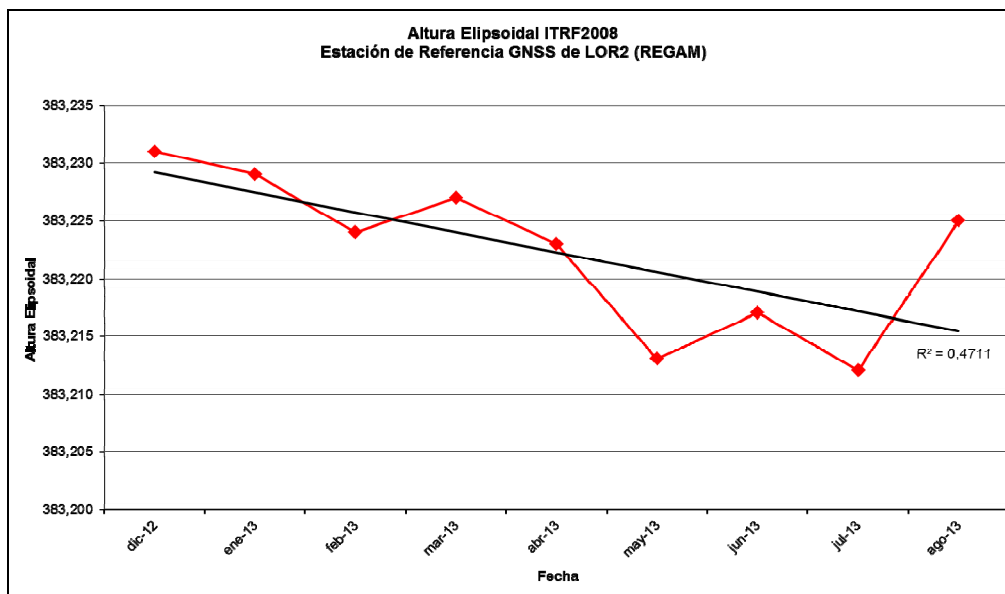


Figura 40. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LOR2 (Fuente: Elaboración Propia).

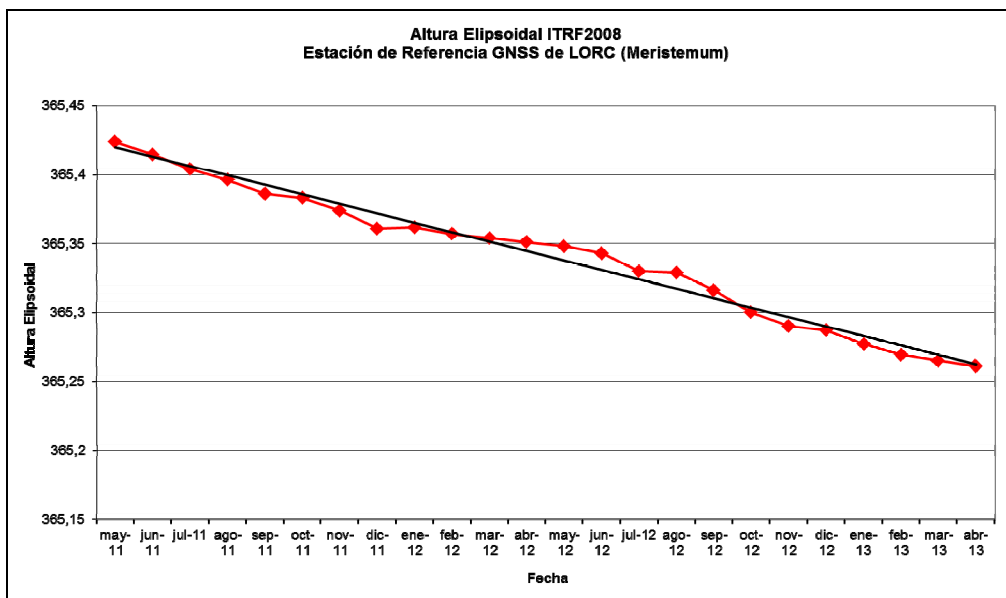


Figura 41. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LORC. (Fuente: Elaboración Propia).

Al margen de la comparación de datos de otros períodos entre ambas estaciones, se trata de evidenciar los del período 2012-2013, observando que a pesar de las consideraciones realizadas sobre el edificio donde se ubica LOR2 la velocidad de subsidencia es de LORC, comparada con la anterior es de 10 veces mayor.

3.3.5. Resultados y Discusión

Las mediciones realizadas en los vértices proporcionan datos de subsidencia, siendo los más relevantes, JERESA y PAREJA a razón de 1,77 cm/año y 0,66 cm/año respectivamente, lo que corrobora los datos subsidentes del radar que se encontraban en torno al 0-2 cm/año.

IV – JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

IV – JUSTIFICACION Y OBJETIVOS

Resulta difícil la evaluación y cuantificación de los costes económicos originados por la subsidencia, debido principalmente a la dificultad de mapear en su totalidad las zonas afectadas. Así mismo, identificar los daños directos e indirectos que causan los hundimientos resulta casi imposible ya estos son prácticamente imperceptibles. A esto hay que sumarle, la dificultad de evaluar los daños económicos producidos por la pérdida de valor del terreno a causa de este fenómeno, y el daño medioambiental, entre otros factores, no fáciles de cuantificar.

En consecuencia, el conocimiento de la distribución espacial y temporal de los fenómenos de subsidencia es esencial para delimitar las áreas afectadas, identificar los mecanismos desencadenantes y/o condicionantes, implantar medidas correctoras y predecir su comportamiento bajo diferentes escenarios futuros.

La evolución de la tecnología y los diversos estudios realizados nos ayudan a la detección de este problema y a las causas que lo determinan, intentando de este modo aplicar las medidas preventivas para evitar o paliar este fenómeno.

La subsidencia que en las últimas décadas afecta al acuífero de la Cuenca Guadalentín-Segura, localmente cuantificada por métodos de interferometría radar, así como en los últimos años por estaciones GNSS activas, ubicadas en torno a la ciudad de Lorca, requiere un análisis continuado en el espacio y en el tiempo por las posibles manifestaciones que pudiera producir este fenómeno en edificaciones, estructuras e infraestructuras.

Como objetivos principales de esta Tesis Doctoral se destacan entre otros:

1. Demostrar que sigue existiendo subsidencia en la Cuenca del Guadalentín hasta hoy día mediante las siguientes técnicas:
 - Interferometría radar (InSAR).
 - Observaciones con instrumental GNSS.
 - Actuaciones geodésicas de control.

2. Demostrar la hipótesis de que la subsidencia producida en el período de tiempo estudiado sigue la tendencia lineal y constante de los últimos años.
3. Demostrar la hipótesis de que el modelo de geoide calculado en la zona difiere del real y cuantificarlo.
4. Ajustar el modelo de geoide en base a los puntos observados mediante la observación simultánea de cotas ortométricas y elipsoidales.
5. Demostrar que el instrumental GNSS que trabajan en el área de Lorca con corrección diferencial con la base de referencia LRCA (REGAM) cometen errores groseros a la hora de calcular cotas ortométricas.

V – DATOS Y METODOLOGIA

V – DATOS Y METODOLOGIA

5.1. DATOS DE PARTIDA

5.1.1. Datos InSAR

El satélite ALOS fue lanzado en enero del 2006 por la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial en enero de 2006. Durante su operación (mayo de 2006 –abril de 2011), recopiló imágenes de radar en escenas de 50 km x 70 km cada 45 días aproximadamente mediante su sensor PALSAR (Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar) entre otros.

Una vez procesado los datos proporcionados por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), se obtuvieron datos de subsidencia en el área de estudio entre junio de 2007 y junio de 2010 en intervalos de tiempo variables de entre 3 y 6 meses. A partir de la nube de puntos obtenida de los dos sensores se han generado modelos digitales de subsidencia acumulada para las siguientes fechas en el caso del satélite ALOS (tabla 14).

Fecha
06/03/2007
22/07/2007
06/09/2007
21/01/2008
23/04/2008
08/06/2008
24/07/2008
11/03/2009
11/09/2009
27/10/2009
14/03/2010
29/04/2010
14/06/2010

Tabla 14. Fechas de análisis del satélite ALOS (Fuente: Elaboración propia).

Por otro lado, COSMO-SKYMED (COntellation of small Satellites for the Mediterranean basin Observation), en adelante CSK, es una constelación de cuatro satélites artificiales, todos ellos con equipos con radar de apertura sintética destinados a realizar observaciones militares, pero cuyos productos están también disponibles para usuarios civiles.

Únicamente se dispone de datos CSK en un intervalo de tiempo de año y medio, con el inconveniente de que no abarcan toda el área de estudio, por lo que se usarán estos datos para validarlos tomando como referencia las estaciones permanentes GNSS.

5.1.2. Redes Geodésicas Activas

La administración pública de la Región de Murcia posee dos estaciones permanentes en el ámbito de Lorca, una de ellas denominada LORC perteneciente a la red MERISTEMUM de la Dirección General de Medio Natural y otra denominada LRCA perteneciente a la red REGAM de la Consejería de Fomento y Obras Públicas.

En lo que a la REGAM se refiere, la estación original, denominada LOR2, se instaló en el año 2008 en el Parque de Bomberos de Lorca, permaneciendo en funcionamiento hasta finales del año 2012. Como consecuencia de los graves daños estructurales del edificio del Parque de Bomberos debido al terremoto de Lorca, hubo que desmantelarla, lo que supuso poner fin a la secuencia original de datos.

En el mes de septiembre de 2012, la estación permanente LOR2 pasa a denominarse LRCA y comienza a funcionar en su nuevo emplazamiento del edificio que el Ayuntamiento de Lorca tiene destinado a Servicios de Seguridad y Protección Civil, situado junto al cauce del río Guadalentín.

Al tratarse de estaciones permanentes GNSS, se obtienen datos cada segundo, y al trabajar en postproceso las precisiones que pueden esperarse son del orden de milímetros. La información generada por las mismas se almacena en ficheros RINEX (siglas en inglés de "Receiver INdependent EXchange"), un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite, como GPS, GLONASS, EGNOS, WAAS o Galileo.

Se han procesado los ficheros RINEX de dichas estaciones en los siguientes períodos de tiempo:

- Estación LORC (MERISTEMUM): 2007-2017
- Estación LOR2 (REGAM): 2008-2013
- Estación LRCA (REGAM): 2013-2017

En la siguiente imagen se muestra la localización de las estaciones GNSS permanentes objeto de estudio.

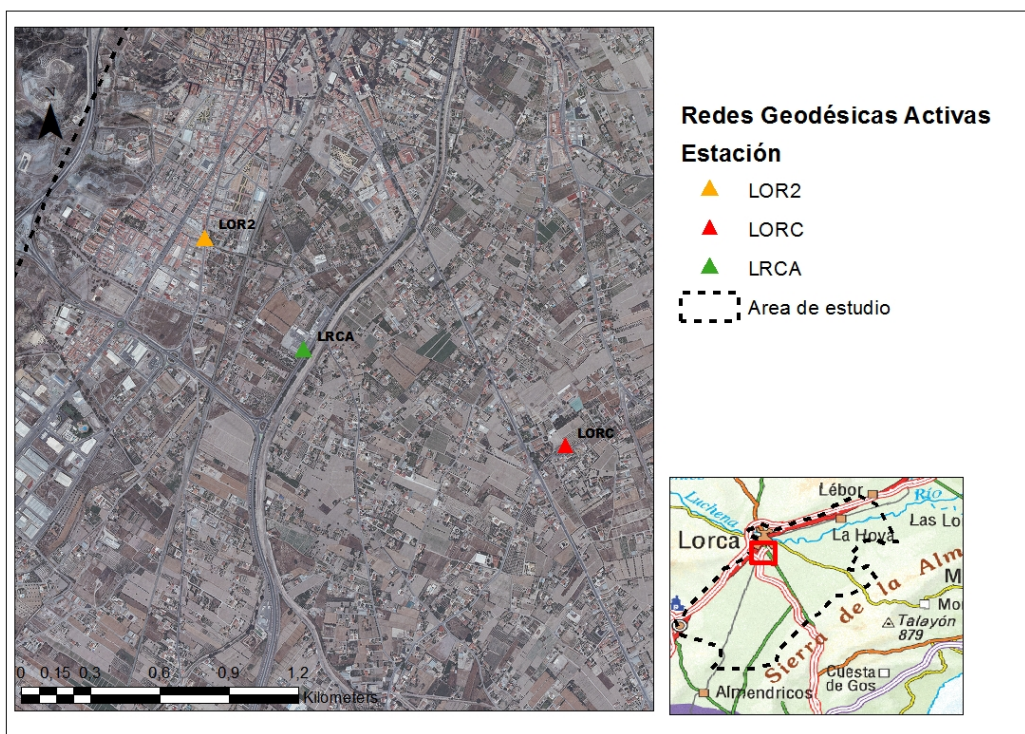


Figura 42. Estaciones permanentes GNSS (Fuente: Elaboración propia).

5.1.3. Red de Nivelación de Alta Precisión REDNAP

La nueva Red de Nivelación de Alta Precisión (REDNAP) fue iniciada en 1999 y finalizada en el año 2007. Todas las líneas que la componen suman una longitud de casi 20.000 kilómetros.

En el año 2008 se procedió a su compensación conjunta, adoptándose un único punto fundamental (nodo de Alicante), materializado por la señal NP1 con un valor geopotencial de 3,34142 u.g.p. referido al nivel medio del mar en Alicante. Para todos los cálculos de la red altimétrica española hasta la fecha, esta señal ha sido fundamental.

El error promedio de todas las líneas REDNAP arroja un error promedio de 0,16 ppm, lo que indica la gran calidad de las observaciones en su conjunto.

El IGN realizó observaciones mediante nivelación geométrica de precisión en las fechas que a continuación se detallan de las cuatro líneas que confluyen en Lorca, con el fin de dotar de cotas ortométricas (H) oficiales al sistema altimétrico REDNAP.

- Línea 326 (Lorca- Caravaca): agosto de 2004.
- Línea 10327 (Lorca-Totana): septiembre de 2004.
- Línea 10426 (Lorca-Águilas): marzo de 2005.
- Línea 832 (Lorca-Cúllar): marzo de 2009.

Así mismo con el fin de dotar cotas elipsoidales (h) a los puntos de la REDNAP, el IGN realizó observaciones, en este caso, con instrumental GPS, en los puntos de la REDNAP, en las siguientes fechas:

- Línea 326 (Lorca- Caravaca): mayo de 2004.
- Línea 10327 (Lorca-Totana): mayo de 2004.
- Línea 10426 (Lorca-Águilas): septiembre de 2005.
- Línea 832 (Lorca-Cúllar): octubre de 2008.

Además de dotar de cotas oficiales tanto elipsoidales como ortométricas, las observaciones de la línea 832 fueron usadas por el IGN, para la generación del nuevo modelo de geoide EGM08-REDNAP.

Posteriormente en 2013 la Consejería de Fomento y Obras Públicas de la Región de Murcia, realizó una campaña de observaciones para determinar cotas elipsoidales mediante instrumental GNSS en las reseñas líneas REDNAP dentro de la zona de estudio en las fechas reflejadas en la siguiente tabla y figura.

Punto REDNAP	Fecha Observación	Punto REDNAP	Fecha Observación
81	08-ene-13	326002	20-feb-13
832103	28-ene-13	326003	21-feb-13
832105	28-ene-13	326004	22-feb-13
832106	28-ene-13	326005	23-feb-13
832102	21-feb-13	326008	24-feb-13
832101	21-feb-13	10426002	28-ene-13
832100	21-feb-13	10426003	22-feb-13
832099	05-feb-13	10426004	11-feb-13
10327002	01-mar-13	10426006	22-feb-13
10327004	01-mar-13	10426007	22-feb-13
10324005	13-feb-13	10426010	26-abr-13
10327007	14-feb-13	10426011	13-feb-13
10327008	14-feb-13	10426012	13-feb-13
10327009	14-feb-13	10426014	05-feb-13
10327011	14-feb-13	10426015	22-feb-13
10327013	14-feb-13	10426001	28-ene-13
10327014	15-feb-13		
10327015	15-feb-13		
10327016	15-feb-13		
10327018	15-feb-13		
10327019	15-feb-13		
10327020	20-feb-13		
10327021	20-feb-13		

Tabla 15. Fechas de observaciones con instrumental GNSS (Fuente: elaboración propia).

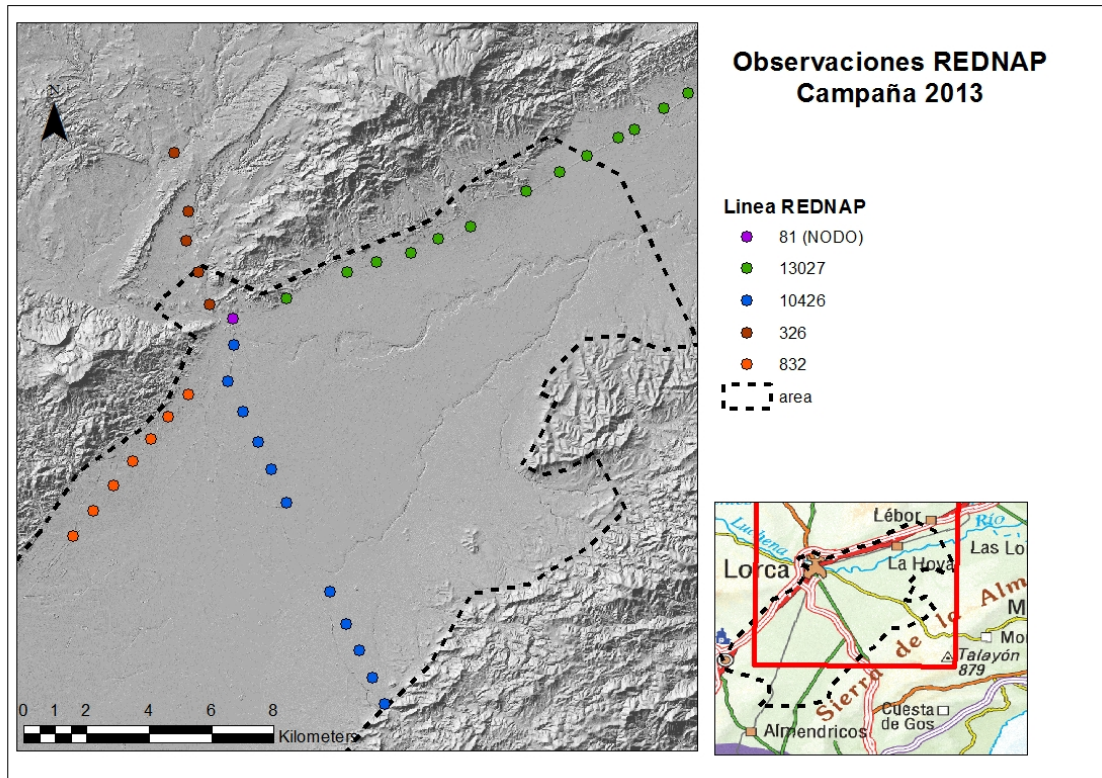


Figura 43. Puntos REDNAP observados en 2013 (Fuente: Elaboración propia).

A principios de 2017, concretamente en enero, se realizan dos campañas de observaciones en las líneas REDNAP 10426 y 832 (figura 44), una para determinar cotas ortométricas mediante nivelación geométrica y otra posterior, dos semanas después, para determinar cotas elipsoidales mediante instrumental GNSS.

