



**UNIVERSIDAD DE JAÉN**  
Escuela Politécnica Superior de Jaén

Trabajo Fin de Grado

---

**TÉCNICAS DE MICROGEODESIA  
APLICADAS A LA AGRICULTURA  
DE PRECISIÓN**

**Alumno: Anguís Belmonte, Francisco.**

**Tutor:** Ramos Galán, María Isabel.

**Depto.:** Ingeniería Cartográfica, Geodésica y  
Fotogrametría.

**Febrero, 2017**



## Contenido

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.- OBJETIVOS GENERALES.....	3
1.2.-JUSTIFICACIÓN .....	4
CAPÍTULO 2.- ANTECEDENTES .....	6
2.1.- LA EROSIÓN Y EL OLIVAR. ....	6
2.2.1.- AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN. ....	11
2.2.-MANEJO DEL SUELO EN EL OLIVAR.....	13
2.2.1.-OTROS ASPECTOS DE INTERÉS EN SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO. ....	21
2.3.- LA IMPORTANCIA DE LA POSICIÓN.....	22
2.4.- PRECISIÓN EN LA MEDIDA DE LA EROSIÓN. ....	23
2.5.- GPS Y SIG. ....	26
CAPÍTULO 3.- SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	29
3.1.- ZONA DE ESTUDIO. ....	29
3.2.- MOTIVO DE LA ELECCIÓN. ....	31
3.3.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO. ....	32
3.3.1.- ANTECEDENTES EN MATERIA DE EROSIÓN. ....	32
3.3.2.-DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MANEJOS DEL SUELO LLEVADOS A CABO EN LA ZONA DE MEDIDA.....	33
3.4.- APROVECHAMIENTO AGRÍCOLA DE LA ZONA. ....	36
3.5.- CLIMATOLOGÍA. ....	36
CAPÍTULO 4.- MATERIAL Y MÉTODO. ....	42
4.1.- ESTUDIOS PREVIOS.....	42
4.1.1.-SOPORTE PARA LA BASE DE REFERENCIA.....	42
4.1.2.-SOPORTE PARA EQUIPO MÓVIL.....	44
4.2.- DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACIÓN ELEGIDA. ....	45
4.3.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CAMPO.....	46
4.3.1.-CAMPAÑA NOVIEMBRE 2015.....	46
4.3.2.-CAMPAÑA SEPTIEMBRE 2016. ....	56
CAPITULO 5.- TRATAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS. ....	62
5.1.-HERRAMIENTAS Y SOFTWARE UTILIZADO. ....	62
5.2.- ELECCION DEL SISTEMA DE COORDENADAS UTILIZADO. ....	62
5.3.- VOLCADO Y TRATAMIENTO DE DATOS DE LEVANTAMIENTO. ....	63

5.3.- GENERACION MDE's DE PRECISIÓN.....	67
5.3.1.- PRECISIÓN DE LOS MDE'S.....	76
5.4.- DIFERENCIA ENTRE MDE'S DE PRECISIÓN.....	88
5.4.1.- PRECISIÓN EN LA MEDIDA DE LA EROSIÓN.....	90
5.5.- ESTUDIO DE LA EROSIÓN SEGÚN MANEJO DEL SUELO. ....	93
6.- CONCLUSIONES. ....	96
7.- BIBLIOGRAFÍA. ....	99



## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.

En los últimos años, con el avance de las TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación) tenemos la posibilidad de acceder a qué está pasando y dónde en tiempo real. Todo esto es posible gracias a distintas herramientas como es Internet, redes de sensores, los SIG, etc. todas ellas integradas en Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE's), pero, ¿de qué serviría tanta información si no sabemos dónde se encuentra? Es aquí donde la Geodesia cobra un papel fundamental, en determinar la ubicación de los distintos fenómenos que ocurren a nuestro alrededor y ofrecer un marco de referencia común para lograr la interoperabilidad entre distintos agentes y bases de datos.

Centrándonos únicamente en el ámbito de la Geodesia, podemos afirmar que ésta es la madre de la Topografía, ya que una parte fundamental de la Geodesia es la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre en un sistema de referencia determinado.

Concretando un poco más, llegamos al concepto que presentamos en este proyecto: Microgeodesia. Por "*Técnicas de Microgeodesia*" entendemos la medida de deformaciones en estructuras de obra civil o pequeñas extensiones de terreno mediante técnicas geodésicas de alta precisión. El disponer de un amplio abanico de técnicas de observación a satélites GPS, GLONASS o GALILEO nos da la posibilidad de determinar la posición de un punto sobre la superficie terrestre con gran precisión, lo cual nos da la posibilidad de modelar el terreno enmarcado en un sistema de referencia global con un gran nivel de detalle.

El nivel de detalle que podemos alcanzar es tan grande como puntos hay en el universo; infinito. Aquí es donde debemos decidir hasta dónde estamos dispuestos o podemos adquirir información (datos) de la realidad. El levantamiento de una porción de terreno, ya sea mediante técnicas de microgeodesia o por topografía clásica, siempre supone una generalización, ya que sería imposible generar un modelo totalmente fidedigno.

Una vez establecidas el tipo de herramientas que vamos a utilizar las extrapolamos al campo en el que las queremos aplicar: la "*Agricultura de precisión*". Éste viene siendo un campo en el que cada vez más se están aplicando técnicas de medición precisas de diferentes índoles, como pueden ser el uso de red de sensores o vuelos fotogramétricos con sensores multiespectrales. O como en nuestro caso, el uso de técnicas de microgeodesia para la obtención de modelos de superficie.

Como preámbulo a una definición más extensa, podemos definir "*Agricultura de precisión*" de la siguiente manera: Conjunto de técnicas que nos permiten conocer con el mayor nivel de zoom posible el estado de una explotación atendiendo a diferentes características con el fin de optimizar los recursos y mejorar la eficacia y eficiencia de las diferentes actuaciones sobre el cultivo.

El motivo por el cual hoy en día se habla de “*Agricultura de precisión*” es por el hecho de que cada vez más buscamos, como en todo proceso productivo, el mayor rendimiento con el mínimo gasto, lo que se traduce en un uso más eficiente y eficaz de los recursos necesarios para llevar a cabo el proceso a la vez que somos respetuosos con el medio ambiente.