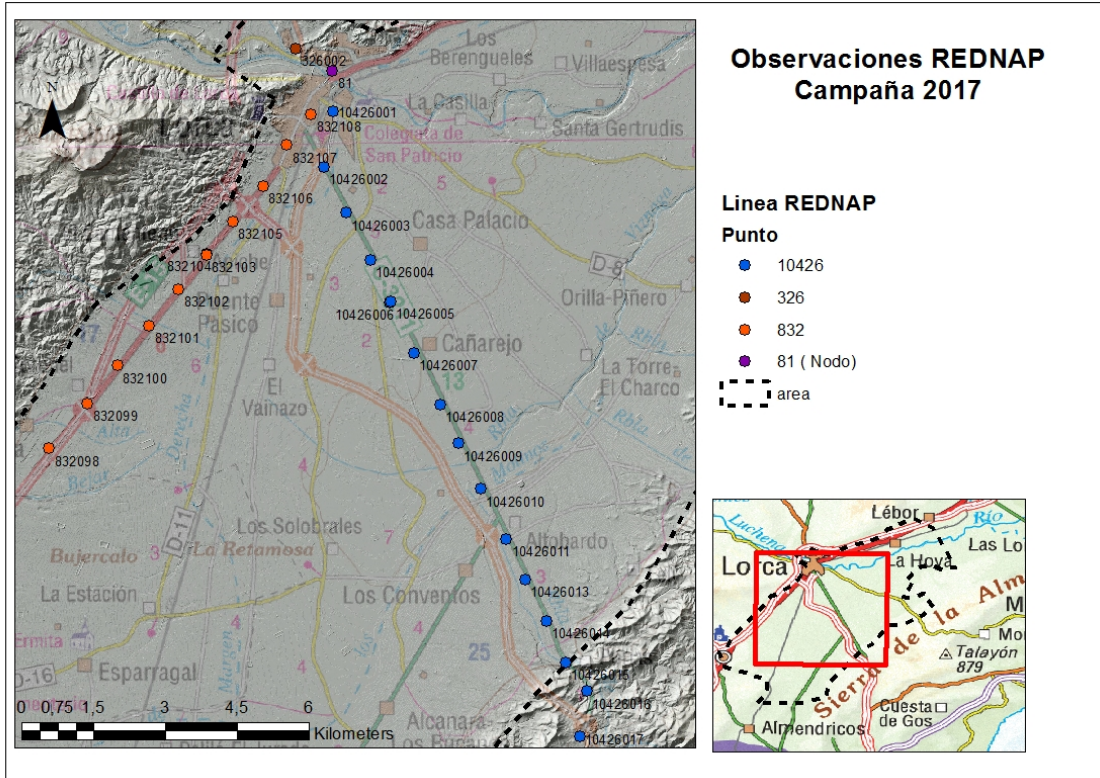


Figura 44. Observaciones ortométricas y elipsoidales de los puntos REDNAP en 2017 (Fuente: elaboración propia).

A continuación, se muestra las tablas resumen de fechas de las observaciones, tanto elipsoidales como ortométricas, que se disponen para el estudio.

LINEA REDNAP	Altura elipsoidal (h)		
	Observación (IGN)	Observación (Admin. pública)	Observación (Autor)
326	2004	2013	-
832	2008	2013	2017
10327	2004	2013	-
10426	2005	2013	2017

Tabla 16. Fechas de observación de cotas elipsoidales (Fuente: Elaboración propia).

LINEA REDNAP	Altura ortométrica (H)	
	Observación (IGN)	Observación (Autor)
326	2004	-
832	2008	2017
10327	2004	-
10426	2005	2017

Tabla 17. Fechas de observación de cotas ortométricas (Fuente: Elaboración propia).

5.2. METODOLOGÍA

A continuación, se describe la metodología usada para el seguimiento de la subsidencia en el área de estudio.

5.2.1. Determinación de incrementos elipsoidales en redes geodésicas activas

Se han procesado los datos extraídos de los ficheros RINEX de las estaciones permanentes GNSS en los períodos disponibles:

- LORC (MERISTEMUM): 2007-2017.
- LOR2 (REGAM): 2008-2013.
- LRCA (REGAM): 2013-2017.

Mediante el software Leica Geo Office se realizó un post-procesamiento de archivos RINEX obteniendo datos de subsidencia diarias con desviaciones estándar que no superan los $\pm 2,5$ mm en ningún caso.

La subsidencia detectada en estas estaciones permanentes nos permitirá validar los resultados obtenidos por INSAR, así como por observaciones realizadas con nivelación geométrica e instrumental GNSS.

Como se observa en la figura 45, dichas estaciones permanentes se encuentran cercanas a varios puntos REDNAP, concretamente la estación LRCA MERISTEMUM se encuentra a 165 metros al este del punto REDNAP 10426004 y la estación LORC se encuentra a 777 y 711 metros de los puntos 832106 y 10426002 respectivamente. La estación LOR2, ya desaparecida, se encontraba en la línea REDNAP entre los puntos 832106 y 832107 según se refleja en la figura 48.

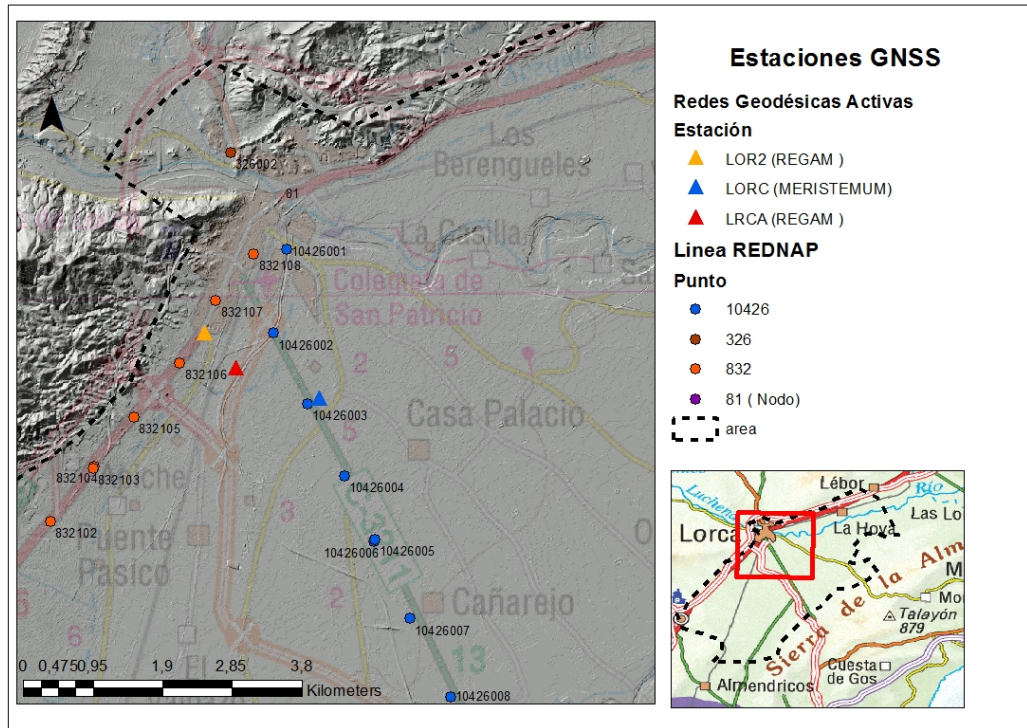


Figura 45. Redes geodésicas activas (Fuente: elaboración propia).

En la figura 46 se muestra la gráfica de los datos procesados de la estación LRCA, que se instaló en el año 2008 en el antiguo Parque de Bomberos de Lorca, permaneciendo en funcionamiento hasta enero de 2012, fecha en la que cambia de emplazamiento.

Se observa que la subsidencia producida en poco más de 3 años es de 2,1 cm lo que supone una velocidad de subsidencia de 6 mm/año.

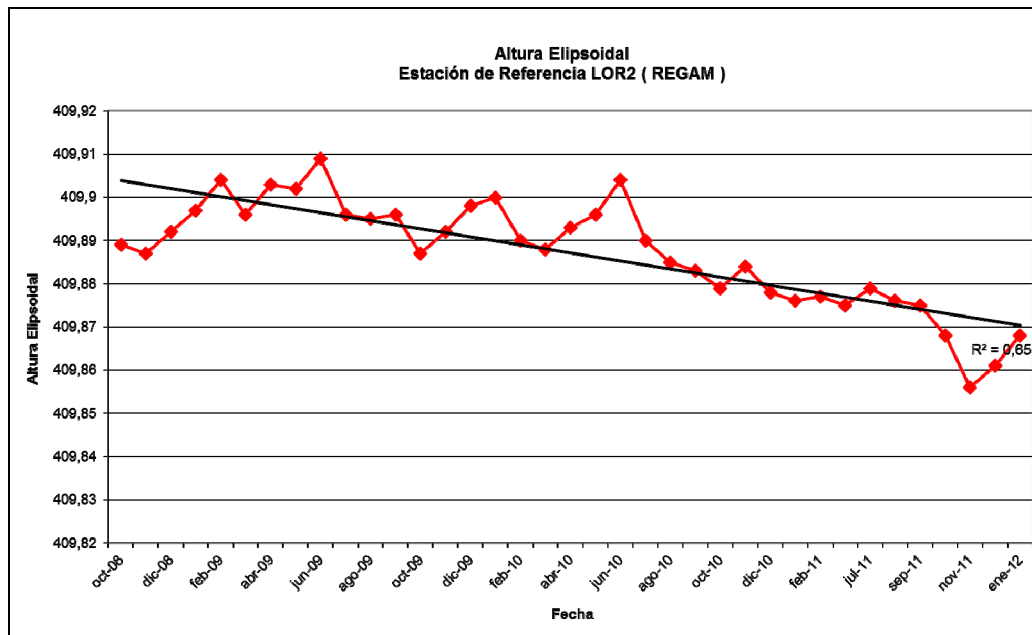


Figura 46. Distribución temporal de la altura Elipsoidal de la estación LOR2(REGAM) (Fuente: Elaboración Propia).

Como se ha comentado esta estación fue trasladada a otra ubicación comenzando a funcionar a finales del año 2012. La figura 47, muestra la gráfica extraída del procesado de los datos RINEX de la nueva estación LRCA, en el período comprendido entre diciembre de 2013 y enero de 2017. En este período el descenso de cota de la estación fue de 10,4 cm, lo que supone una velocidad de subsidencia de 2,5 cm/año.

Igualmente se ha tenido acceso a los ficheros RINEX de la estación permanente LORC (MERISTEMUM) (figura 49), que una vez procesados proporcionan unas magnitudes de pérdida de altitud que alcanza la cifra de 0,717 metros entre las fechas de mayo de 2008 y enero de 2017 lo que supone una velocidad de subsidencia de 8,5 cm/año y completamente lineal.

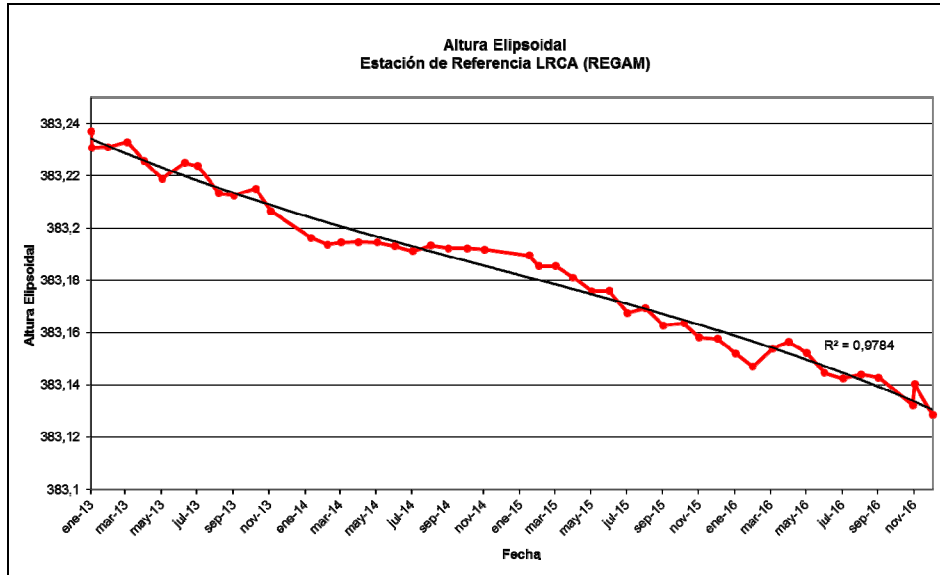


Figura 47. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LORC (Fuente: Elaboración Propia).

ESTACIÓN REFERENCIA GNSS DE LORCA

coordenadas Sist. Geodésico Ref. ETRS89	
geodésicas	cartesianas
lat = 37° 39' 28.45328" N	X = 5053795.953 m
long = 1° 41' 58.46390" W	Y = -149955.492 m
	Z = 3875687.456 m

coordenadas Proyección UTM Huso 30 N	
ETRS89	
X = 614704.848 m	
Y = 4168655.182 m	
Altitudes	
Altitud elipsoidal = 383.282 m	
Altitud ortométrica (EGM 2008 REDNAP) = 332.460 m	

Figura 48. Características de la estación LORC (Fuente: www.sitmurcia.carm.es).

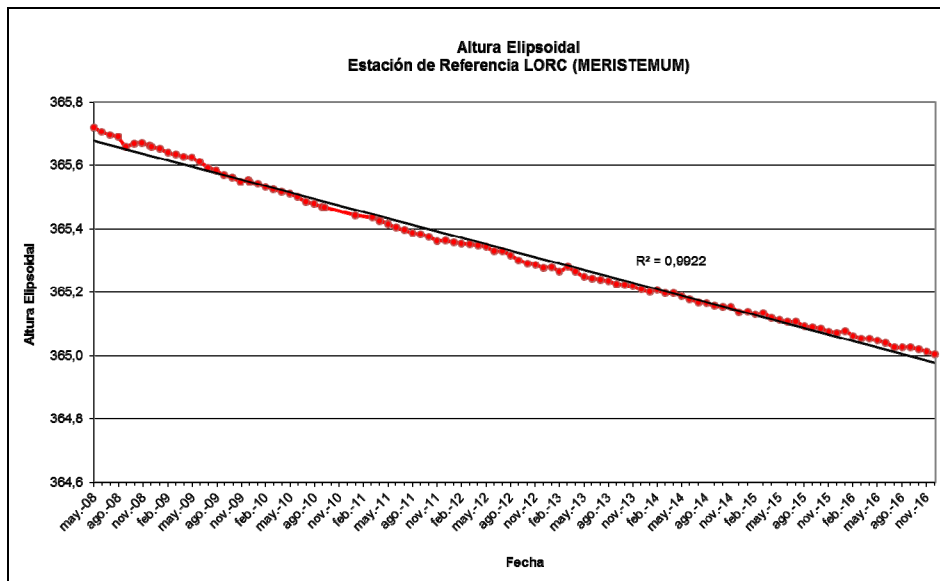


Figura 49. Distribución temporal de la altura elipsoidal de la estación LRCA (Fuente: Elaboración Propia).



Región de Murcia
Consejería de Agricultura y Agua
Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad



Estaciones de referencia GPS

Lorca
(LORC)





Coordenadas				
Datum	Tipo	Valores		
ETRS-89	Geocéntricas (X,Y,Z)	5054087,5130	-148834,1572	3875323,9719
	Geográficas (λ,φ,h)	1°41'12,38774"O 37°39'14,00195"N		365,718
ED-50	UTM (X,Y,h)	615840,074	4168225,523	365,718
	UTM (X,Y,H)	615951,186	4168433,057	314,783

NOTA. h: altura elipsoidal; H: altura ortométrica referida al nivel medio del mar

Sistema

Instalación



Receptor



Figura 50. Características de la estación LRCA (Fuente: <http://gps.medioambiente.carm.es>).

5.2.2. Determinación de subsidencia mediante INSAR

A partir de los datos INSAR del satélite ALOS se han proyectado sobre la vertical el valor de velocidad de la subsidencia referente a la inclinación de los datos obtenidos por el satélite y se ha realizado un filtrado para obtenerlos únicamente en la zona de estudio como se refleja la figura 51.

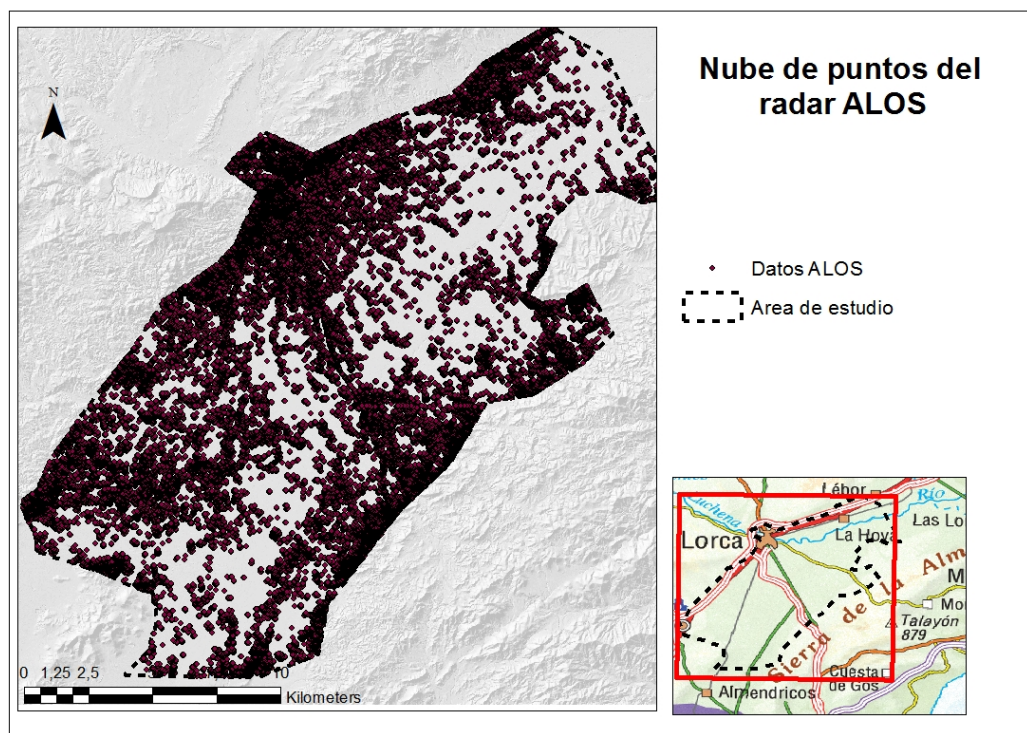


Figura 51. Nube de puntos InSAR correspondiente al satélite ALOS en la zona de estudio

(Fuente: Elaboración propia).

Una vez procesado todos los datos de las diferentes fechas de las que se disponen, se han elaborado 13 modelos digitales de subsidencia acumulada desde 2007 a 2010 así como un modelo digital de velocidad de subsidencia (figura 52) en ese período de 3 años mediante una interpolación IDW (ponderación por distancia) de los datos disponibles.

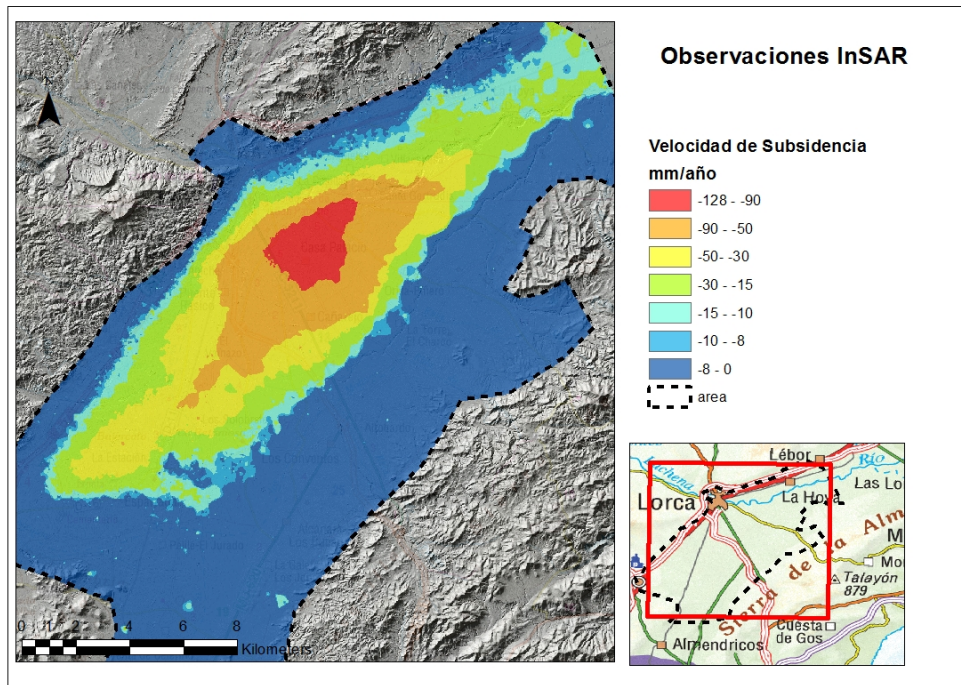


Figura 52. Modelo digital de velocidad de subsidencia calculado entre 2007 y 2010 (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a los datos del satélite CSK, como ya se ha comentado, únicamente se disponen de datos desde mayo de 2011 hasta octubre de 2012 con el inconveniente de la ausencia de datos en zonas de máxima subsidencia (figura 53), por lo que resulta inviable la realización de un modelo digital de subsidencia en la zona.

Puesto que se tienen datos del satélite CSK en la zona donde se ubica la estación permanente LORC de MERISTEMUM, se realizó una comparación entre ambos valores de subsidencia.

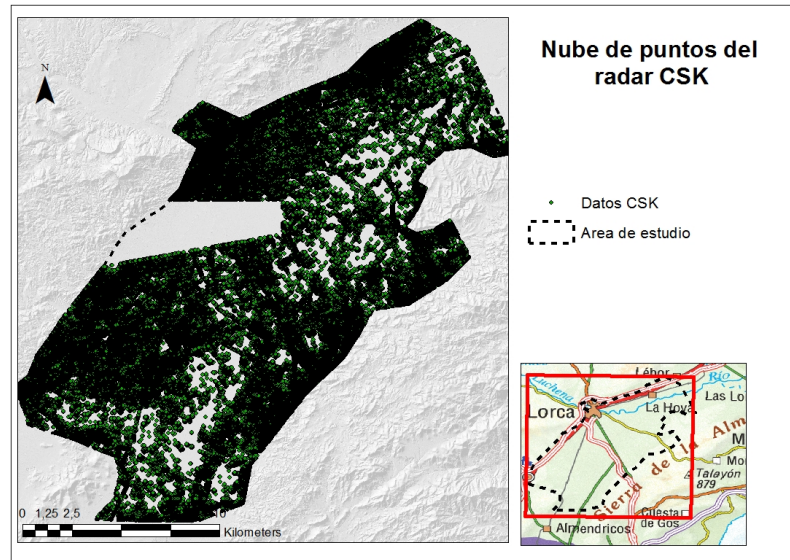


Figura 53. Nube de puntos INSAR correspondiente al satélite CSK en la zona de estudio (Fuente: Elaboración propia).

Para establecer dicha comparativa se han obtenido los datos de velocidad de deformación del Satélite CSK en un radio de acción de 100 metros tomando como referencia la estación LORC.

Para determinar valores comparables con los de la estación, se ha realizado la media aritmética de todos los datos del radar en ese radio de acción y se han obtenido velocidades de deformación cada 5-8 días en un período de 1,5 años que se han traducido en valores de subsidencia para poder compararlos con los de la estación permanente.

En la figura 54 se comparan los resultados obtenidos para cada caso observando una subsidencia prácticamente idéntica.

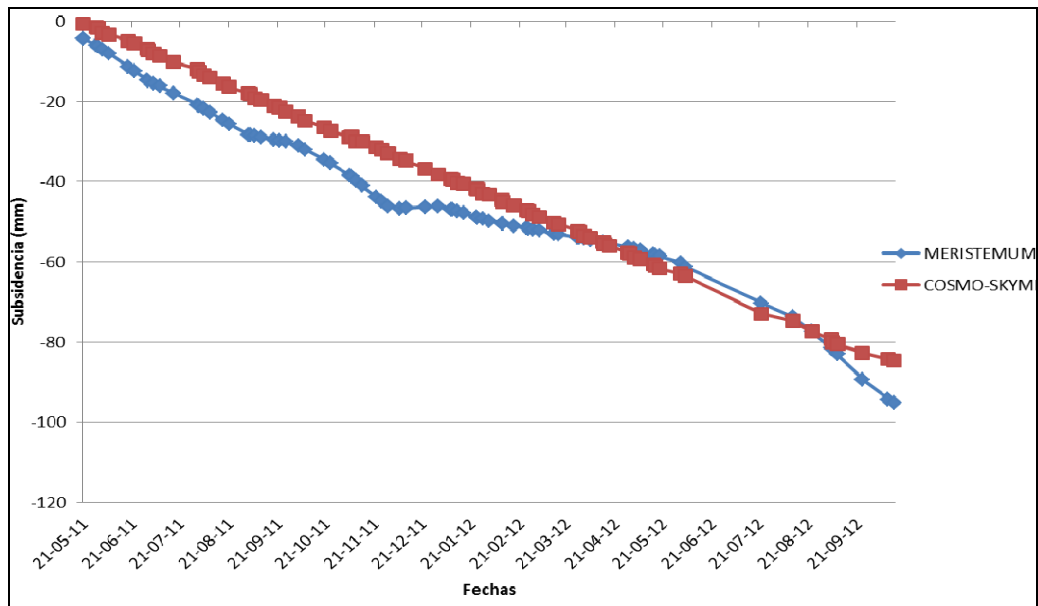


Figura 54. Comparativa de subsidencia entre la observada en la estación LORC de MERISTEMUM y datos del satélite CSK (Elaboración propia).

En el período estudiado, el análisis de dichos datos, nos muestra que la estación LORC de MERISTEMUM registra un descenso de 9,52 cm en el período mencionado lo que supone una velocidad de deformación de 6,79 cm/año.

Los datos radar nos muestra un descenso total de 8,46 cm lo que supone una velocidad de deformación de 6,04 cm/año.

5.2.3. Determinación de incrementos ortométricos con nivel de precisión

En febrero de 2017 se realiza una campaña de nivelación geométrica de precisión compuesta por un total de 27 tramos de aproximadamente 1000 metros cada uno tomando como referencia las reseñas de las distintas líneas REDNAP. Cada tramo observado tiene como origen y final reseñas de las líneas REDNAP 832, 10426 y 326 que han sido identificadas en base a la información oficial suministrada por el IGN y que pueden consultarse el anexo 2 de esta Tesis Doctoral.

En la figura 55 se muestra un ejemplo de la información de una reseña de la línea REDNAP 10426 proporcionada por el IGN.

Reseña de Señal de Nivelación		31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426001 Nombre: SDESCALERA Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 426)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTNSO: 053 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004</p> <p>Nivelada:</p>		
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 325,8274 m. Geopotencial: 319,27566 u.g.p. Gravedad en superficie: 979878,21 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>		
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 41' 29,503" Latitud: 37° 40' 21,294" Altitud elipsoidal: 376,7 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>		
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico inrustado aproximadamente al margen E de la calle que bordeando la rambla por el W, conduce a la Carretera C-3211 a Águilas, en la cara superior del muro de contención, 100 m. al S del puente de la Torre, y a unos 1000 m. de la anterior (roco).</p>		
<p>Entlaces:</p> <p>Anterior: 81 - NGV8311 (Lorca) Posterior: 10426002 - SSCAUCE Agrupada con:</p>		
<p>Observaciones:</p>		
		

Figura 55. Ejemplo de reseña de señal de nivelación de la REDNAP (fuente: IGN).

Las reseñas son identificables por un clavo metálico semiesférico incrustado en el suelo, si bien debido a la modificación del terreno por la acción del hombre, muchos de estos se han perdido o han sido modificados de lugar con la consiguiente pérdida de información.

Se ha partido de la reseña 10426017 (denominado también SSSOS1) localizada en la vía de servicio de la carretera RM-11 Lorca-Águilas perteneciente a la línea REDNAP 10426 y finalizando en la reseña 832098 (denominado también NGAB828) de la línea REDNAP 832 (que a su vez se trata de un vértice geodésico denominado JERESA).

Dicha nivelación se ha realizado con un nivel digital SPRINTER 100 de LEICA (figura 58) realizando doble estacionamiento, simulando la ida y vuelta y con miras de código de barras. Las longitudes de nivelada han sido en torno a los 30 metros recomendado por el fabricante para no superar un error kilométrico de $2/\sqrt{K}$.



Figura 56. Fotografía del nivel SPRINTER 100 utilizado (Fuente: Elaboración propia).



Figura 57. Fotografía de una observación mediante nivelación geométrica (Fuente: Elaboración propia).

Para la elección del punto de partida era necesario uno libre de subsidencia para asignarle la misma cota que la oficial. Basándonos en los datos INSAR del satélite ALOS y CSK se observa que no existe subsidencia en las zonas de suelo rocoso por lo que se ha optado como punto de inicio y por lo tanto libre de subsidencia el punto 1042601 también denominado SSSOS1 perteneciente a la línea REDNAP 10426.

Partiendo de la reseña de referencia se ha nivelado geoméricamente 27 tramos hasta llegar al punto 832098 de la línea REDNAP 832 (Lorca-Cúllar) dotando de nuevas cotas ortométricas a los puntos que han sido identificados por los clavos dispuestos por el IGN y no han sufrido modificación alguna según se refleja en la siguiente figura.

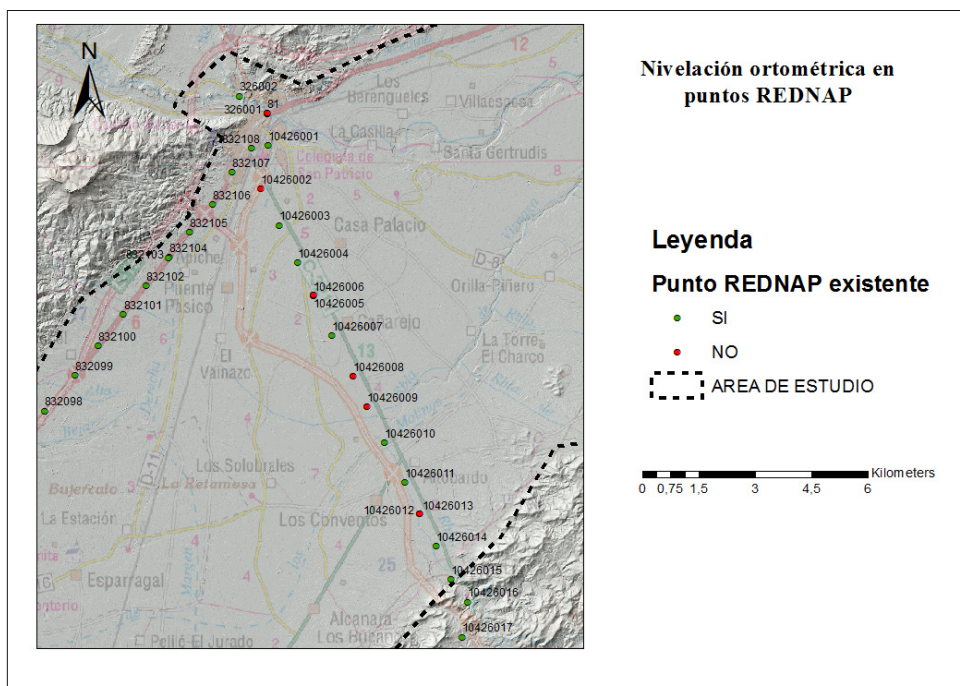


Figura 58. Nivelación geométrica sobre puntos REDNAP observados en 2017 (Fuente: Elaboración propia).

Las reseñas que no han podido ser identificadas debido a su desaparición por la modificación del terreno no se les puede dotar de cota ortométrica, por lo que no se puede determinar la subsidencia en ese punto, si bien se ha establecido una nueva reseña de referencia para futuros estudios. De esta manera mediante la

diferencia de cotas ortométricas en diferentes fechas se determina la subsidencia producida (ΔH) según se refleja en la siguiente tabla

Orden de Observación	Reseña REDNAP	ΔH (metros)	σ_s (mm)
1	10426017	0	
2	10426016	-0,0094	$\pm 16,50$
3	10426015	-0,0266	$\pm 16,66$
4	10426014	-0,0367	$\pm 17,67$
5	10426013	-	$\pm 17,81$
6	10426011	-0,0578	$\pm 18,92$
7	10426010	-0,1008	$\pm 19,91$
8	10426009	-	$\pm 19,93$
9	10426008	-	$\pm 19,98$
10	10426007	-0,8977	$\pm 21,08$
11	10426006	-	$\pm 24,20$
12	10426004	-1,2152	$\pm 24,27$
13	10426003	-1,1635	$\pm 26,21$
14	10426002	-	$\pm 26,68$
15	10426001	-0,2684	$\pm 29,30$
16	81	-0,0889	$\pm 29,71$
17	326002	-0,0675	$\pm 31,22$
18	832108	-0,1503	$\pm 31,35$
19	832107	-0,1408	$\pm 31,41$
20	832106	-0,1931	$\pm 31,79$
21	832105	-0,1978	$\pm 32,35$
22	832104	-0,2024	$\pm 32,85$
23	832103	-0,1998	$\pm 32,88$
24	832102	-0,1694	$\pm 32,89$
25	832101	-0,1822	$\pm 33,14$
26	832100	-0,2522	$\pm 33,35$
27	832099	-0,1837	$\pm 33,83$
28	832098	-0,1785	$\pm 35,28$

Tabla 18. Subsidencia mediante nivelación geométrica (Fuente: Elaboración propia).

Puesto que las fechas de observación de referencia son diferentes para cada línea REDNAP, se han convertido los resultados de subsidencia absoluta en ese período en velocidades de subsidencia (mm/año).

Orden de Observación	Reseña REDNAP	Velocidad subsidencia (mm/año)
1	10426017	0
2	10426016	-0,8
3	10426015	-2,25
4	10426014	-3,11
5	10426013	-
6	10426011	-4,89
7	10426010	-8,54
8	10426009	-
9	10426008	-
10	10426007	-76,01
11	10426006	-
12	10426004	-102,9
13	10426003	-98,52
14	10426002	-
15	10426001	-22,73
16	81	-11,32
17	326002	-5,45
18	832108	-19,15
19	832107	-17,94
20	832106	-24,6
21	832105	-25,2
22	832104	-25,78
23	832103	-25,45
24	832102	-21,58
25	832101	-23,21
26	832100	-32,13
27	832099	-23,4
28	832098	-22,74

Tabla 19. Velocidad de subsidencia mediante nivelación geométrica (Fuente: elaboración propia).

En la figura 59, se representa espacialmente los datos de velocidad de subsidencia en las reseñas que han podido ser identificadas.

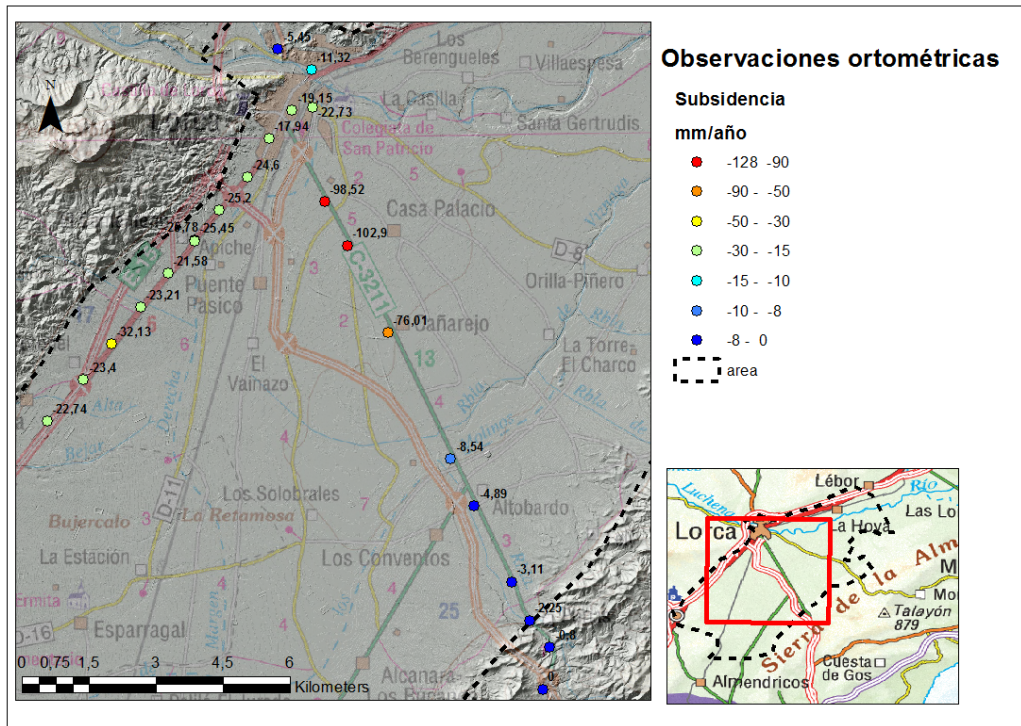


Figura 59. Velocidad de subsidencia en milímetros / año de los puntos REDNAP observados (Fuente: Elaboración propia).

Las líneas 10327 y 326 no han sido observadas, únicamente el punto ya que dichas líneas discurren por el margen de la autovía, en el caso de la primera, y por el arcén de la carretera Lorca-Caravaca en el segundo caso con la peligrosidad que ello conlleva.

Como se ha comentado cada nivelada se ha realizado con doble lectura desestacionando y volviendo a estacionar el nivel para la realización de una nueva lectura. Esto permite asegurarnos que no existen errores significativos en las lecturas de cada nivelada además de permitirnos calcular el error cometido en cada tramo y comprobar que estamos dentro de la tolerancia del error.

Considerando el error cometido en cada tramo (σ) la diferencia entre las dos lecturas en ese tramo, el error total (último punto observado) se calcula como la composición cuadrática de todos los errores:

$$\sigma_T^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_i^2$$

Siendo el error total resultante:

$$\sigma_T = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_i^2} = 35,28 \text{ mm}$$

Y para que el error esté dentro de tolerancia tiene que cumplirse que:

$$\sigma_T \leq 7\sqrt{K}$$

Siendo K la longitud total de la nivelación geométrica en kilómetros.

En este caso la longitud total observada es de 27.166 metros por lo que se estaría dentro de la tolerancia del error

$$\sigma_T = 35,28 \leq 36,48 \text{ mm}$$

5.2.4. Determinación de incrementos elipsoidales con instrumental GNSS

El instrumental GNSS permite obtener aparte de magnitudes horizontales, la altura de los puntos referida a una superficie analítica como es el elipsoide asociado al datum geodésico mundial WGS84 (h).

Así mismo podemos obtener la cota ortométrica (H) ya que estas dos están relacionadas por el modelo de ondulación del geoide EGM08-REDNAP establecida por el IGN en 2008.

Se ha dotado de incrementos de altitud elipsoidal a las señales REDNAP que han podido ser identificadas, los mismos puntos localizados para la nivelación ortométrica. Ello se lleva a cabo a través de instrumental GNSS con corrección diferencial, de esta forma se obtienen incrementos de altitud y pueden compararse con sus valores originales.

Como se refleja en la tabla 20, se han realizado dos campañas de observación con instrumental GNSS, la primera en 2013 realizada por la Consejería de Fomento y Obras Públicas de la Región de Murcia y la segunda, a principios de 2017 por el autor de esta Tesis Doctoral, de tal manera que puede compararse con las cotas elipsoidales oficiales del IGN observadas en diferentes años, de tal manera que se tiene dos períodos de tiempo en las líneas para el análisis de la evolución de la subsidencia.

LINEA REDNAP	Altura elipsoidal (h)		
	Observación (IGN)	Observación (Administración Pública)	Observación (Autor)
326	2004	2013	-
832	2008	2013	2017
10327	2004	2013	-
10426	2005	2013	2017

Tabla 20. Fechas de las distintas campañas de observaciones elipsoidales con instrumental GNSS (Fuente: Elaboración propia).

En la campaña realizada en 2013 se observaron los siguientes puntos REDNAP según se muestra en la siguiente figura 60

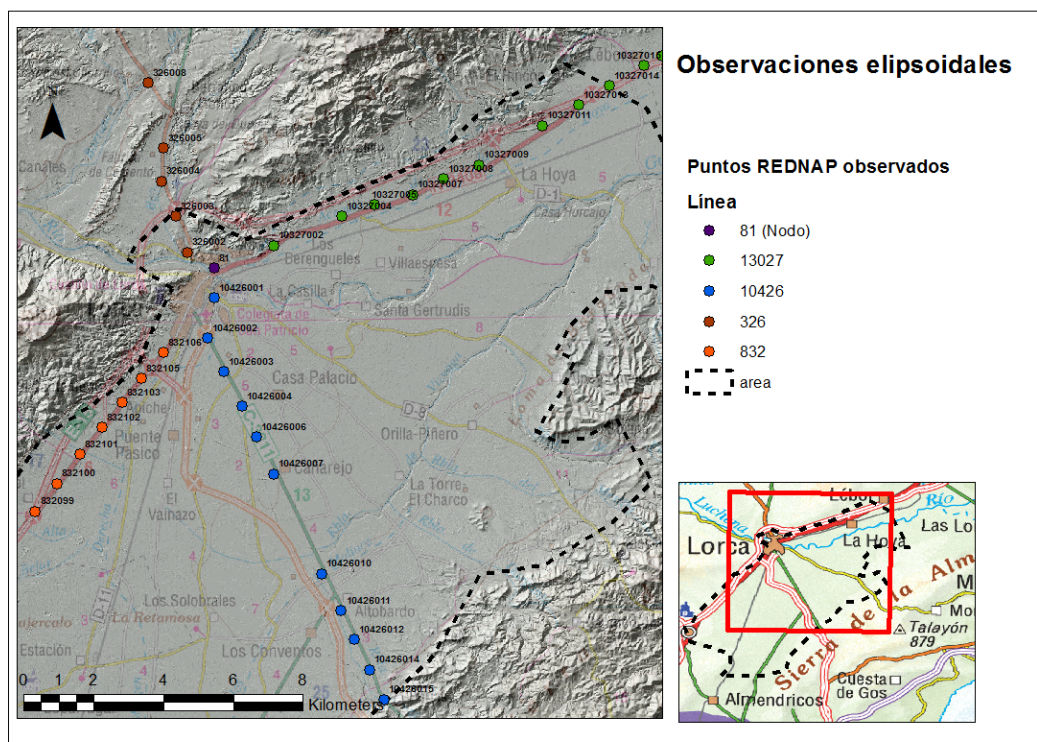


Figura 60. Observaciones elipsoidales de puntos REDNAP en 2013 (Fuente: Elaboración propia).