Años atrás en agricultura tradicional, las malas prácticas agrícolas y el uso incontrolado de todo tipo de productos fitosanitarios y fertilizantes entre otros, ha llevado a la agricultura a un punto insostenible tanto económicamente como desde el punto de vista medio-ambiental, por lo que ha sido necesario reflexionar acerca del tema y plantearse otro tipo de agricultura.

Hoy en día y gracias a la tecnología existente, tenemos la capacidad suficiente como para conocer con gran nivel de detalle diferentes aspectos relacionados con el estado de los cultivos y el medio en que se encuentran para así tomar las mejores decisiones a la hora de actuar sobre las explotaciones.

Desde siempre el laboreo tradicional se ha considerado imprescindible para la implantación y desarrollo de un cultivo. Sin embargo, desde el punto de vista ecológico, la práctica agrícola tradicional se opone a la sucesión natural de los suelos por producir una perturbación reiterada en la estructura de éstos.

La agricultura tradicional incluye prácticas como la quema de rastrojos y el laboreo para controlar las malas hierbas. Estas técnicas incrementan considerablemente los procesos de erosión y la contaminación de ríos por sedimentos, fertilizantes y pesticidas. Además, las prácticas de la agricultura convencional incrementan la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y reducen la materia orgánica y la fertilidad del suelo, entre otros efectos negativos para el medio ambiente. En la Fig. 1 un ejemplo de prácticas llevadas a cabo en agricultura tradicional donde se hace uso de un apero llamado “Cultivador” acoplado a un tractor agrícola para el control de malas hierbas:



Figura 1. Ejemplo ilustrativo de laboreo tradicional.

Un concepto reciente relacionado con la Agricultura de Precisión es el de “*Agricultura de Conservación*”. Este concepto va enfocado principalmente al manejo del suelo, que son las tareas que realizamos sobre la superficie terrestre y que inciden de una manera u otra en el estado de los cultivos.

Con la Agricultura de Conservación se establecen las bases para seguir viviendo de la tierra a la vez que se cuida el medio ambiente. Fundamentalmente nos encaminamos a preservar el suelo mediante diferentes manejos, fundamentalmente con el uso de cubiertas vegetales. En la Fig. 2 presentamos un ejemplo de técnicas ligadas al concepto presentado.



Figura 2. Cubierta vegetal en olivar.

Finalmente, como el abanico de posibilidades en agricultura de precisión es inmenso, nosotros solo nos centraremos en el análisis de la erosión en función del tipo de Manejo del Suelo empleado en diferentes fincas. Para ello se han empleado técnicas de microgeodesia en la obtención de modelos del terreno con una precisión adecuada para proporcionarnos un elevado nivel de detalle.

### **1.1.- OBJETIVOS GENERALES.**

El objetivo general es establecer un método mediante el cual seamos capaces de modelar variaciones sufridas en la superficie terrestre causadas por procesos de erosión/reposición con gran nivel de detalle y precisión mediante dos campañas de medición en distintas fechas.

Una vez establecida la metodología a utilizar nos centraremos en determinar cómo las prácticas agrícolas realizadas en el suelo pueden influir en los procesos naturales de erosión, por lo que compararemos resultados obtenidos en dos porciones de terreno adyacentes donde el manejo del suelo es diferente.

Hacemos especial hincapié en “*Manejo del Suelo*” ya que aunque los principales agentes externos causantes de la erosión como son el agua y el viento han sido a los que se les ha prestado más atención, no menos importante es cómo podemos influir nosotros en esos procesos de erosión.

## **1.2.-JUSTIFICACIÓN**

El hecho por el cual es necesario la realización de este tipo de trabajos viene de la importancia de preservar el entorno en el que cuidamos nuestros cultivos. Centrándonos más en el entorno en el que hemos realizado este proyecto, el olivar, ha sufrido en las últimas décadas una gran pérdida de suelo a causa tanto de los agentes externos de erosión como de las malas prácticas agrícolas.

En el cultivo del olivar el tipo de erosión que más se produce es la hídrica. El proceso se inicia con el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo que provoca su disgregación. Posteriormente en zonas de pendiente con suelos desprotegidos y gran longitud de ladera unido a la baja proporción de materia orgánica, se inicia la erosión laminar, superficial, que si no se pone freno se convierte en una erosión por surcos que si no se aplican medidas correctoras, hará que se creen cárcavas y barrancos. Si llegan a aparecer estas cárcavas, las medidas correctoras pueden ser muy costosas, y en muchos casos pueden no tener enmienda. Es necesario emplear técnicas agronómicamente viables y preventivas, como puede ser la implantación de cubiertas vegetales, que son la única forma de anticiparse a estos efectos perjudiciales.

Dicho todo lo anterior, nos podemos hacer una idea de la importancia de disponer de herramientas y métodos capaces de modelar y analizar el terreno en aras de proponer medidas que mitiguen los procesos erosivos en la medida de lo posible.



## **CAPÍTULO 2.- ANTECEDENTES**

### **2.1.- LA EROSIÓN Y EL OLIVAR.**

Andalucía cuenta con olivares repartidos por gran parte de su territorio, lo cual la sitúa a la cabeza de las regiones productoras de aceite en el mundo con una superficie de olivar de 1.541.106 ha en las que la provincia de Jaén representa el 38% aproximadamente con unas 585.571 (Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía, 2013), aunque el número de hectáreas dedicadas al cultivo del olivar se incrementa a pasos agigantados en detrimento de otros tipos de cultivos anteriores. El cultivo del olivar siempre ha ocupado suelos marginales, poco fértiles y con elevadas pendientes. Dado que hablamos de una planta muy resistente a distintos factores adversos tanto climatológicos como los referentes al medio en el que son implantados, el suelo, podemos decir que hablamos de un cultivo totalmente adaptado al entorno en el que se encuentra la provincia de Jaén.