Para analizar la subsidencia en el primer período de tiempo (desde la fecha de referencia de cada línea, hasta 2013), se han usado las cotas ortométricas

oficiales del IGN (obtenidas mediante nivelación geométrica) ya que las precisiones de las cotas elipsoidales de referencia varían desde $\pm 0,1\text{m}$ en el mejor de los casos a $\pm 10\text{ m}$ en el peor de ellos, precisiones insuficientes cuando se analiza la subsidencia con precisión milimétrica.

A partir de los valores elipsoidales observados (h_{GNSS}) se han obtenido los correspondientes valores ortométricos (H_{GNSS}) mediante el modelo de geoide para compararlos con los establecidos como referencia por el IGN.

Cabe destacar el erro promedio y estándar de 5 y 6 cm respectivamente que se comete al transformar alturas elipsoidales a ortométricas y viceversa en la línea 832 según las observaciones realizadas por el IGN (tabla 20).

Línea REDNAP	Nº señales observadas	Diferencia promedio (m)	Desviación estándar (m)
813	12	0.031	0.038
822	17	0.017	0.021
823	18	0.052	0.030
824	16	0.028	0.036
825	18	0.027	0.033
827	19	0.052	0.059
829	23	0.059	0.031
830	16	0.026	0.034
831	19	0.050	0.032
832	14	0.050	0.061
833	16	0.035	0.045
Promedio	Total 188	0.038	0.038

Tabla 21. Errores promedio y estándar en diferentes líneas observadas (Fuente: IGN).

En cualquier caso, como no se dispone de otra información, es la única forma de establecer una comparación de cotas en diferentes fechas, y, por lo tanto, de determinar la subsidencia.

Estableciendo la diferencia de cotas ortométricas entre la fecha de referencia observada por el IGN y la de observación en 2013 para cada punto se obtiene la subsidencia producida en ese período de tiempo (tabla 22).

Punto REDNAP	HREDNAP	Fecha IGN	HGNSS	Fecha Observación	ΔH (metros)
81	328,944	01/03/2009	328,866	01/03/2013	-0,078
326002	335,254	21/08/2004	335,217	21/02/2013	-0,037
326003	353,286	21/08/2004	353,276	20/02/2013	-0,01
326004	359,33	20/08/2004	359,323	20/02/2013	-0,007
326005	379,986	20/08/2004	379,982	20/02/2013	-0,004
326008	413,238	20/08/2004	413,216	05/02/2013	-0,022
832099	355,236	01/03/2009	355,099	05/02/2013	-0,137
832100	343,159	01/03/2009	342,958	21/02/2013	-0,201
832101	347,792	01/03/2009	347,642	21/02/2013	-0,15
832102	333,692	01/03/2009	333,577	21/02/2013	-0,115
832103	329,117	01/03/2009	328,975	28/01/2013	-0,142
832105	334,389	01/03/2009	334,236	28/01/2013	-0,153
832106	334,805	01/03/2009	334,667	28/01/2013	-0,138
10327002	324,782	07/09/2004	324,655	01/03/2013	-0,127
10327004	306,355	07/09/2004	306,209	01/03/2013	-0,146
10327005	297,262	07/09/2004	297,13	13/02/2013	-0,132
10327007	294,284	06/09/2004	294,13	14/02/2013	-0,154
10327008	293,283	06/09/2004	293,069	14/02/2013	-0,214
10327009	289,672	06/09/2004	289,518	14/02/2013	-0,154
10327011	270,806	03/09/2004	270,623	14/02/2013	-0,183
10327013	260,588	03/09/2004	260,44	14/02/2013	-0,148
10327014	250,384	02/09/2004	250,115	15/02/2013	-0,269
10327015	251,637	02/09/2004	251,439	15/02/2013	-0,198
10327016	256,796	02/09/2004	256,676	15/02/2013	-0,12
10327018	267,722	02/09/2004	267,646	15/02/2013	-0,076
10327019	255,973	01/09/2004	255,877	15/02/2013	-0,096
10327020	255,01	01/09/2004	254,937	20/02/2013	-0,073
10327021	242,063	01/09/2004	242,048	05/02/2013	-0,015
10426001	325,827	17/03/2005	325,601	28/01/2013	-0,226
10426002	321,556	17/03/2005	321,147	28/01/2013	-0,409
10426003	309,09	17/03/2005	308,182	22/02/2013	-0,908
10426004	305,1758	17/03/2005	304,196	11/02/2013	-0,98
10426006	297,999	17/03/2005	297,198	02/02/2013	-0,801

10426007	295,457	17/03/2005	294,708	22/02/2013	-0,749
10426008	294,4501	17/03/2005	-	-	-
10426009	293,5849	17/03/2005	-	-	-
10426010	300,658	16/03/2005	300,518	13/02/2013	-0,14
10426011	324,834	16/03/2005	324,754	13/02/2013	-0,08
10426012	344,108	16/03/2005	344,016	13/02/2013	-0,092
10426014	369,551	16/03/2005	369,423	05/02/2013	-0,128
10426015	397,81	16/03/2005	397,715	22/02/2013	-0,095
10426016	436,8632	16/03/2005	-	-	-
10426017	478,0463	16/03/2005	-	-	-

Tabla 22. Cotas ortométricas observadas y cálculo de subsidencia en 2013 (Fuente: elaboración propia).

Puesto que las fechas de observación de referencia (H_{REDNAP}) son diferentes para cada punto, la línea 832 fue observada a mediados de 2009 mientras que el resto lo fueron entre 2004 y 2005 según se aprecia en la tabla anterior, es necesario convertir los resultados de subsidencia absoluta en velocidades de subsidencia (milímetros/año) para obtener resultados comparables. En la tabla 23 y figura 61 se muestran los datos de velocidad de subsidencia.

Punto REDNAP	ΔH (metros)	Subsidencia (mm/año)	Punto REDNAP	ΔH (metros)	Subsidencia (mm/año)
81	-0,078	-19,487	10327015	-0,198	-23,403
326002	-0,037	-4,348	10327016	-0,12	-14,184
326003	-0,01	-1,176	10327018	-0,076	-8,983
326004	-0,007	-0,823	10327019	-0,096	-11,343
326005	-0,004	-0,47	10327020	-0,073	-8,612
326008	-0,022	-2,598	10327021	-0,015	-1,778
832099	-0,137	-34,798	10426001	-0,226	-28,702
832100	-0,201	-50,492	10426002	-0,409	-51,943
832101	-0,15	-37,681	10426003	-0,908	-114,322
832102	-0,115	-28,889	10426004	-0,98	-123,857
832103	-0,142	-36,27	10426006	-0,801	-101,551
832105	-0,153	-39,08	10426007	-0,749	-94,303
832106	-0,138	-35,248	10426008	-	-
10327002	-0,127	-14,968	10426009	-	-

10327004	-0,146	-17,207	10426010	-0,14	-17,676
10327005	-0,132	-15,638	10426011	-0,08	-10,1
10327007	-0,154	-18,232	10426012	-0,092	-11,615
10327008	-0,214	-25,336	10426014	-0,128	-16,205
10327009	-0,154	-18,232	10426015	-0,095	-11,957
10327011	-0,183	-21,645	10426016	-	-
10327013	-0,148	-17,505	10426017	-	-
10327014	-0,269	-31,796			

Tabla 23. Subsistencia calculada mediante observaciones con instrumental GNSS entre las fechas de referencia y 2013 (Fuente: elaboración propia).

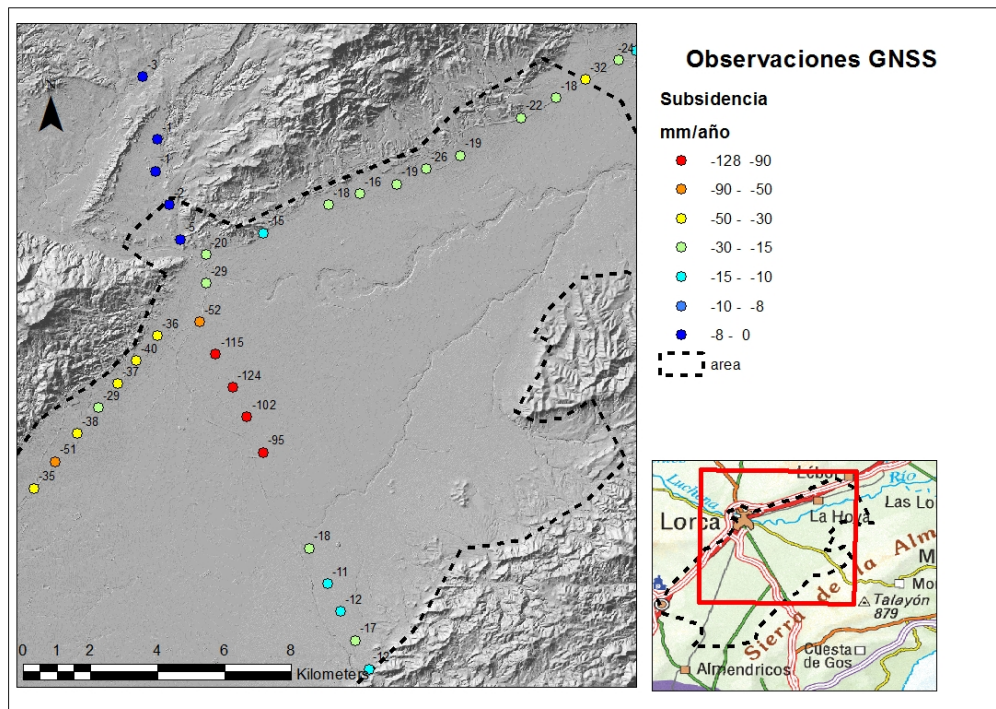


Figura 61. Velocidades de subsidencia (mm/año) entre la fecha de referencia y 2013 (Fuente: Elaboración propia).

En enero de 2017, el autor de esta Tesis Doctoral realiza una campaña de observaciones elipsoidales únicamente en las líneas 832 y 10426 mediante un GPS LEICA 1200 con antena ATX1230 GG (figura 62), con tiempos de estacionamiento superiores a 20 minutos mediante jalón y trípode, en condiciones meteorológicas

óptimas. Se ha trabajado con conexión a satélites GPS y GLONASS con corrección diferencial en RTK (tiempo real) con la base de referencia LRCA (REGAM) con observaciones cada 0,2 segundos.



Figura 62. GPS LEICA 1200 con antena ATX1230GG (Fuente: Leica).

Durante el proceso de observaciones de datos en tiempo real se han obtenido precisiones de entre 1 y 3 cm, no siendo suficientes para determinar pequeñas variaciones en los últimos 4 años (2013-2017), por lo que se ha optado por trabajar con post-proceso de los archivos RINEX tanto del instrumental GNSS como con los de la estación de referencia consiguiendo precisiones de ± 1 mm.

Después de analizar los resultados obtenidos se observó que existía subsidencia, pero en este caso positiva, todo lo contrario, a lo que apuntaban las estaciones permanentes LRCA y LORC. Después de analizar posibles causas, se observó que la cota que suministra la estación de referencia LRCA (REGAM), tanto en tiempo real para la corrección diferencial, como en sus archivos RINEX, son las de la fecha de instalación de la misma (finales de 2012), es decir, una cota elipsoidal de 383,2824 m frente a los 383,1310 m, que es la que tiene actualmente debido a la subsidencia de los últimos años.

Efectuando las correcciones pertinentes en los RINEX de la estación base de referencia se han obtenido los siguientes resultados en el período de tiempo 2013-2017.

Pto REDNAP	hGNSS (2013)	Fecha	hGNSS (2017)	Fecha	ΔH (metros)
81	379,696	1-3-13	379,734	25-3-17	0,038
326002	386,047	21-2-13	386,035	25-3-17	-0,012
832098	-	-	429,716	25-3-17	-
832099	406,007	5-2-13	405,937	25-3-17	-0,070
832100	393,878	21-2-13	393,758	25-3-17	-0,120
832101	398,512	21-2-13	398,470	25-3-17	-0,042
832102	384,447	21-2-13	384,329	25-3-17	-0,118
832103	379,828	28-1-13	379,777	25-3-17	-0,051
832104	-	-	379,993	25-3-17	-
832105	385,078	28-1-13	385,013	25-3-17	-0,065
832106	385,505	28-1-13	385,458	25-3-17	-0,048
832107	-	-	383,745	25-3-17	-
832108	-	-	-	-	-
10426001	376,411	28-1-13	376,392	25-3-17	-0,020
10426002	371,962	28-1-13	371,819	-	-
10426003	358,972	22-2-13	358,642	25-3-17	-0,330
10426004	354,987	11-2-13	354,695	25-3-17	-0,292
10426006	347,979	2-2-13	349,399	-	-
10426007	345,479	22-2-13	345,312	25-3-17	-0,162
10426008	-	-	344,372	-	-
10426009	-	-	343,871	-	-
10426010	351,294	13-2-13	351,245	25-3-17	-0,049
10426011	375,515	13-2-13	375,444	25-3-17	-0,071
10426012	394,777	13-2-13	394,924	-	-
10426014	420,176	5-2-13	420,170	25-3-17	-0,007
10426015	448,459	22-2-13	448,460	25-3-17	0,002
10426016	-	-	487,463	25-3-17	-
10426017	-	-	528,652	25-3-17	-

Tabla 24. Observaciones elipsoidales sobre puntos REDNAP en 2017 (Fuente: elaboración propia).

Se convierte la diferencia de cota calculada a velocidad de subsidencia para homogeneizar los valores de subsidencia de las líneas REDNAP según se muestra en la tabla 25 y figura 63.

Pto. REDNAP	Δh (metros)	Subsidencia (mm/año)	Pto. REDNAP	Δh (metros)	Subsidencia (mm/año)
81	0,038	9,41	10426001	-0,020	-4,69
326002	-0,012	-2,86	10426002	-	-
832098	-	-	10426003	-0,330	-80,63
832099	-0,070	-16,89	10426004	-0,292	-70,92
832100	-0,120	-29,24	10426006	-	-
832101	-0,042	-10,29	10426007	-0,162	-39,63
832102	-0,118	-28,77	10426008	-	-
832103	-0,051	-12,19	10426009	-	-
832104	-	-	10426010	-0,049	-11,86
832105	-0,065	-15,70	10426011	-0,071	-17,29
832106	-0,048	-11,46	10426012	-	-
832107	-	-	10426014	-0,007	-1,60
832108	-	-	10426015	0,002	0,37
			10426016	-	-
			10426017	-	-

Tabla 25. Subsidencia calculada mediante observaciones con instrumental GNSS entre 2013 y 2017 (Fuente: elaboración propia).

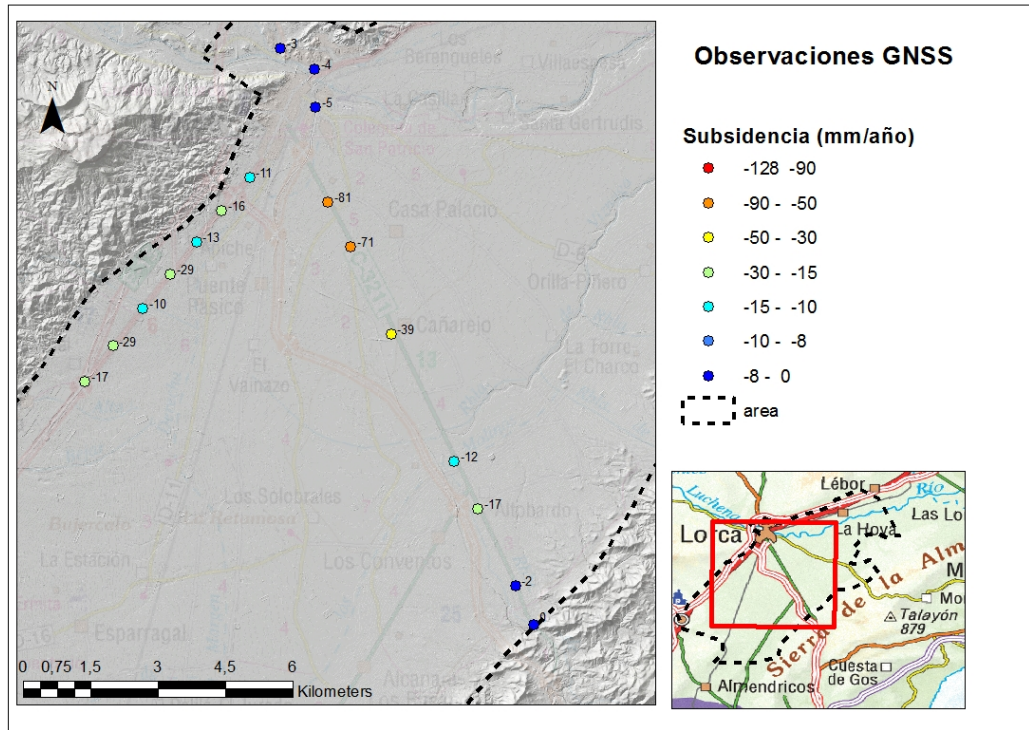


Figura 63. Velocidades de subsidencia (mm/año) entre 2013 y 2017 (Fuente: Elaboración propia).

5.2.5. Determinación del modelo de geoides en los puntos observados

Puesto que las observaciones elipsoidales y ortométricas se han realizado en la misma fecha se ha calculado los nuevos valores del modelo de geoides (N) en los puntos de la REDNAP mediante la diferencia de ambas observaciones ($N=h-H$) y se han comparado con las establecidas por el IGN en modelo de geoides EGM08-REDNAP.

En la tabla 26 se comparan las N calculadas según las observaciones realizadas en el 2017 frente a las calculadas en el modelo de geoides oficial.

Reseña REDNAP	H (2017)	h (2017)	N (Calculada)	N (IGN)	Diferencia
10426017	478,0463	528,6516	50,6053	50,7100	0,1047
10426016	436,8539	487,4628	50,6090	50,7400	0,1311
10426015	397,7834	448,4601	50,6767	50,7400	0,0633
10426014	369,5144	420,1696	50,6553	50,7600	0,1047
10426013	344,3574	395,0345	50,6771	50,7600	0,0829
10426011	324,7762	375,4553	50,6792	50,7600	0,0808
10426010	300,5571	351,2450	50,6880	50,7600	0,0720
10426009	293,1784	343,8713	50,6930	50,7600	0,0670
10426008	293,5599	344,2440	50,6841	50,7600	0,0759
10426007	294,5593	345,3360	50,7768	50,7700	-0,0067
10426006	298,7112	349,3987	50,6875	50,7800	0,0925
10426004	303,9606	354,6950	50,7344	50,7700	0,0356
10426003	307,9267	358,6424	50,7158	50,7900	0,0743
10426002	321,0038	371,8198	50,8161	50,8100	-0,0060
10426001	325,5590	376,3915	50,8325	50,8100	-0,0225
81	328,8554	379,7343	50,8790	50,8300	-0,0489
326002	335,1867	386,0353	50,8487	50,8300	-0,0186
832108	325,8424	-	-	50,8300	-
832107	332,9028	383,7449	50,8422	50,8300	-0,0121
832106	334,6121	385,4577	50,8456	50,8300	-0,0156
832105	334,1913	385,0129	50,8216	50,8500	0,0284
832104	329,0919	379,9928	50,9010	50,8500	-0,0510
832103	328,9169	379,7773	50,8605	50,8500	-0,0105
832102	333,5198	384,3293	50,8096	50,8700	0,0604
832101	347,6067	398,4660	50,8593	50,8700	0,0107
832100	342,9039	393,7584	50,8546	50,9200	0,0654

832099	355,0491	405,9371	50,8880	50,9100	0,0220
832098	378,8087	429,7163	50,9077	50,9700	0,0624

Tabla 26. Cálculo del modelo de geoide (N) en base a observaciones del 2017 (Fuente: Elaboración propia).