La región se caracteriza por una pluviometría irregular con una estación seca pronunciada y lluvias en ocasiones torrenciales, donde las cuencas suelen presentar elevadas pendientes, hecho que facilita los procesos erosivos y no favorece el aprovechamiento de las lluvias, en muchas ocasiones la única de la que dispone el olivar dado que el 53% de la superficie de olivar andaluz es de secano (Anuario de Estadísticas Agrarias y Pesqueras de Andalucía, 2013). La pérdida de agua por escorrentías se traduce siempre en pérdidas en la productividad a la par que favorece otros problemas asociados como la pérdida de suelo, contaminación de aguas por nutrientes y productos fitosanitarios así como la colmatación de embalses consecuencia del uso abusivo de fertilizantes nitrogenados, entre otros.

La erosión es un fenómeno geológico natural causado por el desprendimiento de partículas del suelo a causa de la acción del agua o el viento que las depositan en otro lugar. Está originada por la combinación de varios factores tales como las pendientes pronunciadas, el clima, la inadecuada utilización del suelo, el tipo de cubierta vegetal y los desastres ecológicos. Además, ciertas características intrínsecas del suelo pueden hacerlo más propenso a la erosión como puede ser el contenido en materia orgánica.

Hablamos siempre del contenido en materia orgánica de un suelo, pero ¿sabemos realmente por qué es tan importante? Básicamente, sin presencia de materia orgánica en un suelo los cultivos serían totalmente inviables dado que todos los nutrientes necesarios para las plantas son asimilables gracias a la materia orgánica, se trata pues de un elemento esencial en todo cultivo. Además de ser un elemento esencial para la propia planta, también lo es para el suelo. Muchas son las ventajas de tener un alto contenido en materia orgánica en el suelo, como puede ser un aumento de retención de recursos hídricos, reducción de encharcamiento, favorecer la vida microbiológica, y lo más importante y lo que más interés tiene desde nuestro punto de vista es que disminuye los efectos de la erosión. Aspecto clave en Agricultura de Conservación es el aporte de materia orgánica mediante el triturado de restos vegetales, ya sean restos de

poda o malas hierbas, así como el aporte de restos de almazaras. En la Fig. 3 podemos ver un ejemplo de estas prácticas.



Figura 3. Aporte de restos de poda mediante trituradora autoalimentada.

El laboreo tradicional ha hecho que el contenido en materia orgánica de los suelos disminuya considerablemente en un corto periodo de tiempo, por lo que ahora nos enfrentamos a una problemática mayor, “reconstruir” ese suelo. Este proceso, al contrario que el de degradación, puede llevar décadas e incluso siglos, todo ello contando con que las prácticas agrícolas sean las adecuadas, lo que nos lleva a un concepto ya indicado, el de Agricultura de Conservación.

Centrándonos ahora en el ámbito que nos ocupa, Jaén, y más concretamente el cultivo del olivar, investigaremos en algunos artículos sobre este tema. Según fuentes del Mapama (Ministerio de Agricultura y Pesca), en lo que respecta a Jaén y al cultivo del olivar indican lo siguiente:

*“En lo que respecta a la erosión laminar y en regueros, la que más interesa tanto cuantitativa como cualitativamente, la provincia de Jaén presenta unas tasas medias de pérdida de suelo bastante elevadas, concentrándose esta pérdida fundamentalmente en las superficies agrícolas: más del 73% de la pérdida de suelo provincial se produce en cultivos agrícolas situados en pendientes entre el 10 y el 50%, siendo esta cifra del 54% si la particularizamos para el olivar de secano, que representa más del 65% la superficie provincial que tiene pérdidas de suelo altas o muy altas (superiores a 50 toneladas por hectárea y año). Es significativo que municipios típicamente olivereros y de sierra o presierra como Los Villares, Fuensanta de Martos, La Iruela o Villanueva del Arzobispo presenten las tasas medias de erosión más elevadas.*

*Volviendo al olivar, porque hablar de erosión en Jaén es, como se ha visto, hablar del olivar, hay que insistir en poner de manifiesto las consecuencias económicas y ecológicas que tiene la erosión del suelo en este cultivo, tanto para la propia explotación como para su entorno geográfico y social. La erosión reduce la fertilidad y*

*capacidad nutricional, el espesor de la capa arable y la profundidad efectiva del suelo, aumenta su pedregosidad y empeora sus condiciones físicas, disminuye su materia orgánica y biomasa, reduce su biodiversidad, dificulta el cultivo, altera el ciclo hidrológico, afea el paisaje, degrada la calidad de las aguas, colmata los embalses y favorece el desbordamiento de los ríos. Pero la erosión no es algo sustancialmente unido al olivar, sino a una forma particular de cultivarlo, basado en el laboreo continuo y en la eliminación radical de toda cubierta vegetal, que además de favorecer el empobrecimiento y la erosión del suelo, interrumpe el ciclo del carbono, favorece la pérdida de agua y reduce la vida en el olivar.”*

De lo anteriormente expuesto y como venimos indicando a lo largo del texto, erosión y olivar van a ir de la mano. Es inevitable indicar que las técnicas llevadas a cabo hasta ahora en lo que se refiere al manejo del suelo en el olivar nos han llevado al punto en el que nos encontramos e incluso algunos expertos en la materia tildan la situación de catastrófica, y no les falta razón.