Se observa que existen diferencias significativas entre la N de referencia y la calculada, llegando en algunos casos a 10 cm de diferencia.

VI – RESULTADOS OBTENIDOS

VI - RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados derivados de la interferometría radar en el periodo 2007-2010 se muestran en la siguiente figura donde se muestra la velocidad de subsidencia obtenida en el período analizado (6/03/2007-29/04/2010) con velocidades máximas de subsidencia de 12,7 cm/año.

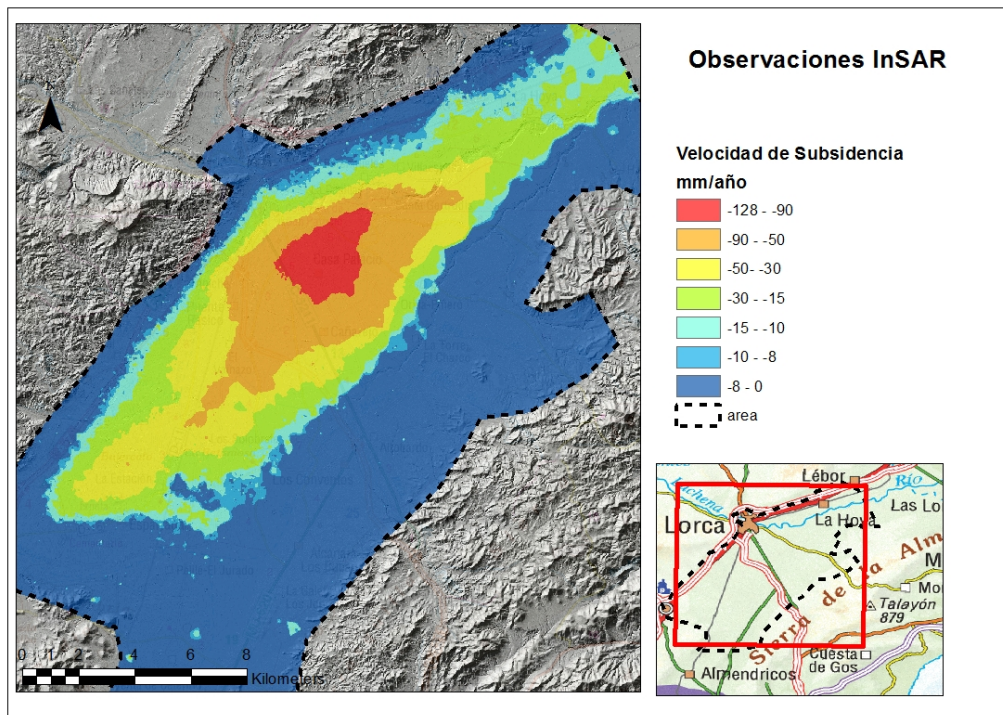


Figura 64. Velocidad de subsidencia en el período 2007-2010 (Fuente: Elaboración propia).

En la figura 65 y 66 se refleja en tres dimensiones la subsidencia acumulada en el período anteriormente descrito, con unos valores máximos de 42 cm en la zona más blanda.

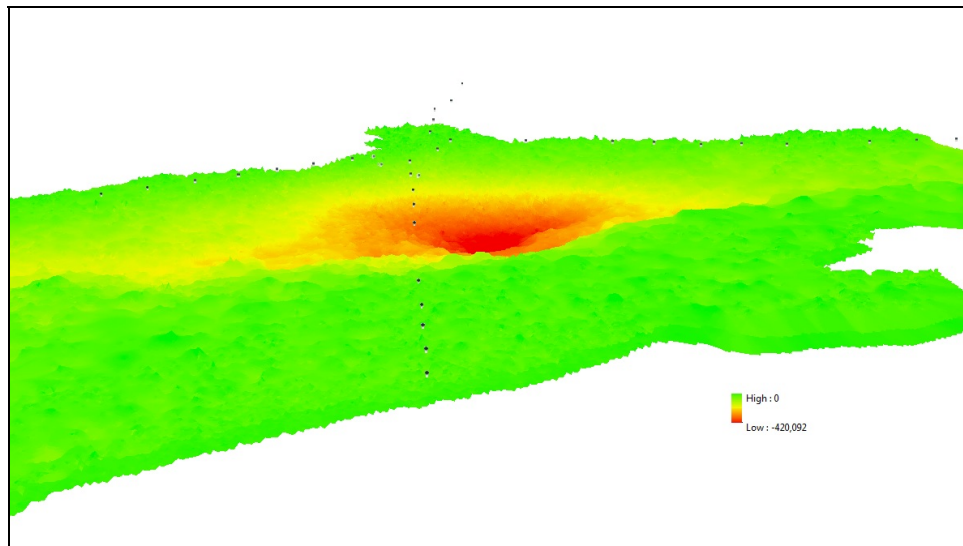


Figura 65. Subsidencia acumulada en el período 2007-2010 (Fuente: Elaboración propia).

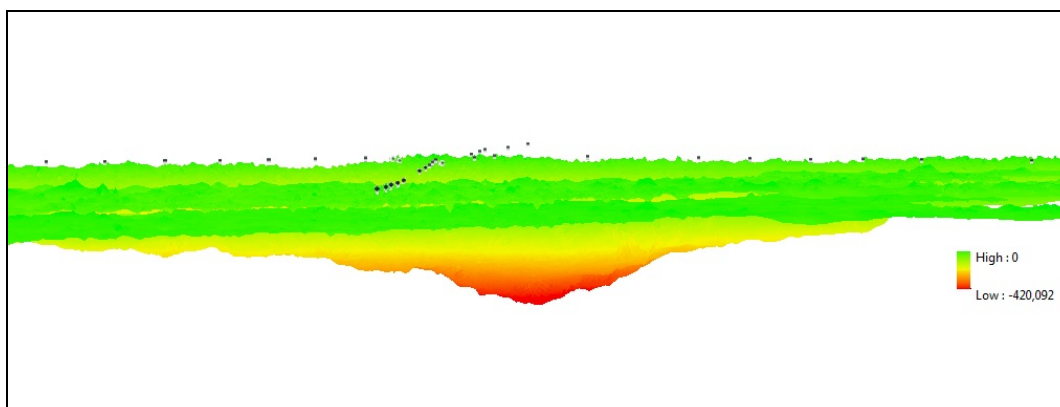


Figura 66. Subsidencia acumulada en el período 2007-2010 (Fuente: Elaboración propia).

En cuanto a la distribución de las líneas REDNAP, éstas transcurren por carreteras y autovías que nada tiene que ver con una red de control altimétrico que se hubiera establecido en la zona. Salvo en el caso de la línea 10426, el resto la circunda transcurriendo paralela al perímetro y por el exterior a la zona de afección.

Mediante la observación por nivelación geométrica de precisión se han podido detectar las variaciones de cota tomando como referencia las cotas ortométricas oficiales del IGN, a las reseñas REDNAP, 2005 y 2009 en el caso de

las líneas 10426 y 832 respectivamente. La mayor subsidencia se presenta en la línea 10426, correspondiente a la zona de espesor de suelo blando con velocidades de subsidencia máximas de 9,8 y 10,2 cm/año calculadas mediante observación geométrica entre las fechas 2005 y 2017 correspondientes a las reseñas 10426003 y 10426004 respectivamente como se aprecia en la figura 67. La pérdida de cuatro señales ha imposibilitado obtener resultados más precisos sobre su distribución espacial. En cuanto a la zona menos blanda de la línea 10426, los valores de velocidad de subsidencia son prácticamente nulos, valores achacables a los errores derivados de la observación geométrica.

En lo que se refiere a la línea 832, la subsidencia alcanza valores de entre 2 y 3 cm/año a lo largo de toda la línea.

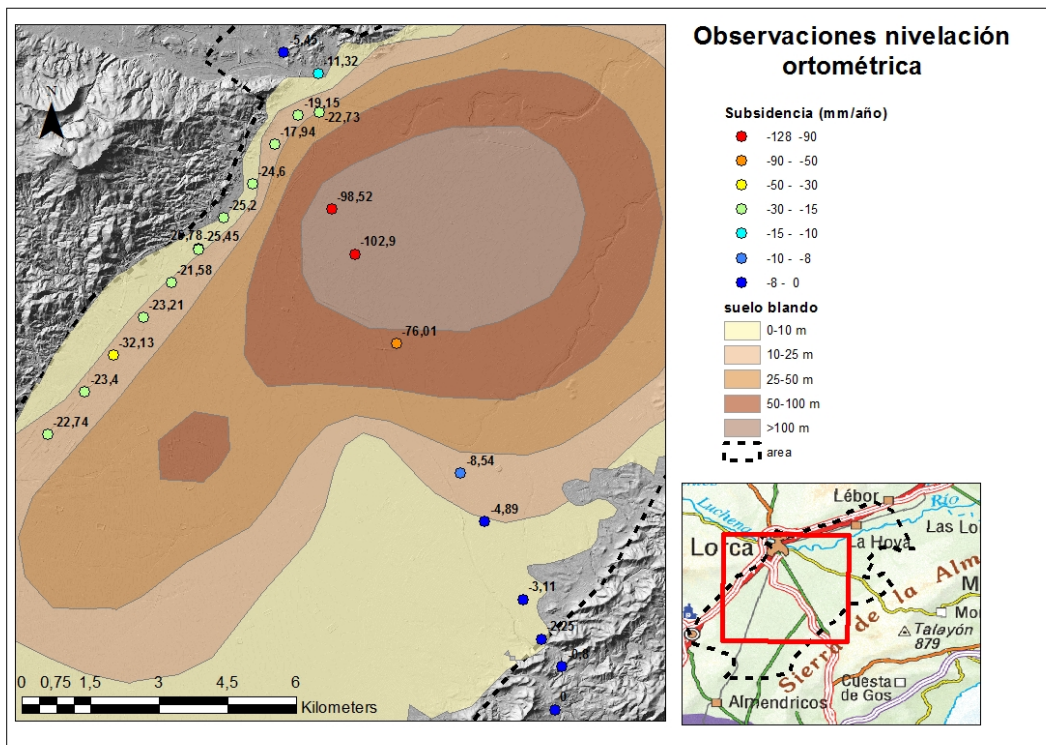


Figura 67. Velocidad de subsidencia mediante nivelación de precisión en 2017 (Fuente: Elaboración propia).

Las estaciones LRCA y LORC proporcionan una información muy valiosa a la hora de analizar la subsidencia, ya que realizan una observación cada segundo de manera permanente, y se localizan en una zona de máxima subsidencia, como es el caso de la estación LORC.

Según el período analizado desde mayo de 2008 hasta enero de 2017, la estación LORC (MERISTEMUM) ha experimentado un descenso de 71,7 cm lo que se traduce en un descenso completamente lineal de 8,5 cm/año.

Por otro lado, la estación LRCA (REGAM), que lleva funcionando desde enero del 2013, ha registrado un descenso de 10,4 cm equivalente a una velocidad de subsidencia de 2,5 cm/año. Aunque para un período diferente, los datos InSAR arrojan un valor de 3,3 cm/año en la zona donde se ubica la estación LRCA.

La proximidad de una reseña REDNAP invita a comparar ambos valores con el fin de comprobar los resultados obtenidos en ambas observaciones. Si bien, como se ha comentado la estación LORC presenta un valor de 8,5 cm/año, la reseña REDNAP 10426003, localizada a 160 metros al oeste de la estación, presenta un valor de 8,1 cm/año, calculado mediante observación con instrumental GNSS entre los años 2013 y 2017 y de 9,8 cm/año mediante observación geométrica entre los años 2005 y 2017. En el caso de los datos InSAR, para el período de estudio 2007-2010 la velocidad de subsidencia tanto en la estación LORC como en la reseña 10426003 adopta valores de 8,5 cm/año.

En cuanto a los datos InSAR del sensor CSK únicamente se disponía de datos que no cubrían toda la superficie de estudio en un período menor a dos años (05/11 a 11/12), por lo que se ha descartado la generación de modelos digitales de subsidencia.

Estos datos han servido para realizar una comparación con las observaciones derivadas de la estación permanente LORC (MERISTEMUM) como se refleja en la figura 68.

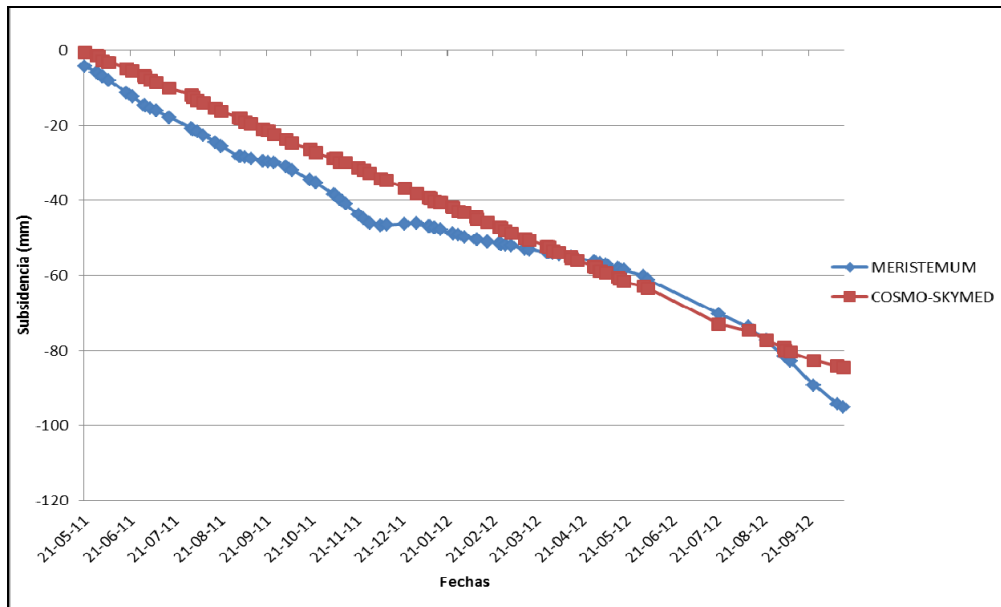


Figura 68. Comparativa de subsidencia LORC y datos radar CSK (Fuente: Elaboración propia).

Analizando las campañas con instrumental GNSS, tanto en el período 2005/2009-2013, como en el 2013-2017, se llegan a unos resultados (figura 69) con unas velocidades de subsidencia dispares.

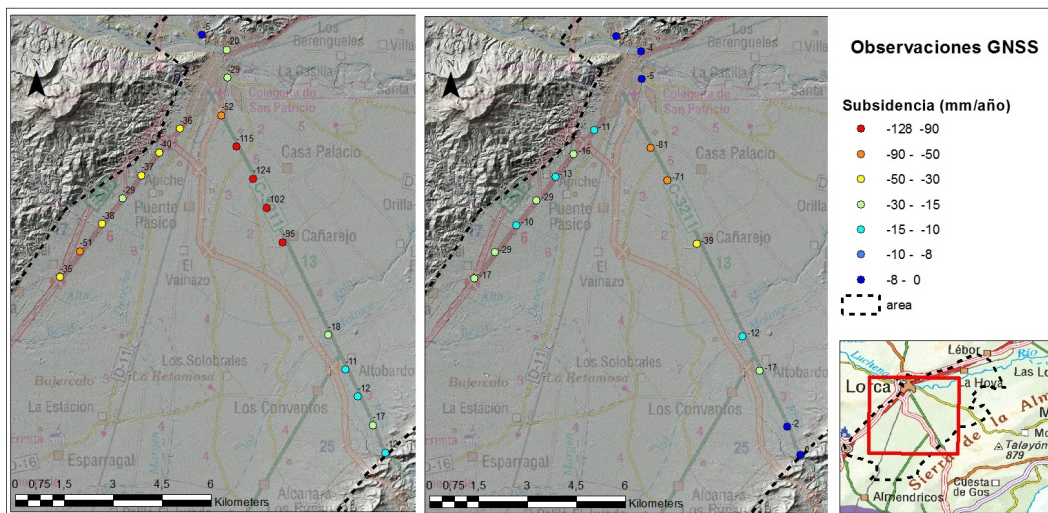


Figura 69. Mapa de velocidad de subsidencia en los períodos estudiados (Fuente: Elaboración propia).

En una primera hipótesis, se puede llegar a pensar que estas diferencias son debidas a una desaceleración de la subsidencia en la zona, pero al comprobar la tendencia lineal de las estaciones permanentes GNSS esta hipótesis queda descartada.

Cabe pensar que estas diferencias son debidas al error que se comete en la transformación de cotas elipsoidales a ortométricas, cuantificado por el IGN, por una desviación estándar de $\pm 6,1$ cm, que para analizar la subsidencia en el período de (2005/2009-2013), hubo que transformar estas últimas a cotas ortométricas para compararlas con las oficiales del IGN, ya que las cotas elipsoidales de referencia no tenían precisión suficiente.

Así mismo, cabe destacar el valor de subsidencia, en este caso positiva, de +3,8 cm, en el nodo 81, tendencia completamente contraria al del resto de la zona de estudio. Después de repetir la observación en ese punto, se llegó a la conclusión que, debido a la completa remodelación de la zona entre los años 2013 y 2017, la cota de dicha reseña fue afectada.

En cuanto al modelo de geoide (N), y como era de esperar, existen desviaciones significativas entre la N calculada y la N del modelo oficial, llegando en algunos casos a 13 cm.

6.1. DISCUSION

La interferometría radar junto con la teledetección son las únicas herramientas para evaluar una amplia geometría en cuanto a subsidencia se refiere, discriminando áreas de máximo valor de deformación.

En base a los análisis realizados en el período 2007-2010, los resultados muestran ciertas evidencias:

- a) Las capas compresibles (limos y arcillas), juegan un papel muy importante en el control de los mecanismos de subsidencia.
- b) Los índices de subsidencia en el período estudiado son similares a las medidas adquiridas por otros autores, en un período similar (2003-2007) y las obtenidas por el sensor ENVISAT (2003-2010), por

lo que se concluye que la subsidencia de 2007 a 2010 no presenta aceleraciones significativas.

Las observaciones con nivelación geométrica de precisión nos han proporcionado valores de subsidencia en un intervalo de tiempo amplio, 12 y 8 años en las líneas 10426 y 832, respectivamente, llegando a alcanzar en la zona de máxima subsidencia, valores de -1,21 metros en ese período de tiempo, con precisión centimétrica.

Las observaciones con instrumental GNSS realizadas en 2013, nos muestran que entre la fecha de referencia de la reseña REDNAP y la fecha de observación, existe subsidencia, pero al trabajar con cotas ortométricas el error que se introduce puede alcanzar los 6 cm por lo que comparar estos resultados con una fecha anterior queda completamente descartado.

Las estaciones permanentes GNSS se consideran imprescindibles a la hora de comprobar la subsidencia y su linealidad en la zona de estudiada. La estación LORC, desde su instalación en 2008, ha experimentado una velocidad de subsidencia de 8,5 cm/año.

Comparando los valores de subsidencia obtenidos por diferentes técnicas en las zonas donde se ubican las estaciones permanentes, se observa valores muy parejos con desviaciones

Las desviaciones detectadas en el modelo pueden ser debido a dos causas, la primera por los desajustes entre el modelo de geoide (N) interpolado y el real, y la segunda por la diferencia de fechas entre las observaciones ortométricas y elipsoidales en las zonas de máxima subsidencia.

VII - CONCLUSIONES

VII - CONCLUSIONES

El seguimiento de los procesos de subsidencia a lo largo el tiempo es de vital importancia para conocer las causas que los controlan y poder actuar de la manera más eficiente para mitigarlos. Los métodos no instrumentales más usados son los topográficos, los geodésicos, los fotogramétricos y los de teledetección.