Vamos ahora con más datos e ilustraciones que reflejen el estado actual del suelo en Andalucía y más concretamente en la provincia de Jaén. La Consejería de Agricultura, Pesca y Medio Ambiente dicta lo siguiente:

*“En todas las provincias de Andalucía se producen importantes incrementos de la erosividad de la lluvia respecto de la media. Jaén (102,5 %), Córdoba (92,0 %), Cádiz (86,4 %) y Málaga (85,5 %), provincias por otra parte coincidentes con las de mayor nivel de pérdidas de suelo, presentan los mayores aumentos. En el resto de Andalucía los incrementos son más moderados oscilando entre los 67,8 % de Sevilla, 65,0 % de Granada, los 54,9 % de Almería y el 31,7 % de aumento registrado en la provincia de Huelva. El aumento generalizado de la erosividad de la lluvia ha propiciado un aumento de la superficie afectada por altas pérdidas de suelo en todas las provincias andaluzas. Solo en el centro-norte de Almería se observa un ligero descenso de los procesos erosivos”.*

Y más concretamente lo siguiente: *“Jaén y Cádiz presentan niveles similares de pérdidas de suelo, afectando las pérdidas altas y muy altas al 29,6 % y 28,0 % de sus superficies, respectivamente. El aumento es generalizado y especialmente evidente en las campiñas olivareras y cerealistas de ambas provincias. El incremento es moderado en las sierras con abundante vegetación natural”.*

Como resumen de todo lo anterior expuesto, la Fig. 4 ilustra mediante un cuadro la evolución de la estimación de pérdidas de suelo en Andalucía en el periodo comprendido del año 1992 al 2010. Podemos observar como desde el año 2002 al año 2010 el aumento de tasas de pérdidas de suelo “Moderadas, Altas y Muy altas” se incrementa año tras año. Este hecho nos hace pensar que quizás este aumento se deba a las malas prácticas agrícolas realizadas fruto del auge en el uso de herbicidas en el control de malas hierbas y al laboreo tradicional realizado en este intervalo de tiempo.

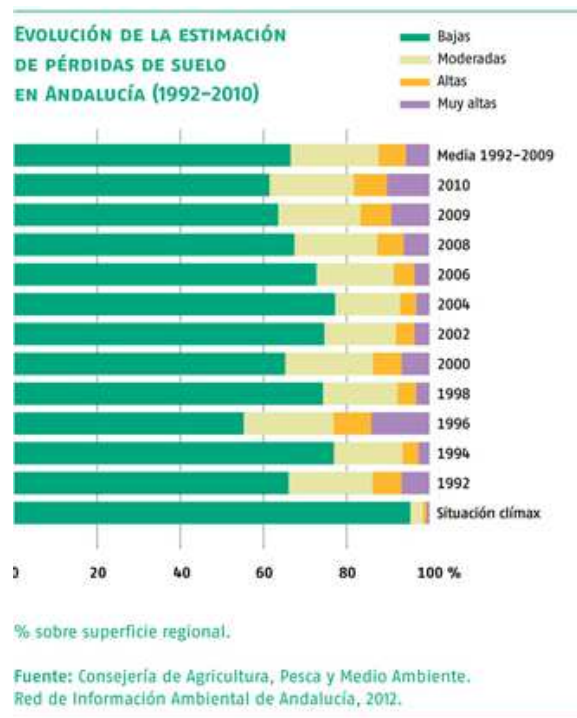


Figura 4. Ilustración de la estimación de pérdidas de suelo en Andalucía.

A continuación ilustraremos de una manera gráfica la situación en la que se encuentra la provincia de Jaén mediante la clasificación de tres variables relativas a la erosión; Pérdida de suelo media, Pérdida de suelo potencial y Erosividad media de la lluvia.

La Pérdida de suelo media se obtiene aplicando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) a la región de Andalucía para el seguimiento anual de la erosión. Este modelo paramétrico estima el valor en toneladas métricas por hectárea y año de la cantidad de suelo removido por la erosión hídrica laminar y en regueros.

Los valores, sin embargo, han de ser tomados como un indicador ambiental sin plena expresión cuantitativa, ya que para obtener una plena valoración absoluta sería necesaria una calibración experimental en campo para adaptarla a nuestras condiciones locales, no obstante sí puede ser utilizado como una eficaz herramienta para realizar comparaciones espaciales o seguir la evolución temporal de estos procesos. Así, los valores anuales se ofrecen también en referencia a los valores medios de la serie histórica.

El objetivo es poder realizar comparaciones territoriales y multitemporales, o simplemente ser utilizado en otros procesos de modelización de los riesgos medioambientales.

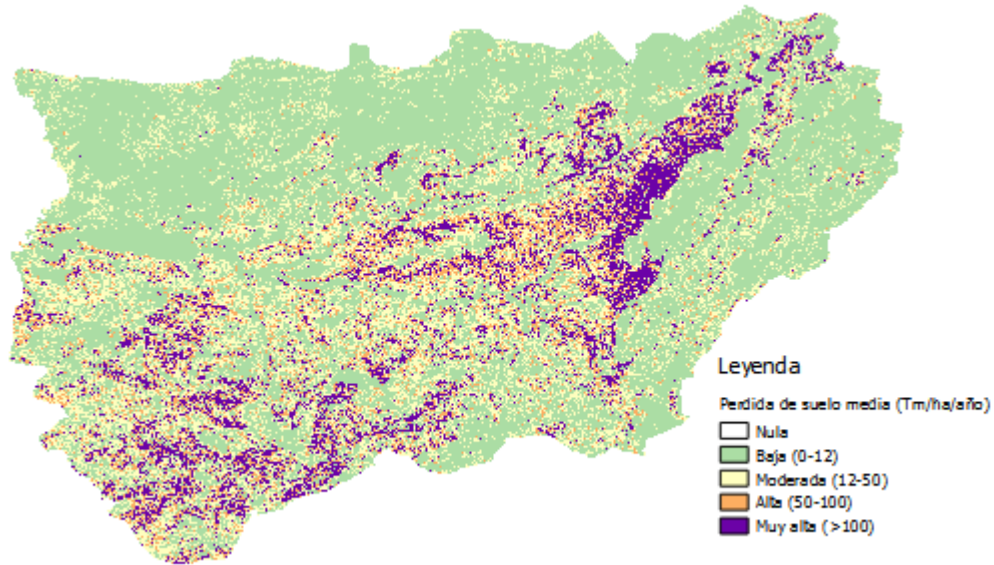


Figura 5. Pérdida de suelo media (Tm/ha/año)

La Fig. 5 plasma los resultados expuestos anteriormente en la Fig.4. Como podemos observar gran parte de la provincia se enfrenta a un gran problema de pérdida de suelo por lo que seguimos reafirmando en la idea de que es necesaria la elaboración de herramientas y métodos que ayuden en la medida de lo posible a frenar la pérdida de suelo.

Otro variable de interés en lo referente a la pérdida de suelo es la Pérdida de suelo potencial. Ésta indica que si no existe cobertura del suelo y no se tienen practicas de conservación del suelo y del agua, podríamos llegar a perder “x” Tm/ha/año. Se trata pues de un modelo de previsión de pérdidas del suelo. En la Fig. 6 podemos ver la distribución que tiene esta variable sobre la provincia de Jaén:

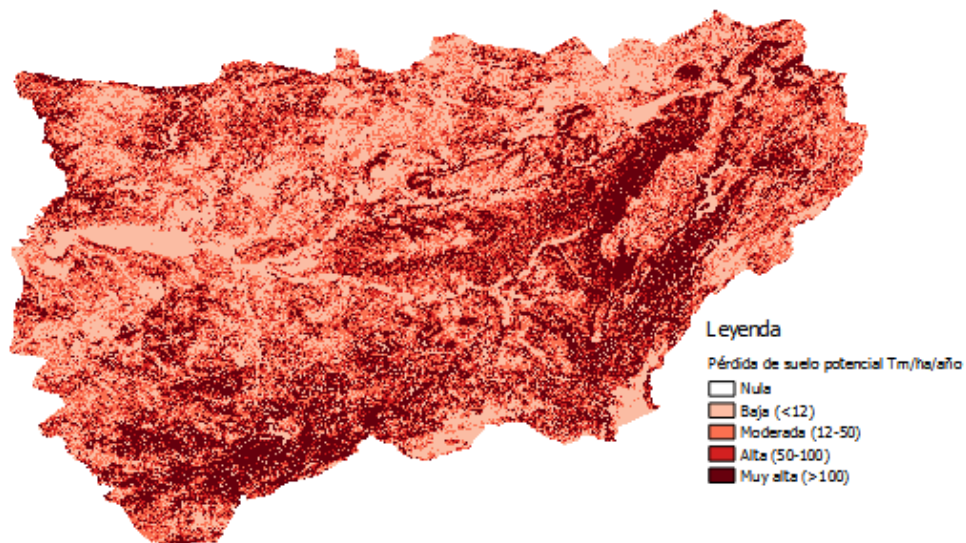


Figura 6. Pérdida de suelo potencial (Tm/ha/año)

La Erosividad media de la lluvia expresa la cantidad de energía cinética desplegada por el conjunto de las gotas de agua de un aguacero que impactan contra el suelo, siendo ésta directamente proporcional a la densidad del aguacero, la velocidad inercial de las gotas de lluvia y el tamaño de las mismas. En la Fig. 7 podemos ver la distribución que tiene esta variable sobre la provincia de Jaén:

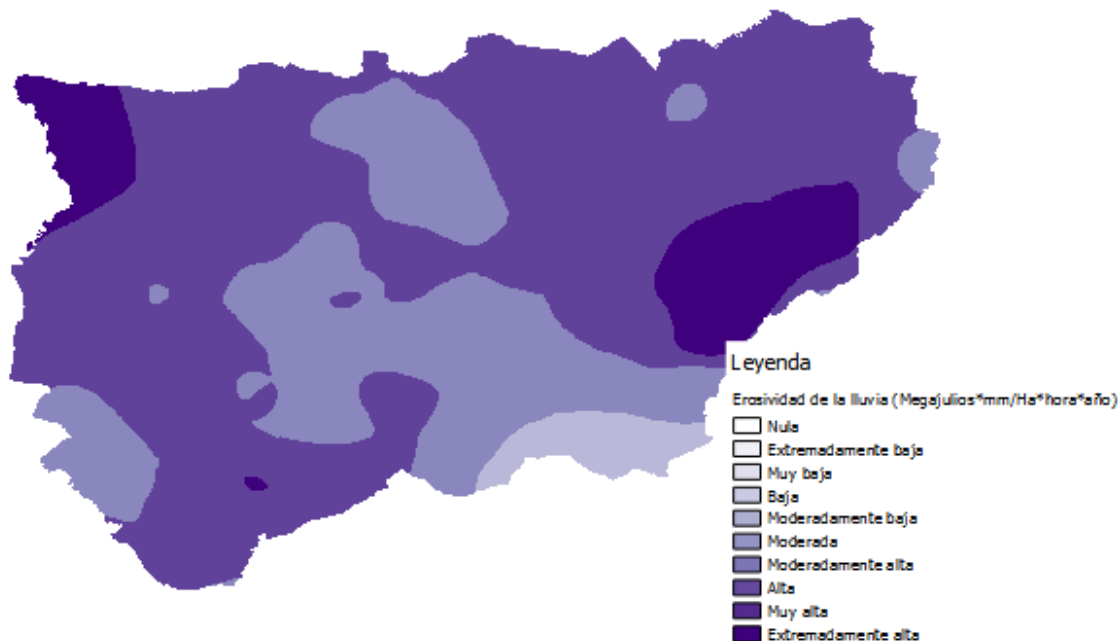


Figura 7. Erosividad de la lluvia (Megajulios\*mm/ha\*hora\*año)

### 2.2.1.- AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN.

La agricultura de conservación abarca cualquier práctica que reduzca, cambie o elimine el laboreo y evite la quema de material vegetal procedente del cultivo para mantener suficientes residuos en la superficie a lo largo de todo el año. Como consecuencia, el suelo es protegido de la erosión, de la lluvia y de la escorrentía de las aguas. Los agregados del suelo, la materia orgánica y el nivel de fertilidad se incrementan, disminuye la contaminación de las aguas superficiales, se reducen las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y aumenta la biodiversidad.

La agricultura de conservación proporciona un sistema de producción sostenible en el que no sólo se conservan, sino que se refuerzan los propios recursos naturales y se incrementa la variedad y el número de fauna, flora y organismos y microorganismos del suelo sin sacrificar los rendimientos.

El laboreo de conservación incluye todas aquellas técnicas de laboreo que mantienen más del 30% de la superficie cubierta con residuos del cultivo.

No se trata de volver a la agricultura tradicional y sabiduría popular, sino que se deben complementar los conocimientos tradicionales, aportando explicaciones científicas y técnicas.