Antes de realizar cualquier campaña de auscultación resulta fundamental llevar a cabo un análisis de idoneidad del método a usar, ya que cada uno de estos métodos presenta unas ventajas y desventajas. En la elección de uno u otro influyen diferentes variables por lo que dependerá de la necesidad planteadas en cada caso. De las diferentes técnicas planteadas la interferometría radar y el instrumental GNSS han sido las más usadas en los últimos años

Teniendo en cuenta todo ello, podemos confirmar que de esta Tesis Doctoral se han derivado las siguientes conclusiones:

1. Como se ha demostrado, la tecnología LiDAR, en este caso no es aplicable, principalmente cuando intentamos detectar fenómenos de subsidencia, debido a la escasa precisión en relación con los desplazamientos del terreno (± 15 cm).
2. La interferometría radar resulta de gran interés para el cálculo de la subsidencia, por la precisión asociada a las mediciones (± 1 mm), por la frecuencia de los datos o por su extensión. El principal inconveniente es que no puede implementarse en zonas de cultivo o zonas de vegetación media o alta, ya que el crecimiento de estas altera los resultados, por lo que su uso queda limitado a zonas desérticas y zonas urbanas. Presenta el inconveniente de que no se puede implementar en zonas con maleza o campos de cultivo, donde la superficie puede variar por el crecimiento de las plantas o

-
- las actividades propias de la agricultura, limitando su uso a las zonas urbanas y desérticas.
3. El instrumental GNSS, al igual que la interferometría radar, posee una alta precisión, siempre que se trabaje con corrección diferencial en estaciones base y con postproceso de los RINEX observados, pero la falta de reseñas y de observaciones impiden el estudio exhaustivo de la evolución espacio-temporal, de la subsidencia en el área de estudio.
 4. En la zona de estudio existen alteraciones de altitud de la superficie terrestre que se siguen manifestando al día de hoy, resultando distintos grados de magnitud, según su ubicación. Esta subsidencia ha sido confirmada mediante diversas técnicas aplicadas para el desarrollo de esta Tesis Doctoral, ya sea por métodos de aplicación radar o por técnicas geodésicas, como la observación por nivelación de precisión u observación con instrumental GNSS, y como se ha podido comprobar, en las estaciones permanentes, su tendencia es lineal y con valores muy parecidos.
 5. Las estaciones permanentes GNSS existentes en la zona son los instrumentos imprescindibles para el estudio de la subsidencia, seguimiento y control "in situ" y de momento no se podrá contar, ni a corto ni a medio plazo, con más estaciones GNSS ni otro tipo de instrumentación permanente en la zona.
 6. Es necesario ajustar el modelo de geoide (N) ya que su desviación estándar en la zona de estudio es de 6,1 cm según fuentes oficiales, llegando a 13 cm en algunas reseñas según se desprende de los resultados obtenidos.
 7. El uso del cualquier instrumento GNSS con corrección diferencial, en la estación base LRCA, introduce un error grosero de 15 cm, tanto en observaciones ortométricas, como elipsoidales. Este error se

incrementa si trabajamos con alturas ortométricas, debido a la conversión realizada con el actual modelo de geoide.

8. La combinación de la interferometría radar junto con el seguimiento y control, mediante técnicas geodésicas y/o topográficas, de un red previamente establecida y estaciones permanentes GNSS, constituyen una metodología completa para el seguimiento espacio-temporal de la subsidencia.

Todas estas conclusiones se han derivado de esta Tesis Doctoral y trabajos previos realizados.

VIII – FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

VIII –FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

De cara a mejorar la comprensión del proceso de subsidencia en la zona de Lorca se propone el desarrollo de las siguientes líneas de investigación:

1. Puesto que únicamente se dispone de observaciones de la línea REDNAP 10426, en la zona de máxima subsidencia y muchas de las reseñas han desaparecido, es necesario establecer una mallado de puntos de control secundarios a la REDNAP entre ésta última, la línea 832 y la línea 326, para establecer un área de control mucho más extensa de la zona.
2. Recientemente, la utilización de GPS ha impulsado fuertemente la necesidad de estudios sobre el geoide, que conllevan la determinación de gravedad en puntos de altitud conocida. De esta forma, los estudios con GPS están impulsando también la observación del campo de gravedad, puesto que inversamente podrá utilizarse esta técnica GPS para determinar levantamientos alimétricos.
3. En base a la red de piezómetros de la zona, se hace necesario establecer una relación subsidencia-piezometría, para corroborar si esta es la causa o por el contrario es la evolución neotectónica de la zona.
4. Desarrollo de futuros modelos numéricos, tanto hidrológicos como geotécnicos, que permitan simular y predecir, de la forma más fiable posible, los asientos de la superficie del terreno, en función de la variación del nivel piezométrico, en caso de que ésta sea la causa.
5. Una vez determinados los nuevos valores del modelo de geoide en los puntos observados, es imprescindible revisar el modelo de geoide estableciendo correcciones en la zona de Lorca para un mayor ajuste.

6. La realización de un estudio sobre la afección de la subsidencia sobre las infraestructuras ya proyectadas o pendientes de ejecución, que puedan verse afectadas, es fundamental, como puede ser la Línea de Alta Velocidad de tren cuyo trazado transcurre por zonas con una velocidad de subsidencia de 2,5 cm/año.

El desarrollo de estas posibles líneas de investigación mejoraría considerablemente el entendimiento de los mecanismos de subsidencia en la zona de Lorca.

IX - REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IX – REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A continuación, se detallan las distintas referencias bibliográficas consultadas para la elaboración de esta Tesis Doctoral.

- Baartman, J.E.M , Veldkamp, A., Schoorl, J.M. , Wallinga, J., Cammeraat, L.H., (2011) Unravelling Late Pleistocene and Holocene landscape dynamics: The Upper Guadalentin Basin, SE Spain. *Geomorphology* 125, pp.172-185.
- Bakker W. H., et al. (2009) *Principles of Remote Sensing*, pp. 165-192.
- Bru, G., Herrera, G., Tomás, R., Duro, J., De la Vega, R. & Mulas, J. (2013), Control of Deformation of Buildings Affected by Subsidence Using Persistent Scatterer Interferometry, *Structure and Infrastructure Engineering*, 9, 188-200.
- Cano, M.A., Revuelta, L, Quirós,R, Sánchez,J.A, (2008) Ajuste de la Red Geodésica de España (ROI) en ETRS89. *Topografía y Cartografía*. Vol 25 N°144-145. (2008).
- Cerón, J.C., Pulido-Bosch, A., 1996. Groundwater problems resulting from CO2 pollution and overexploitation in Alto Guadalentín aquifer (Murcia, Spain). *Environmental Geology* 28, 223-228.
- Galloway, D. & Burbey, T. (2011), Review: Regional Land Subsidence Accompanying Groundwater Extraction, *Hydrogeology Journal*, 19(8), 1459-1486.
- Galloway, D. L., Hudnut, K. W., Ingebritsen, S. E., Phillips, S. P., Peltzer, G., Rogez, F. & Rosen, P. A. (1998), Detection of Aquifer System Compaction and Land Subsidence Using Interferometric Synthetic Aperture Radar, Antelope Valley, Mojave Desert, California, *Water Resour. Res.*, 34(10), 2573-2585.
- García,R.P, (2007) La Red Geodésica Activa de la Región de Murcia. *Jornada de Geomática y Nuevas Tecnologías Aplicadas a las Ciencias de la Tierra*.

-
- Gómez Lahoz, J, (2003). Del 2D al 3D: Un salto cualitativo en Cartografía. Proc. of the 1st Internacional Meeting in Civil Engineering Education. Ciudad Real, España.
 - González, P. J. & Fernández, J. (2011), Drought-Driven Transient Aquifer Compaction Imaged Using Multitemporal Satellite Radar Interferometry, *Geology*.
 - Guoqing, Y. & Jingqin, M. (2008), D-Insar Technique for Land Subsidence Monitoring, *Earth Science Frontiers*, 15(4), 239-243.
 - Hanssen, R.F.,(2001) Radar interferometry. Data Interpretation and Error Analysis. The Netherlands' Kluwer Academic Publisher, pp. 308.
 - Herrera, G., Fernández, J. A., Tomás, R., Cooksley, G. & Mulas, J. (2009), Advanced Interpretation of Subsidence in Murcia (Se Spain) Using a-Dinsar Data – Modelling and Validation, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9(3), 647-661.
 - Herrera, G., Tomás, R., Lopez-Sanchez, J. M., Delgado, J., Mallorqui, J. J., Duque, S. & Mulas, J. (2007), Advanced Dinsar Analysis on Mining Areas: La Union Case Study (Murcia, Se Spain), *Engineering Geology*, 90(3-4), 148-159.
 - Herrera, G., Tomás, R., Lopez-Sanchez, J. M., Delgado, J., Vicente, F., Mulas, J., Cooksley, G., Sanchez, M., Duro, J., Arnaud, A., Blanco, P., Duque, S., Mallorqui, J. J., De la Vega-Panizo, R. & Monserrat, O. (2009), Validation and Comparison of Advanced Differential Interferometry Techniques: Murcia Metropolitan Area Case Study, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5), 501-512.
 - Hoffmann, J. (2003), The Application of Satellite Radar Interferometry to the Study of Land Subsidence over Developed Aquifer Systems, Department of Geophysics, Stanford university, pp. 229.
 - Massonnet, D. & Feigl, K. L. (1998), Radar Interferometry and Its Application to Changes in the Earth's Surface, *Rev. Geophys.*, 36(4), 441-500.

-
- Meisina C., Zucca F., Notti D., Colombo A., Savio G., Giannico C. & Bianchi M... (2008). Geological interpretation of PSInSAR data at regional scale. *Sensors*, 8, 7469-7492, DOI: 10.3390/s8117469.
 - Quirós, R, Barbadillo ,A, Regidor ,J.L., Sanz,J.M, Cano,M.A., Prieto,J.F (2002) El Proyecto REGENTE. 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. Valencia 2002.
 - Raucoules, D., Colesanti, C. & Carnec, C. (2007), Use of Sar Interferometry for Detecting and Assessing Ground Subsidence, *Comptes Rendus Geoscience*, 339(5), 289-302.
 - Sánchez,J.A, (2012) Actuaciones geodésicas de control en el Área de Lorca.
 - Silva, P. G., Bardají, T., Calmel-Avila, M., Goy J. L., Zazo, C., (2008) Transition from alluvial to fluvial systems in the Guadalentín Depression (SE Spain) during the Holocene: Lorca Fan versus Guadalentín River, *Geomorphology* 100 pp. 140-153.
 - Tomas, R., Herrera, G., Cooksley, G. & Mulas, J. (2011), Persistent Scatterer Interferometry Subsidence Data Exploitation Using Spatial Tools: The Vega Media of the Segura River Basin Case Study, *Journal of Hydrology*, 400(3-4), 411-428.
 - Tomás, R., Herrera, G., Delgado, J., Lopez-Sanchez, J. M., Mallorquí, J. J. & Mulas, J. (2010), A Ground Subsidence Study Based on Dinsar Data: Calibration of Soil Parameters and Subsidence Prediction in Murcia City (Spain), *Engineering Geology*, 111(1-4), 19-30.
 - Tomas, R., Herrera, G., Lopez-Sanchez, J. M., Vicente, F., Cuenca, A. & Mallorquí, J. J. (2010), Study of the Land Subsidence in Orihuela City (Se Spain) Using Psi Data: Distribution, Evolution and Correlation with Conditioning and Triggering Factors, *Engineering Geology*, 115(1-2), 105-121.
 - Tomás, R., Márquez, Y., Lopez-Sanchez, J. M., Delgado, J., Blanco, P., Mallorquí, J. J., Martínez, M., Herrera, G. & Mulas, J. (2005), Mapping Ground Subsidence Induced by Aquifer Overexploitation Using Advanced Differential Sar Interferometry: Vega Media of the Segura River (Se Spain) Case Study, *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3), 269-283.

- Torgue,W (1991) Geodesy 2ª edición. Editorial Walter deGruyter.
NY-Berlín.

X - ANEXOS

X – ANEXOS

A continuación, se describen los diferentes anexos para una mejor comprensión de esta Tesis Doctoral

ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN REFERENTE A LAS ESTACIONES PERMANENTES GNSS

1.1. Estación permanente LORC de la red MERISTEMUM



Región de Murcia
Consejería de Agricultura y Agua
Dirección General de Patrimonio Natural y Biodiversidad





Estaciones de referencia GPS

Lorca
(LORC)





Coordenadas

Datum	Tipo	Valores		
ETRS-89	Geocéntricas (X,Y,Z)	5054087.5130	-148834.1572	3875323.9719
	Geográficas (λ,φ,h)	1°41'12,38774"O	37°39'14,00195"N	365,718
	UTM (X,Y,h)	615840,074	4168225,523	365,718
ED-50	UTM (X,Y,H)	615951,186	4168433,057	314,783

NOTA. h: altura elipsoidal; H: altura ortométrica referida al nivel medio del mar

Sistema

Instalación



Receptor



1.2. Estación permanente LRCA de la red REGAM







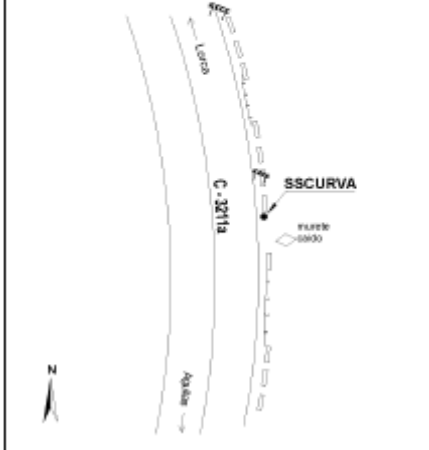
ESTACIÓN REFERENCIA GNSS DE LORCA

coordenadas Sist. Geodésico Ref. ETRS89	
geodésicas	cartesianas
lat = 37° 39' 28.45328" N	X = 5053795.953 m
long = 1° 41' 58.46390" W	Y = -149955.492 m
	Z = 3875687.456 m



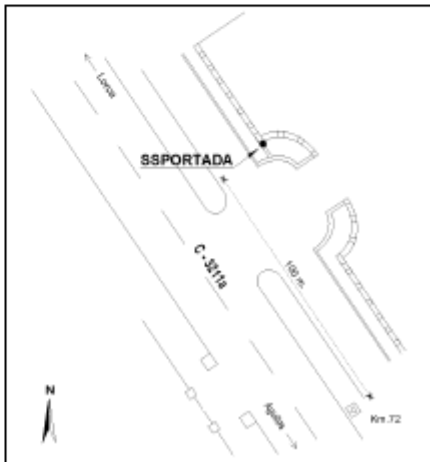
coordenadas Proyección UTM Huso 30 N	
ETRS89	
X = 614704.848 m	
Y = 4168655.182 m	
Altitudes	
Altitud elipsoidal = 383.282 m	
Altitud ortométrica (EGM 2008 REDNAP) = 332.460 m	


**ANEXO 2: Documentación referente a las líneas REDNAP.
LINEA 10426**

	<p style="text-align: center;">Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426017 Nombre: SSSOS1 Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426016 - SSCURVA Posterior: 10426018 - Ngy215 Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 478,0463 m. Geopotencial: 468,43108 u.g.p. Gravedad en superficie: 979866,18 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: - 1° 38' 06,249" Latitud: 37° 33' 15,648" Altitud elipsoidal: 528,8 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km.75,200 de la margen W de la Carretera C-3211, en la solera de hormigón del poste BOG nº 234M, y a unos 1200 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.</p> <p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.ln.es/RedNAP/RedNAP.asp</p>	

 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE FOMENTO	 INSTITUTO GEOMÁTICO NACIONAL	<p style="text-align: center;">Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426016 Nombre: SSCURVA Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426015 - SSPURIAS Posterior: 10426017 - SSSOG1 Agrupación:</p>	
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 436,8632 m. Geopotencial: 428,07885 u.g.p. Gravedad en superficie: 979873,78 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>			
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 37' 59,576" Latitud: 37° 33' 45,830" Altitud elipsoidal: 487,6 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>			
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado en un muro de contención, entre dos muretes en la margen E de la Carretera C-3211, según croquis y a unos 850 m. de la anterior.</p>			
<p>Observaciones:</p>			
<p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.in.es/dibidos/10426016.pdf</p>			


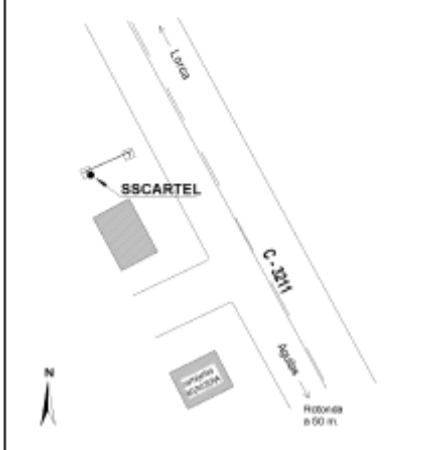
 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE FOMENTO	 INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
Situación Geográfica: Número: 10426015 Nombre: SSPURIAS Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2004 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10426014 - SSPORTADA Posterior: 10426016 - SSCURVA Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 397,8100 m. Geopotencial: 389,81308 u.g.p. Gravedad en superficie: 979880,73 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 38' 17,47" Latitud: 37° 34' 05,69" Altitud elipsoidal: 449 m. Precisión: ± 1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado en la solera de hormigón junto a la escalera de entrada lateral a la venta Purias, cerrada en la margen W de la Carretera C-3211, según croquis y a unos 1000 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.in.es/geodesia/inf/inf.html			

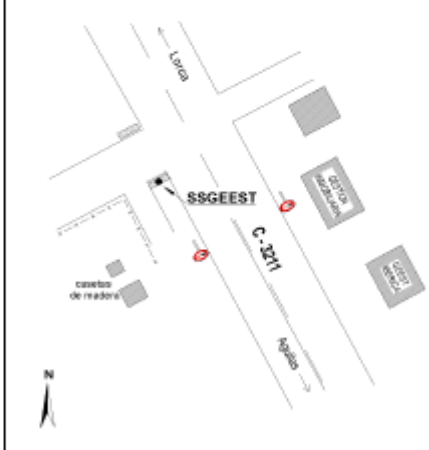
	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426014 Nombre: SSPORTADA Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426013 - Ngy214 Posterior: 10426015 - SSPURIAS Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 369,5510 m. Geopotencial: 362,12177 u.g.p. Gravedad en superficie: 979880,9 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETR88:</p> <p>Longitud: -1° 38' 33,20" Latitud: 37° 34' 33,99" Altitud elipsoidal: 420 m. Precisión: ± 1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente 1000 m al N de la Venta Purias, en la margen E de la Carretera C-3211, en un bordillo junto a la portada en construcción de una entrada a una finca y a unos 1000 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p>Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.mur.es/Geodesia/InfSTN.pdf</p>	





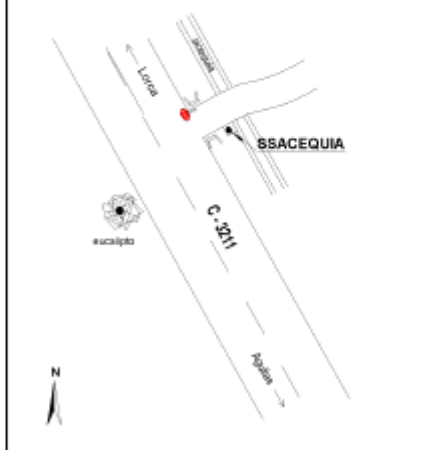
	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426013 Nombre: NGY214 Línea o Ramal: 10426. Lora - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lora Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426012 - NGY213 Posterior: 10426014 - BSPORTADA Agrupada con: 10426012 - NGY213.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 344,1880 m. Geopotencial: 337,26853 u.g.p. Gravedad en superficie: 979881,73 mgals. Calculada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 38' 50,8" Latitud: 37° 35' 02,4" Altitud elipsoidal: Proyección: Coordenadas orientativas</p>	
<p>Referencia:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado en la margen W de la Carretera C-3211, en la aleta W de una alcantarilla al S de una entrada a un chalé.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://sitiogeodesia.inia.es/401426013/01/01.pdf</p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426012 Nombre: NGY213 Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426011 - GSKM70 Posterior: 10426013 - NGY214 Agrupada con: 10426013 - NGY214.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 344,1078 m. Geopotencial: 337,18999 u.g.p. Gravedad en superficie: 979881,75 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: - 1° 38' 50,95" Latitud: 37° 35' 02,57" Altitud elipsoidal: 396 m. Precisión: ± 1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado en la margen W de la Carretera C-3211, en la aleta W de una alcantarilla al N de una entrada a un chalé, y a unos 900 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p>Informe del estado de la Señal en: sitiogeodesia.ign.es/distribucion/inf/01v.pdf</p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		31-ene-2015	
Situación Geográfica:		Enlaces:	
Número: 10426011 Nombre: SSKM70 Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:		Anterior: 10426010 - SSCARTEL Posterior: 10426012 - NGY213 Agrupada con:	
Datos Geodésicos:			
Altura ortométrica: 324,8339 m. Geopotencial: 318,30458 u.g.p. Gravedad en superficie: 979885,71 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETR88:			
Longitud: - 1° 39' 06,399" Latitud: 37° 35' 29,577" Altura elipsoidal: 375,6 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña:			
Clavo metálico semiesférico incrustado en la margen E de la Carretera C-3216, en la población de Altabordo, en la isleta de una farola, 15 m al S del antiguo hito kilométrico 70, y a unos 1100 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.in.es/dibujos/skb70.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015			
Situación Geográfica: Número: 10426010 Nombre: SSCARTEL Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10426009 - SSGEEST Posterior: 10426011 - SSKM70 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 300,6578 m. Geopotencial: 294,61633 u.g.p. Gravedad en superficie: 979893,24 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETR89: Longitud: - 1° 39' 27,289" Latitud: 37° 36' 04,027" Altitud elipsoidal: 351,4 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 67,900 de la margen W de la Carretera C-3211, en la parte SE del soporte de hormigón más alejado de un cartel indicador, 50 m al N de una rotonda, y a unos 1100 m. de la anterior.			
Observaciones: El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.			
Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.lor.es/dibujos/substn.pdf			

Reseña de Señal de Nivelación		31-ene-2015
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 10px;"> <p>GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE FOMENTO</p> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL</p> </div> </div> <div style="text-align: right;"> <p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p> </div> </div>		
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426009 Nombre: SSGEEST Línea o Ramal: 10428. Loroa - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Loroa Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		
<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426008 - SSACEQUIA Posterior: 10426010 - SSCARTEL Agrupada con:</p>		
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 293,5849 m. Geopotencial: 287,68558 u.g.p. Gravedad en superficie: 979893,53 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>		
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: - 1° 39' 45,531" Latitud: 37° 36' 35,021" Altitud elipsoidal: 344,4 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>		
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 66,800 de la margen W de la Carretera C-3211, y a unos 900 m. de la anterior.</p>		
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en esta carretera no hay hitos kilométricos.</p>		
<p>Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.lor.es/dibujos/obf01n.pdf</p>		
		
		

			<p style="text-align: center;">Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426008 Nombre: SSACEQUIA Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426007 - SSBASCULA Posterior: 10426009 - SSGEEST Agrupada con:</p>	
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 294,4501 m. Geopotencial: 288,53298 u.g.p. Gravedad en superficie: 979892,11 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>			
<p>Coordenadas Geográficas ETR889:</p> <p>Longitud: -1° 40' 00,620" Latitud: 37° 37' 01,883" Altitud elipsooidal: 345,2 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>			
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 66,900 de la margen E de la Carretera C-3211, en un dado de hormigón de una acequia junto a un puente, y a unos 1200 m. de la anterior.</p>			
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.</p>			
<p>Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.lor.es/ufidatosa/vch/071.pdf</p>			
			

			<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426007 Nombre: SSBASCULA Línea o Ramal: 10428. Lora - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426006 - NGY212 Posterior: 10426008 - SSACEQUIA Agrupada con:</p>	
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 295,4570 m. Geopotencial: 289,51896 u.g.p. Gravedad en superficie: 979889,71 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>			
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 40' 22,80" Latitud: 37° 37' 36,69" Altitud elipsoidal: 346 m. Precisión: ± 1 m.</p>			
<p>Receña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 65,700 de la margen W de la Carretera C-3211, en solera de hormigón próximo a la esquina SE de la caseta y a unos 1200 m. de la anterior.</p>			
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.</p>			
<p>Informe del estado de la Señal en: http://sitiogeodesia.inia.es/datos/1ch/01v.pdf</p>			
			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015			
Situación Geográfica: Número: 10426006 Nombre: NGY212 Línea o Ramal: 10426. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 426) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10426005 - NGY211 Posterior: 10426007 - BSBASCULA Agrupada con: 10426005 - NGY211.	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 297,9993 m. Geopotencial: 292,0094 u.g.p. Gravedad en superficie: 979887,05 mgals. Calculada Cálculo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETR89: Longitud: - 1° 40' 42,5" Latitud: 37° 38' 11,3" Altitud elipsoidal: Proyección: Coordenadas orientativas			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 64,500 de la margen W de la Carretera C-3211, en la base de hormigón de un mojón junto al poste de una valla de una finca.			
Observaciones: El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en esta carretera no hay hitos kilométricos.			
Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.lgp.es/difusion/obf6f9.pdf			

 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE FOMENTO	 INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	<p style="text-align: center;">Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426005 Nombre: NGY211 Línea o Ramal: 10426. Loroa - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Loroa Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426004 - SSTABACOS Posterior: 10426006 - NGY212 Agrupada con: 10426006 - NGY212.</p>	
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 298,7920 m. Geopotencial: 292,78616 u.g.p. Gravedad en superficie: 979886,89 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>			
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: -1° 40' 41,912" Latitud: 37° 38' 11,983" Altitud elipsoidal: 349,6 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>			
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 64,500 de la margen E de la Carretera C-3211, en un reborde de hormigón de una acequia junto a un puente, y a unos 1000 m. de la anterior.</p>			
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.</p>			
			
<p>Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.in.es/dibujos/inbftn.pdf</p>			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015			
Situación Geográfica: Número: 10426004 Nombre: SSTABACOS Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10426003 - SSCAMPILLO Posterior: 10426005 - NGY211 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 305,1758 m. Geopotencial: 299,0406 u.g.p. Gravedad en superficie: 979883,18 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 40' 58,408" Latitud: 37° 38' 40,385" Altitud elipsoidal: 356,0 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 63,500 de la margen E de la Carretera C-3211, en el cruce con la carretera de Allobordo, sobre el murete de hormigón de un sifón de riego, frente a un estanco y a unos 1000 m. de la anterior.			
Observaciones: El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.			
Informe del estado de la Señal en: http://sitiogeodesia.inia.es/datos/1181111.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		31-ene-2015	
Situación Geográfica: Número: 10426003 Nombre: SSCAMPILLO Línea o Rama: 10426. Lorea - Tébar (Tramo 1 antigua 428) Municipio: Lorea Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10426002 - SSCAUCE Posterior: 10426004 - SSTABACOS Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 309,0901 m. Geopotencial: 302,87545 u.g.p. Gravedad en superficie: 979880,56 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 41' 18,46" Latitud: 37° 39' 12,46" Altitud elipoidal: 360 m. Precisión: ± 1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 62,300 de la margen W de la Carretera C-3211, en la base de hormigón de un anuncio publicitario, y a unos 1100 m. de la anterior.			
Observaciones: El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en esta carretera no hay hitos kilométricos.			
Informe del estado de la Señal en: info@geodesia.es / info@ign.es			

			<p style="text-align: center;">Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426002 Nombre: S\$CAUCE Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>		<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10426001 - S\$ESCALERA Posterior: 10426003 - S\$CAMPILLO Agrupada con:</p>	
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 321,5557 m. Geopotencial: 315,08986 u.g.p. Gravedad en superficie: 979878,29 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>			
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: -1° 41' 37,045" Latitud: 37° 39' 44,039" Altitud elipsooidal: 372,4 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>			
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 61,200 de la margen W de la Carretera C-3211, en la base de un muro de una finca junto a una rotonda y al cauce seco del río, y a unos 1000 m. de la anterior.</p>			
<p>Observaciones:</p> <p>El Km. está referido al que figura en el 1/25000, ya que en ésta carretera no hay hitos kilométricos.</p>			
<p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.lor.es/ufidatosa/ufidatosa.pdf</p>			
			

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-ene-2015</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10426001 Nombre: SS ESCALERA Línea o Ramal: 10428. Lorca - Tébar (Tramo 1 antigua 428)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 02 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 81 - NGV631* (Lorca) Posterior: 10426002 - SSCAUCE Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 325,8274 m. Geopotencial: 319,27566 u.g.p. Gravedad en superficie: 979878,21 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETR89:</p> <p>Longitud: - 1° 41' 28,503" Latitud: 37° 40' 21,294" Altitud elipsoidal: 376,7 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente al margen E de la calle que bordeando la rambla por el W, conduce a la Carretera C-3211 a Aguilas, en la cara superior del muro de contención, 100 m. al S del puente de la Torta, y a unos 1000 m. de la anterior (nodo).</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://n.cgs.es/geodesia/ign.es/4/datos/118/01v.pdf</p>	

LINEA 832


 GOBIERNO DE ESPAÑA	 MINISTERIO DE FOMENTO	 INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía
Reseña de Señal de Nivelación			31-ene-2015
Situación Geográfica: Número: 81 Nombre: NGV631* (Lorca) Línea o Ramal: Puntos Nodales Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN60: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2003 Nivelada: 01 de febrero de 2004		Enlaces: Anterior: Posterior: Agrupada con: 326001 - NGV633.	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 328,9442 m. Geopotencial: 322,33037 u.g.p. Gravedad en superficie: 979879,83 mgals. Calculada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETR888: Longitud: - 1° 41' 29,163" Latitud: 37° 40' 48,796" Altitud elipsoidal: 379,90 m. Precisión: ± 0,05 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado en intersección de muros de hormigón en parque del centro de la población al E del puente sobre el río Guadalentín, y frente a un hipermercado de Eroski.			
Observaciones: - Inicio Línea Nº 326 (Lorca - Venta Cavila). - Inicio Línea Nº 327 (Lorca - Alicante). - Inicio Línea Nº 426 (Lorca - Tabernas).			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.lora.es/Estados/wh/81.pdf			
			

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-dic-2016</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 832108 Nombre: NGAB831 Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Principal En posición: Horizontal Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 832107 - SSGASOLINERA Posterior: 81 - NGV631* (Lorca) Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 325,9926 m. Geopotencial: 319,43777 u.g.p. Gravedad en superficie: 979878,9 mgals. Observada Cálculo:</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 41' 47,3" Latitud: 37° 40' 19,4" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado en la fachada E, que da a las vías de la Estación de Ferrocarril de Lorca, en el casco urbano y bajo la plaza del Instituto Geográfico.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://geodesia.ign.es/USI/desw/infoRN.pdf</p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-dic-2016</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 832107 Nombre: SSGASOLINERA Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 832106 - SSK591,200a Posterior: 832108 - NGAB831 Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 333,0435 m. Geopotencial: 326,34642 u.g.p. Gravedad en superficie: 979877,24 mgals. Observada Cálculo:</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 42' 08,5" Latitud: 37° 40' 02,7" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiestérco incrustado en la margen E de la N-340a (calle Jerónimo Santa Fé), frente al nº 88. En bordillo de acera de una gasolinera cerrada, en el casco urbano de Lorca.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/ubidedes/infoRN.pdf</p>	


	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-dic-2016</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 832106 Nombre: SSK591,200a Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 832105 - SSK590,300a Posterior: 832107 - SSGASOLINERA Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 334,8052 m. Geopotencial: 328,07235 u.g.p. Gravedad en superficie: 979875,94 mgals. Observada Cálculo:</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 42' 29,4" Latitud: 37° 39' 31,3" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 591,200 de la margen E de la N-340a. En bordillo de acera al S del desvío a Agullas, al N de las escaleras de un paso subterráneo, al E de una rotonda, en el casco urbano de Lorca.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p>Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.jgn.es/v8/edades/info/n.pdf</p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-dto-2016</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 832105 Nombre: SSK590,300a Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 832104 - NGAB830 Posterior: 832106 - SSK591,200a Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 334,3891 m. Geopotencial: 327,66424 u.g.p. Gravedad en superficie: 979875,06 mgals. Observada Cálculo:</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 42' 55,4" Latitud: 37° 39' 07,7" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Ciavo metálico semiestérco incrustado aproximadamente en el Km. 590,300 de la margen E de la N-340a. En la esquina S del soporte de una farola, al S de un cruce y el cartel de entrada a Lorca.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/utlidetes/info/RIH.pdf</p>	



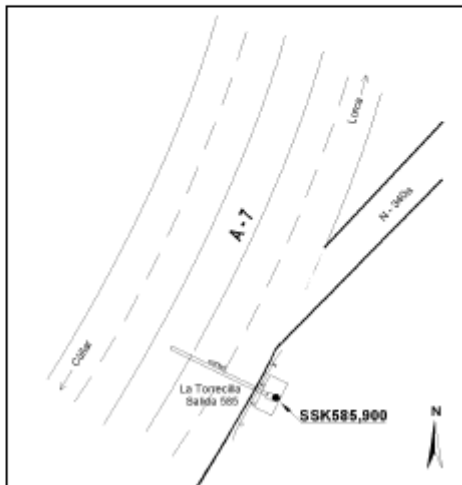
		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		31-dto-2016	
Situación Geográfica: Número: 832104 Nombre: NGAB830 Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 832103 - NGAB829 Posterior: 832105 - SSK590,300a Agrupada con: 832103 - NGAB829.	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 329,2942 m. Geopotencial: 322,67191 u.g.p. Gravedad en superficie: 979875,37 mgals. Calculada Cálculo:			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 43' 17,8" Latitud: 37° 38' 46,1" Altitud elipsoidal: Precisión: Coordenadas orientativas			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 589,350 de la margen W de la N-340a. En la parte N de un puente al N de un camino, frente a la nave de José Espinosa y un SPAR.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.jcn.es/UBI/edea/infoRN.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 31-dto-2016			
Situación Geográfica: Número: 832103 Nombre: NGAB829 Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 832102 - SSK588,500a Posterior: 832104 - NGAB830 Agrupada con: 832104 - NGAB830.	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 329,1166 m. Geopotencial: 322,49784 u.g.p. Gravedad en superficie: 979875,41 mgals. Observada Cálculo:			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 43' 18,479" Latitud: 37° 38' 45,399" Altitud elipsooidal: 380,08 m. Precisión: ± 0,05 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 589,350 de la margen E de la N-340a. En la parte S de un puente al N de un camino.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/utilidades/infoRN.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		31-dto-2016	
Situación Geográfica: Número: 832102 Nombre: SSK588,500a Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 832101 - SSK587,500a Posterior: 832103 - NGAB829 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 333,6919 m. Geopotencial: 326,96573 u.g.p. Gravedad en superficie: 979888,89 mgals. Observada Cálculo:			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 43' 42,5" Latitud: 37° 38' 22,0" Altitud elipsooidal: Precisión: ± 10 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 588,500 de la margen E de la N-340a. En la parte N de la base del cartel de TECNOSOL, al S del aparcamiento y al SE de una rotonda.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.jcn.es/Utilidades/infoRN.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 31-dto-2016			
Situación Geográfica: Número: 832101 Nombre: SSK587,500a Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 832100 - SSK586,450a Posterior: 832102 - SSK588,500a Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 347,7916 m. Geopotencial: 340,79558 u.g.p. Gravedad en superficie: 979869,73 mgals. Observada Cálculo:			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 44' 07,9" Latitud: 37° 37' 57,7" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 587,500 de la margen E de la N-340a. En la parte S de un puente sobre una rambla, al N de un camino.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/Ubidades/infoRN.pdf			

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 31-dic-2016</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 832100 Nombre: SSK586,450a Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 832099 - SSK585,900 Posterior: 832101 - SSK587,500a Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 343,1588 m. Geopotencial: 336,2561 u.g.p. Gravedad en superficie: 979870,17 mgals. Observada Cálculo:</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 44' 35,6" Latitud: 37° 37' 31,0" Altitud elipsooidal: Precisión: ± 10 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 586,450 de la margen E de la N-340a. En la parte S de un puente al N de un camino, frente a Autocares A. Muñoz.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p>Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/vl/datos/info/IN.pdf</p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía		
Reseña de Señal de Nivelación				31-dic-2016
Situación Geográfica: Número: 832099 Nombre: SSK585,900 Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 975 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 13 de marzo de 2008 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 832098 - NGAB628 Posterior: 832100 - SSK586,450a Agrupada con:		
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 355,2355 m. Geopotencial: 348,0891 u.g.p. Gravedad en superficie: 979867,52 mgals. Observada Cálculo:				
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 45' 01,4" Latitud: 37° 37' 05,5" Altitud elipsoidal: Precisión: ± 10 m.				
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 585,900 de la margen E de la Autovía A-7 (E-15). En la parte E del soporte de hormigón de un cartel Indicador a La Torreclilla, salida 585, por donde continúa la línea.				
Observaciones:				
Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/subdoses/infoRH.pdf				



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 31-dic-2016

Situación Geográfica:
Número: 832098
Nombre: NGAB828
Línea o Ramal: 832. Cúllar - Lorca

Municipio: Lorca
Provincia: Murcia
Hoja MTN50: 975
Señal: Principal **En posición:** Horizontal
Señalizada: 13 de marzo de 2008
Nivelada:

Enlaces:
Anterior: 832097 - NGAB827
Posterior: 832099 - GSK585,900
Agrupada con:

Datos Geodésicos:
Altitud ortométrica: 376,9899 m.
Geopotencial: 371,3641 u.g.p.
Gravedad en superficie: 979862,62 mgals. **Observada**
Cálculo:

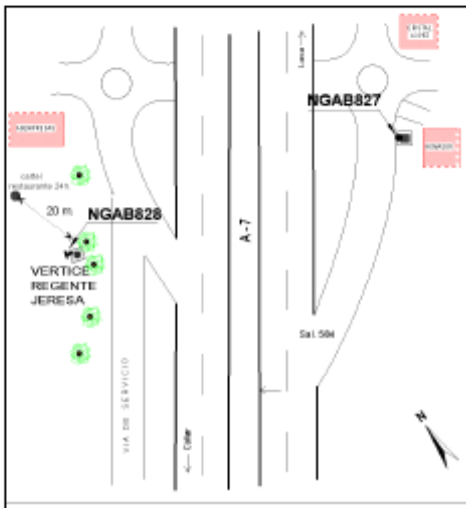
Coordenadas Geográficas ETRS89:
Longitud:
Latitud:
Altitud elipsoidal:
Precisión:

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 584 de la margen W de la A-7, en el W de la rotonda de la salida 584 a un polígono industrial. En la cara W del Vértice Geodésico JERESA, perteneciente a la red REGENTE, escondido entre árboles, según croquis.

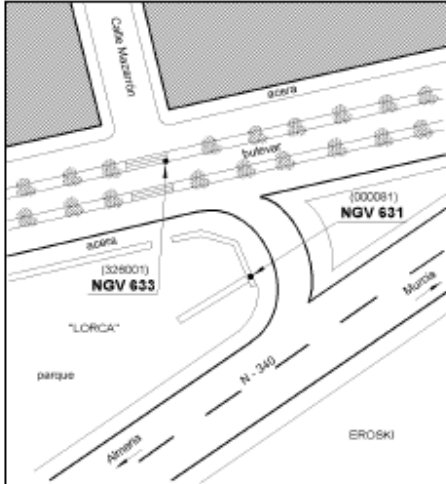


Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://p.geodesia.jgn.es/Utilidades/InfoRN.pdf>



LÍNEA 326

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 326001 Nombre: NGV633 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 81 - NGV631* (Lorca) Posterior: 326002 - SSK57,2 Agrupada con: 81 - NGV631* (Lorca).</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 328,9280 m. Geopotencial: 322,3145 u.g.p. Gravedad en superficie: 979879,88 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 41' 29,82" Latitud: 37° 40' 49,62" Altitud elipsoidal: 380 m. Precisión: ± 1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Ciavo metálico semiesférico incrustado en el extremo SE de los peldaños de una escalera de piedra en un bulevar del centro de Lorca, frente a la calle Mazarrón.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://p.geodesia.ign.es/utildades/vto/rfn.pdf</p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 326002 Nombre: SSK57,2 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTNS0: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 326001 - NGV633 Posterior: 326003 - SSK56,0 Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 335,2541 m. Geopotencial: 328,5143 u.g.p. Gravedad en superficie: 979882,08 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 41' 59,363" Latitud: 37° 41' 04,308" Altitud elipsoidal: 386,1 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 57,200 de la margen O de la Carretera C - 3211, en el extremo SE de la imposta de una alcantarilla-pontón frente al nº 40 de la Carretera a Caravaca.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p><small>Informe del estado de la Señal en: http://3n.geodesia.in.es/di/diIndexOrto3N.pdf</small></p>	



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017

Situación Geográfica:
 Número: 326003
 Nombre: SSK56,0
 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla

 Municipio: Lorca
 Provincia: Murcia
 Hoja MTN50: 953
 Señal: Secundaria En posición: Vertical
 Señalizada: 03 de marzo de 2003
 Nivelada:

Enlaces:
 Anterior: 326002 - SSK57,2
 Posterior: 326004 - SSK55,0
 Agrupada con:

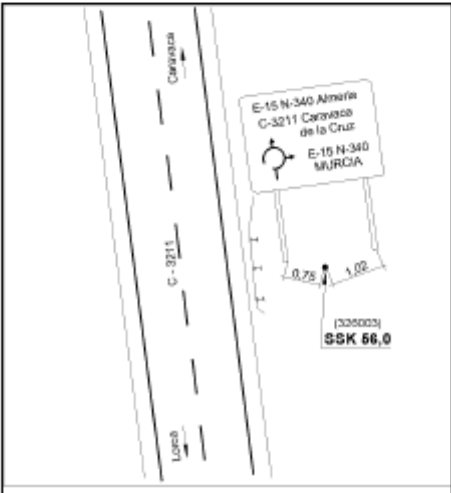
Datos Geodésicos:
 Altitud ortométrica: 353,2859 m.
 Geopotencial: 346,1823 u.g.p.
 Gravedad en superficie: 979677,88 mgals. Observada
 Cálculo: 01 de mayo de 2006

Coordenadas Geográficas ETRS89:
 Longitud: -1° 42' 12,860"
 Latitud: 37° 41' 37,557"
 Altitud elipsoidal: 404,1 m.
 Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:
 Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 56,050 de la margen E de la Carretera C - 3211, sobre la zapata de hormigón de un cartel Indicativo de la autovía N - 340.