En el caso del olivar estas prácticas se traducen en sustituir el laboreo tradicional donde eran frecuentes labores como el volteo del suelo, pases de rastra, alisado del terreno con rulos, etc. por otro tipo de prácticas más encaminadas a la conservación del suelo, fundamentalmente con el establecimiento de cubiertas vegetales. Más adelante analizaremos este tipo de prácticas más profundamente. Visualizando la Fig. 8 podemos hacernos una idea del tipo de conversión a la que se enfrenta en cuanto a Manejo del Suelo el cultivo del olivar.

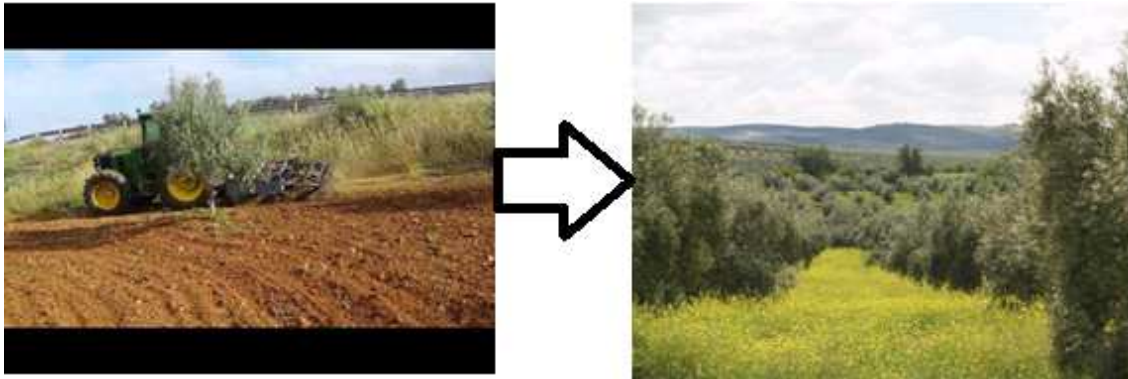


Figura 8. Ejemplo ilustrativo de conversión de laboreo tradicional a técnicas relativas a Agricultura de Conservación

## 2.2.-MANEJO DEL SUELO EN EL OLIVAR.

Como venimos apuntando anteriormente, muchos son los factores que influyen en los procesos de erosión, tanto internos como externos.

Con factores internos nos referimos a las propiedades intrínsecas de cada suelo, como puede ser su textura, porosidad, composición, pH, contenido en materia orgánica, etc. y que son importantes conocer a la hora de realizar cualquier trabajo referente a estudios de erosión.

Cuando hablamos de factores externos hacemos referencia a todo aquello que actúa sobre la superficie del terreno y que es capaz de alterar su forma o composición. Dentro de este elemento de la clasificación, podemos diferenciar a su vez dos tipos de agentes externos: los procesos naturales y la mano del hombre.

Los procesos naturales son bien conocidos, como las precipitaciones (Fig. 9) o el viento, entre otros. Muchos son los estudios que reflejan la pérdida de suelo relacionada sobre todo con las precipitaciones, muchos más que los relacionados con la acción del viento. Si bien la temática está muy avanzada en lo que son las técnicas de medida y en el análisis de los resultados, pocos estudios toman en cuenta como la influencia de la mano del hombre sobre el suelo pueda repercutir en esos resultados. Nos estamos refiriendo claramente a como el “*Manejo del Suelo*” puede repercutir en la erosión

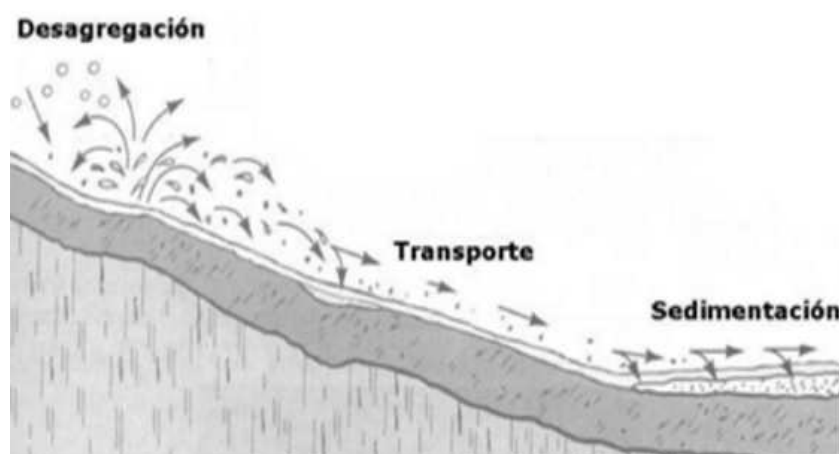


Figura 9. Ilustración de erosión causada por precipitación.

Con Manejo del Suelo nos referimos a las técnicas de cultivo que se realizan sobre la superficie del terreno con el fin de conservar y mantener el medio en el que se desarrollan los cultivos (suelo).

Existe cierta controversia acerca de cuál es el sistema de manejo del suelo idóneo en el olivar. El cultivo plantea varios problemas como son: la necesidad de aprovechar el agua de lluvia, el control de las malas hierbas, la erosión, el uso de herbicidas o los riesgos de contaminación de aceites y puntos acuíferos. Todo esto, unido a la enorme diversidad de situaciones climatológicas, topográficas, de insolación junto con las características del propio cultivo (edad, marco de plantación, número de

patas, variedad, riego-secano) impiden recomendar una forma única de manejar el suelo. Se hace necesario, por tanto, evaluar los factores que afectan a la productividad y al medio ambiente y, en función de las condiciones medioambientales de cada olivar, decidir cuáles son las técnicas adecuadas que en cada momento podemos aplicar. Por lo general y salvo caso único y aislado, la implantación de cubiertas vegetales viene siendo la técnica más adecuada para el Manejo del Suelo.