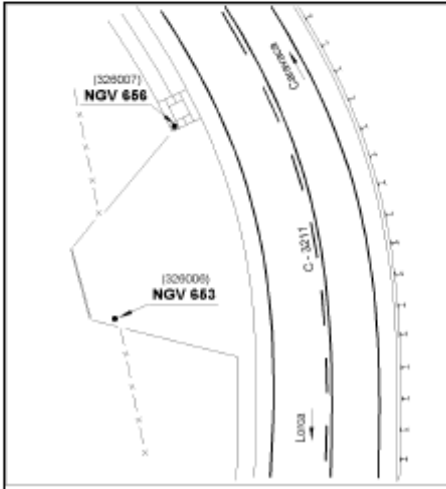
Observaciones:



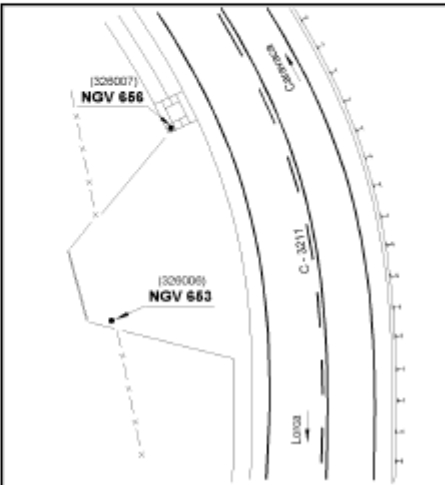
Informe del estado de la Señal en: <http://www.geodesia.un.es/distribucion/IN/IN.pdf>



	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 326004 Nombre: SSK55,0 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 03 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 326003 - SSK56,0 Posterior: 326005 - SSK54,0 Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 359,3309 m. Geopotencial: 352,105 u.g.p. Gravedad en superficie: 979875,44 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 42' 29,2" Latitud: 37° 42' 10,5" Altitud elipoidal: Precisión: Coordenadas orientativas</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiestérreo incrustado aproximadamente en el Km. 54.960 de la margen O de la Carretera C - 3211, en el centro de la imposta S de una alcantarilla del paso de cuneta de un paso a una fábrica de cemento.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p><small>Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.un.es/datos/informn.pdf</small></p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 326005 Nombre: SSK54,0 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 326004 - SSK55,0 Posterior: 326006 - NGV653 Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 379,9877 m. Geopotencial: 372,3446 u.g.p. Gravedad en superficie: 979869,8 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 42' 25,800" Latitud: 37° 42' 41,337" Altitud elipsooidal: 430,8 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 54,020 de la margen O de la Carretera C - 3211, sobre el lado N de la solera de hormigón de la entrada a una planta de Hormigón.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p><small>Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.un.es/di/imagenes/inf/01N.pdf</small></p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		20-may-2017	
Situación Geográfica: Número: 326006 Nombre: NGV653 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavilla Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 326005 - SSK54,0 Posterior: 326007 - NGV656 Agrupada con: 326007 - NGV656.	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 407,8912 m. Geopotencial: 399,6849 u.g.p. Gravedad en superficie: 979863,74 mgals. Calculada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 42' 21,0" Latitud: 37° 43' 010,0" Altitud elipsoidal: Precisión: Coordenadas orientativas			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 53,040 de la margen O de la Carretera C-3211, sobre el extremo S de la solera de hormigón de la puerta de entrada a una finca.			
Observaciones:			
<small>Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.un.es/datos/inform24.pdf</small>			



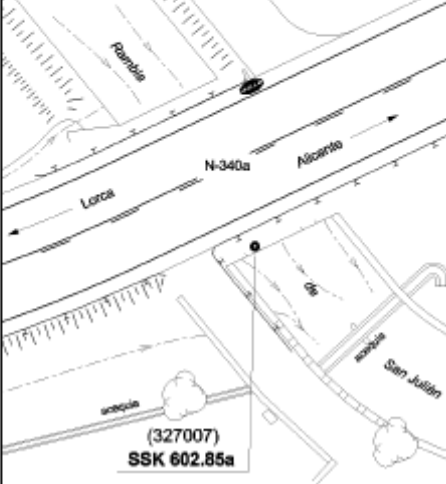
	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 20-may-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 326007 Nombre: NGV656 Línea o Ramal: 326. Lorca - Venta Cavila</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 326006 - NGV653 Posterior: 326008 - SSK52,0 Agrupada con: 326006 - NGV653.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 407,3226 m. Geopotencial: 399,1278 u.g.p. Gravedad en superficie: 979863,85 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 42' 20,103" Latitud: 37° 43' 10,180" Altitud elipsooidal: 458,1 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 53,040 de la margen O de la Carretera C - 3211, en la esquina SO de la imposta de una alcantarilla.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.inia.es/datos/estado/001.pdf</p>	

LINEA 10327

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10327002 Nombre: SSK598.6a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTNS0: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10327001 - SSK597.6a Posterior: 10327003 - SSK599.6a Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 324,7821 m. Geopotencial: 318,25238 u.g.p. Gravedad en superficie: 979881,29 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 40' 18,632" Latitud: 37° 41' 09,381" Altitud elipsooidal: 375,6 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 598,6 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la esquina sudoeste de la zapata de hormigón que sustenta un panel de información de salida de Lorca, y a unos 1000 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p>	
<p><small>Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.gsi.es/d3/datos/info/031.pdf</small></p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		1-abr-2017	
Situación Geográfica: Número: 10327004 Nombre: SSK600,75a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327003 - SSK599,6a Posterior: 10327005 - NGX211 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 306,3551 m. Geopotencial: 300,19723 u.g.p. Gravedad en superficie: 979886,76 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 38' 58,88" Latitud: 37° 41' 35,37" Altitud elipsoidal: 357 m. Precisión: ± 1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 600,75 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la esquina Noreste de la acera ubicada junto a la fachada Noroeste de la nave número 52 del Polígono Industrial, y a unos 1150 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://ftp.geodesia.jccm.es/401642es/info/03.pdf			

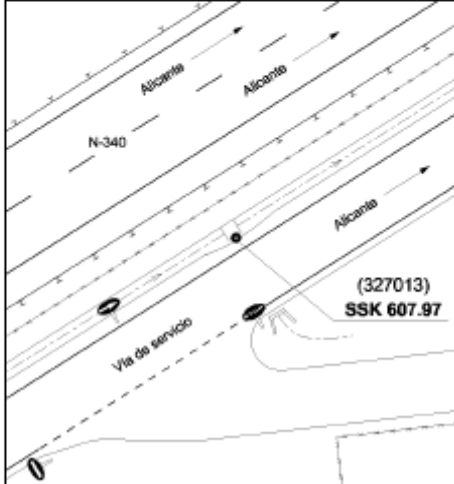
	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10327005 Nombre: NGX211 Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10327004 - SSK600,75a Posterior: 10327006 - NGX212 Agrupada con: 10327006 - NGX212.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 297,2616 m. Geopotencial: 291,28749 u.g.p. Gravedad en superficie: 979890,14 mgals. <i>Calculada</i> Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 38' 17,2" Latitud: 37° 41' 45,1" Altitud elipsoidal: Proyección: Coordenadas orientativas</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiestérilico incrustado aproximadamente en el Km. 601,7 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre el centro del lado Sudoeste del paso de cuneta hormigonada que permite el acceso a un camino que conduce hasta una casa particular, y a unos 1000 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p><small>Informe del estado de la Señal en: http://topo.geodesia.inia.es/datos/informacion/</small></p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación		1-abr-2017	
Situación Geográfica: Número: 10327007 Nombre: SSK602,85a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)		Enlaces: Anterior: 10327006 - NGX212 Posterior: 10327008 - SSK603,85a Agrupada con:	
Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTNS0: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:			
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 294,2636 m. Geopotencial: 288,37021 u.g.p. Gravedad en superficie: 979892,59 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 37' 35,484" Latitud: 37° 41' 54,800" Altitud elipsoidal: 345,0 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 602,85 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre el borde Sudeste del hormigón que forma el puente sobre la Rambla de San Julián, sobre la vertical del pilar Sudoeste, y a unos 1150 m. de la anterior.			
Observaciones:			
<small>Informe del estado de la Señal en: http://hoja.geodesia.lor.es/datos/estado/03n.pdf</small>			

 GOBIERNO DE ESPAÑA	MINISTERIO DE FOMENTO	 INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL	Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía
Reseña de Señal de Nivelación			1-abr-2017
Situación Geográfica: Número: 10327008 Nombre: SSK603,85a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327007 - SSK602,85a Posterior: 10327009 - SSK604,95a Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 293,2830 m. Geopotencial: 287,38966 u.g.p. Gravedad en superficie: 979693,19 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 36' 59,110" Latitud: 37° 42' 09,178" Altitud elipsooidal: 344,0 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 603,85 de la margen Sur de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la esquina Sudoeste de un antiguo muelle de carga ubicada en una gran explanada de hormigón, y a unos 1050 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.gcn.es/d3/datos/inf/031.pdf			

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación			1-abr-2017
Situación Geográfica: Número: 10327009 Nombre: SSK604,95a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327008 - SSK603,85a Posterior: 10327010 - SSK605,99a Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 289,6715 m. Geopotencial: 283,85118 u.g.p. Gravedad en superficie: 979894,98 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 36' 17,036" Latitud: 37° 42' 21,409" Altitud elipsoidal: 340,4 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiestérreo incrustado aproximadamente en el Km. 604,95 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la base de hormigón donde se ubica la báscula de la nave Fertiberia, junto a la esquina Noroeste de la caseta de la báscula, y a unos 1100 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.jccm.es/difusion/orf020.pdf			
			

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10327011 Nombre: NGX213 Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)</p> <p>Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Entlaces:</p> <p>Anterior: 10327010 - SSK605,99a Posterior: 10327012 - NGX215 Agrupada con: 10327012 - NGX215.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 270,8059 m. Geopotencial: 265,36586 u.g.p. Gravedad en superficie: 979900,24 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: -1° 35' 02,839" Latitud: 37° 42' 57,165" Altitud elipsoidal: 321,5 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 606,96 de la margen Noroeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la esquina Sudoeste de un paso de cuneta hormigonado que permite cruzar esta carretera bajo la autovía, y a unos 1150 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p><small>Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.jccm.es/datos/estado/01/01/01/</small></p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017			
Situación Geográfica: Número: 10327013 Nombre: SSK607,97 Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Lorca Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 04 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327012 - NGX215 Posterior: 10327014 - SSK608,87 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 260,5884 m. Geopotencial: 255,35447 u.g.p. Gravedad en superficie: 979903,92 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: - 1° 34' 19,844" Latitud: 37° 43' 15,957" Altitud elipsoidal: 311,3 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 607,97 de la margen Noroeste de la Vía de Servicio (dirección Alicante) de la Autovía N-340, sobre el centro del lado Sudeste de una alcantarilla ubicada en la cuneta homigonada, y a unos 1200 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.gva.es/4346462/inf/001.pdf			



Área de Geodesia
Subdirección General de Geodesia y Cartografía

Reseña de Señal de Nivelación

1-abr-2017

Situación Geográfica:

Número: 10327014
Nombre: SSK608,87
Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)

Municipio: Lorca
Provincia: Murcia
Hoja MTN50: 953
Señal: Secundaria En posición: Vertical
Señalizada: 04 de marzo de 2003
Nivelada:

Datos Geodésicos:

Altitud ortométrica: 250,3837 m.
Geopotencial: 245,35521 u.g.p.
Gravedad en superficie: 979906,31 mgals. Observada
Cálculo: 01 de mayo de 2008

Coordenadas Geográficas ETRS89:

Longitud: -1° 33' 42,878"
Latitud: 37° 43' 32,905"
Altitud elipsoidal: 301,1 m.
Precisión: ± 0,1 m.

Reseña:

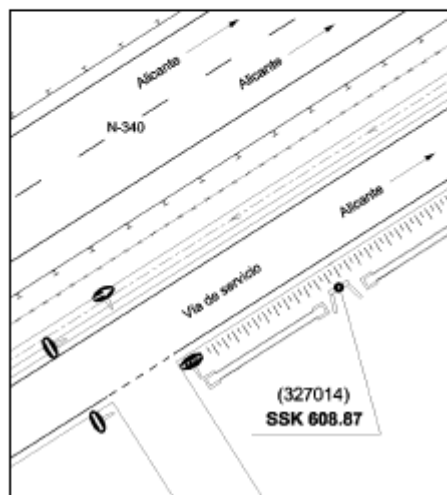
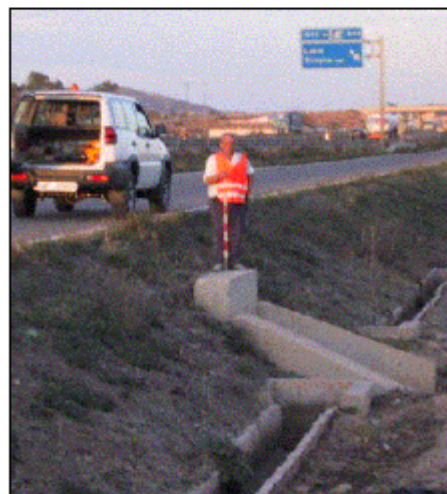
Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 608,87 de la margen Sudeste de la Vía de Servicio (dirección Alicante) de la Autovía N-340, sobre el centro de la parte superior de una alcantarilla, y a unos 1050 m. de la anterior.

Observaciones:

Informe del estado de la Señal en: <http://sio.geodesia.jccm.es/datos/inf/01.pdf>

Entlaces:

Anterior: 10327013 - SSK607,97
Posterior: 10327015 - SSK609,95
Agrupada con:



		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación			1-abr-2017
Situación Geográfica: Número: 10327016 Nombre: SSK610,85a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Totana Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327015 - SSK609,95 Posterior: 10327017 - NGX216 Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 256,7957 m. Geopotencial: 251,63882 u.g.p. Gravedad en superficie: 979907,35 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 32' 40,870" Latitud: 37° 43' 59,629" Altitud elipsoidal: 307,4 m. Precisión: ± 0,1 m.			
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 610,85 de la margen Oeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante (en la Vía que comunica la Vía de Servicio de la Autovía N-340 dirección Alicante con esta antigua N-340a), sobre el centro del lado Norte de un paso de cuneta homigonado que permite el acceso desde una calle a esta Vía de comunicación, y a unos 1150 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.jccm.es/d33/imagenes/info04.pdf			

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10327018 Nombre: NGX217 Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)</p> <p>Municipio: Totana Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Principal En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2004 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10327017 - NGX216 Posterior: 10327019 - SSK613,1a Agrupada con: 10327017 - NGX216.</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 267,7215 m. Geopotencial: 262,34512 u.g.p. Gravedad en superficie: 979906,59 mgals. <i>Calculada</i> Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 32' 05,2" Latitud: 37° 44' 18,1" Altitud elipsoidal: Precisión: Coordenadas orientativas</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 612,2 de la margen Noroeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, en el centro del lado Noreste de la acera ubicada en el puente que cruza sobre la Rambla de Lébor, y a unos 50 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p><small>Informe del estado de la Señal en: http://sio.geodesia.es/433de3ec/inf/031.pdf</small></p>	

	<p>Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía</p>
<p>Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017</p>	
<p>Situación Geográfica:</p> <p>Número: 10327019 Nombre: SSK613,1a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327)</p> <p>Municipio: Totana Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:</p>	<p>Enlaces:</p> <p>Anterior: 10327018 - NGX217 Posterior: 10327020 - SSK614,15a Agrupada con:</p>
<p>Datos Geodésicos:</p> <p>Altitud ortométrica: 255,9729 m. Geopotencial: 250,8332 u.g.p. Gravedad en superficie: 979909,96 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008</p>	
<p>Coordenadas Geográficas ETRS89:</p> <p>Longitud: - 1° 31' 29,546" Latitud: 37° 44' 36,576" Altitud elipsoidal: 306,6 m. Precisión: ± 0,1 m.</p>	
<p>Reseña:</p> <p>Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 613,1 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre el centro del lado Este de la acera del pontón que cruza sobre una pequeña rambla, y a unos 900 m. de la anterior.</p>	
<p>Observaciones:</p> <p style="font-size: small;">Informe del estado de la Señal en: http://fo.geodesia.un.es/di/diades/fofo04.pdf</p>	

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía
Reseña de Señal de Nivelación		1-abr-2017
Situación Geográfica: Número: 10327020 Nombre: SSK614,15a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Totana Provincia: Murcia Hoja MTN50: 953 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327019 - SSK613,1a Posterior: 10327021 - SSK615,2a Agrupada con:
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 255,0103 m. Geopotencial: 249,89027 u.g.p. Gravedad en superficie: 979911,52 mgals. Observada Cálculo: 01 de mayo de 2008		
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 30' 57,42" Latitud: 37° 44' 57,53" Altitud elipsoidal: 306 m. Precisión: ± 1 m.		
Reseña: Clavo metálico semiesférico incrustado aproximadamente en el Km. 614,15 de la margen Sudeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre el centro del lado Noreste de la acera de un pontón, y a unos 1000 m. de la anterior.		
Observaciones: <small>Informe del estado de la Señal en: http://www.geodesia.un.es/diadas/Info/011.pdf</small>		

		Área de Geodesia Subdirección General de Geodesia y Cartografía	
Reseña de Señal de Nivelación 1-abr-2017			
Situación Geográfica: Número: 10327021 Nombre: SSK615,2a Línea o Ramal: 10327. Lorca - Murcia (Tramo 1 antigua 327) Municipio: Totana Provincia: Murcia Hoja MTN50: 954 Señal: Secundaria En posición: Vertical Señalizada: 05 de marzo de 2003 Nivelada:		Enlaces: Anterior: 10327020 - SSK614,15a Posterior: 10327022 - SSK616,1a Agrupada con:	
Datos Geodésicos: Altitud ortométrica: 242,0633 m. Geopotencial: 237,20394 u.g.p. Gravedad en superficie: 979914,88 mgals. Calculada Cálculo: 01 de mayo de 2008			
Coordenadas Geográficas ETRS89: Longitud: -1° 30' 32,7" Latitud: 37° 45' 22,4" Altitud elipsoidal: Precisión: Coordenadas orientativas			
Reseña: Clavo metálico semiestérico incrustado aproximadamente en el Km. 615,2 de la margen Noroeste de la Carretera Nacional N-340a de Lorca a Alicante, sobre la mitad del lado Sudeste de la zapata de hormigón que sustenta una farola frente a la incorporación de la Carretera D-22 (a Raigüero) a esta Nacional, y a unos 1000 m. de la anterior.			
Observaciones:			
Informe del estado de la Señal en: http://info.geodesia.gn.es/di3/di3des/info/021.pdf			