Consultando bibliografía perteneciente al Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA) vemos un párrafo escrito por Lucio Junio Moderato Columela, famoso agrónomo hispano-romano, contemporáneo de Jesucristo. En su “*Tratado de los Trabajos del Campo*”, en el Libro V, daba recomendaciones precisas sobre el laboreo del olivar tales como:

*“... pero como mínimo dos veces al año ha de ser arado y cavado profundamente con la azada alrededor de los árboles; y después del solsticio, cuando la tierra se abre por los calores, hay que tener cuidado de que el sol no penetre hasta las raíces de los árboles a través de las grietas. Después del equinoccio otoñal, los árboles deben recibir un descalce de forma que desde la parte superior, si el olivo está en pendiente, se provoquen regueras que lleven al agua hasta el tronco”.*

Resaltamos de este párrafo la insistencia que se ha tenido hasta hace relativamente poco tiempo en remover el suelo, si bien está quedando demostrado que esta técnica no es la más idónea si lo que queremos es conservarlo en su sitio o al menos que no se desplace a otras zonas.

Indicado el concepto de Manejo del Suelo y definidos los agentes causantes de erosión, lo siguiente que nos queda es clasificar las distintas técnicas adoptadas para la conservación y mantenimiento del medio en el que se desarrollan los cultivos, el suelo.

Una primera clasificación se establece atendiendo a la cobertura del suelo. El considerar un suelo cubierto o desnudo depende de si sobre del terreno encontramos algún tipo de material que lo cubra (piedras, restos vegetales, restos de poda triturados) o si por el contrario nos encontramos el suelo desnudo como su propio nombre indica.

Dentro de cada elemento de esta clasificación distinguimos el/los sistema/as establecidos para la conservación y mantenimiento del suelo. Se trata pues del tipo de manejo adoptado sin ahondar aún en los procesos o técnicas utilizadas para llevar a cabo el establecimiento de cada sistema.

Como último elemento de la clasificación incluimos las formas o técnicas de manejo que podemos utilizar. Para cada tipo de sistema podemos adoptar una o varias formas de manejo atendiendo al tipo de sistema adoptado. Cada agricultor podrá optar por una serie de formas de manejo del suelo en función de los recursos de los que disponga (maquinaria, personal) y de las propias características del cultivo, ya que aunque la variedad de formas de manejo es relativamente amplia, más aún lo es la variedad de tipos de cultivo y de suelos.

En el siguiente cuadro (Tabla 1) vemos los dos primeros elementos de la clasificación a los que suceden diferentes sistemas y formas de manejo:

Cobertura del suelo	Sistema	Forma de manejo	Siglas
Suelo desnudo	Laboreo convencional más o menos frecuente y profundo.	Pases con cultivador o grada	SD-LC
	No laboreo.	Aplicación herbicidas al 100% de la superficie	SD-NL
Suelo cubierto	Cubierta inerte.	Deposición de piedras u otros materiales	SC-CI
	Cubierta de restos vegetales inertes.	Restos de poda triturados, hojas, paja, etc.	SC-CRV
	Cubierta vegetal viva espontánea	Siega química. Aplicación de herbicidas.	SC-CESQ
		Siega mecánica. Mediante desbrozadoras.	SC-CESM
		Pastoreo.	SC-CEP
	Cubierta vegetal plantada con cereales, gramíneas, crucíferas, leguminosas, etc.	Siega química. Aplicación de herbicidas.	SC-CPSQ
		Siega mecánica. Mediante desbrozadoras.	SC-CPSM
		Pastoreo.	SC-CPP
	Cubierta vegetal mixta. Vegetación espontánea o plantada junto con resto vegetales inertes	Siega química. Aplicación de herbicidas.	SC-CMSQ
		Siega mecánica. Mediante desbrozadoras.	SC-CMSM
		Pastoreo.	SC-CMP

Tabla 1. Clasificación de Manejo del suelo

Una vez establecida esta clasificación vamos a describir de forma más amplia cada uno de los sistemas y formas de manejo ayudándonos de algunas ilustraciones.

**-Suelo desnudo laboreo convencional:** Consiste en remover el suelo fundamentalmente con el fin de controlar las hierbas y facilitar la infiltración. Ha sido el sistema más utilizado por los olivareros aunque en los últimos años se ha observado una disminución considerable en la aplicación de este tipo de manejo.

Los medios y herramientas utilizadas en esta forma de manejo han ido variando a lo largo del tiempo. Así en museos agrícolas o en las instalaciones de cualquier agricultor con mucho tiempo en el oficio, podemos encontrar los “arados de mulos”, dicho técnicamente arados de tracción animal, y que fueron durante mucho tiempo utilizados en prácticas de laboreo convencional. Un ejemplo de estos aperos de labranza aparece en la Fig. 10, concretamente se trata de un arado de mulos:



Figura 10. Ejemplo de laboreo tradicional con arado de mulos.

Hoy en día para la realización de estas prácticas contamos con la ayuda de cabezas tractoras (tractores) a los que podemos acoplar distintos tipos de aperos. Entre ellos, para la práctica del laboreo convencional encontramos aperos como los cultivadores, gradas de disco, chisel, rastras, rejonas, etc.

**-Suelo desnudo no laboreo:** Consiste en mantener el suelo limpio de malas hierbas mediante la aplicación de herbicidas (Fig. 11), sin ninguna labor. Tuvo buena acogida por parte de los agricultores porque a corto plazo incrementa las producciones. Sin embargo, a medio y largo plazo la compactación del suelo que se produce resulta limitante para el cultivo por la reducción de las tasas de infiltración y los incrementos de la escorrentía, lo que da lugar a pérdidas de cosecha, suelo y a la formación de cárcavas.



Figura 11. Ejemplo de aplicación de herbicidas en no laboreo.

La forma de manejo en este sistema se reduce a la aplicación de herbicidas en la totalidad de la superficie del olivar mediante equipos de aplicación de fitosanitarios, como pueden ser barras pulverizadores en alta o baja presión o mochilas pulverizadoras ya sean de chorro proyectado o centrífugas.

**-Suelo cubierto con materiales inertes:** Consiste en mantener el suelo sin labrar y cubierto de materiales inertes, entendiendo por inertes los que no aportan materia orgánica, como por ejemplo piedras o materiales sintéticos.

Tienen un importante efecto en el control de erosión porque evitan el impacto directo de la lluvia sobre el suelo y suponen un importante obstáculo a la escorrentía.

Pero en el caso de las piedras, dependiendo del tamaño y de su disposición, también pueden facilitar la concentración de caudal de esorrentía y acentuar procesos erosivos. En cambio, dispuestas en círculo alrededor del olivo y en las calles facilitan la recolección de aceituna caída y resultan eficaces en el control de la erosión tal y como aparecen en la Fig. 12.



Figura 12. Ejemplo ilustrativo cubierta vegetal inerte

Las herramientas utilizadas en esta forma de manejo del suelo se reducen a aquellas que permitan la limpieza bajo copa para facilitar las tareas de recolección, como son los cepillos giratorios y diferentes herramientas de mano. Aquí un ejemplo en la Fig. 13 de las herramientas utilizadas en este tipo de forma de manejo así como el resultado final.



Figura 13. Ejemplo de cepillo giratorio utilizado en la limpieza de la zona bajo copa en olivar.

**-Suelo cubierto con restos vegetales inertes:** Se trata de cubrir el suelo con restos de poda y hojas de olivo, así como otros restos vegetales de diferentes orígenes sin laboreo, únicamente depositándolos sobre la superficie del cultivo.

Son muy eficaces contra la erosión porque evitan el impacto directo de la lluvia, suponen un obstáculo a la pérdida de agua por escorrentía y al arrastre de sedimentos y también porque aumentan los contenidos de materia orgánica y las tasas de infiltración. Claro ejemplo de lo anteriormente expuesto queda plasmado en la Fig. 14, donde se puede observar como los restos de poda suponen una barrera al avance de la escorrentía.



Figura 14. Ejemplo ilustrativo de cubierta de restos vegetales inertes.

En este caso, las herramientas utilizadas en esta forma de manejo son aquellas que permitan el triturado de los restos de poda y/o desvareto del olivar. En el caso que decidamos aportar restos procedentes de almazaras u otros tipos de restos necesitaremos esparcirlos para que cubran la porción de terreno que creamos conveniente.

**-Suelo cubierto con cubierta vegetal viva/espontánea:** en este caso no distinguiremos distintas formas de manejo entre ambas, ya que la única diferencia sería el tipo de vegetación que tengamos. Generalmente el uso de cubiertas con vegetación espontánea es el más usado, ya que el tipo de vegetación existente en el cultivo será por naturaleza la mejor adaptada al medio. Si por el contrario no disponemos de esa vegetación ya sea por erradicación anterior o por otros motivos, optaremos por la siembra de ésta.

Esta técnica consiste en dejar crecer las hierbas o sembrar un cultivo y mantenerlos vivos durante un periodo concreto, bien en toda la superficie o en franjas. Este aspecto de mantener la cubierta en toda la superficie o en franjas lo definiremos en detalle más adelante ya que será un aspecto clave en este proyecto. Después se eliminan en un momento dado para evitar la competencia por los recursos con el olivo. Resumen

de lo anteriormente expuesto lo encontramos en la Fig. 15, donde observamos la vegetación existente sobre el suelo en proceso de ser segada-triturada.

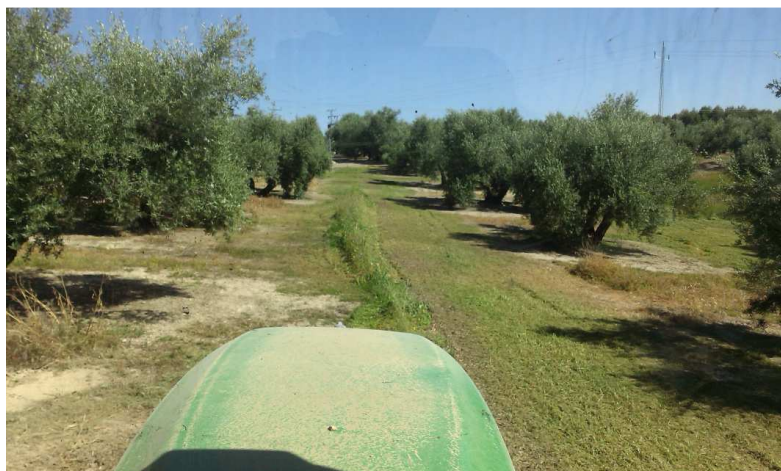


Figura 15. Ilustración proceso de eliminación de malas hierbas.

Tienen un efecto muy positivo en el control de erosión. Cubren el suelo, mejoran la estructura, permiten una gran infiltración de agua y reducen la velocidad del agua de escorrentía, provocando la sedimentación en las franjas de cubierta. Al tratarse de plantas vivas el sistema radicular descompacta el suelo, hecho importante cuando se pretende reducir o eliminar las labores.

En este tipo de manejo el abanico de posibilidades es amplio dependiendo de cómo queramos eliminar la vegetación. Nos referimos a la siega con el objetivo de que la vegetación en un momento dado no compita con el cultivo. Dependiendo de cómo queramos ejecutar la siega optaremos por unas herramientas u otras e incluso podemos optar por el pastoreo como método de siega. La elección del método de siega queda a disposición del agricultor, optando por aquel que mejor se adapte a los medios y herramientas de las que disponga, todo ello valorando la rentabilidad de unos frente a otros o en el caso de tener que realizar una inversión en maquinaria, valorar los periodos de amortización de ésta.

Refiriéndonos a la forma de manejo (siega) nos encontramos con tres métodos principalmente:

**-Siega química:** se basa en la aplicación de herbicidas sobre la cobertura con el objetivo de secar la hierba. En este método el uso de herramientas se limita a aquellas que nos permitan la aplicación de herbicidas por la totalidad de la superficie como barras pulverizadoras de chorro proyectado o centrífugas. En la siguiente ilustración (Fig. 16) podemos ver el resultado de llevar a cabo esta forma de siega. El resultado a simple vista no es del todo agradable, pero se trata de un método rápido y eficaz en la eliminación de las malas hierbas ya que reduce la competencia de éstas con el cultivo de forma radical.



Figura 16. Ilustración siega química.

-Siega mecánica: esta forma de manejo del suelo se basa en la siega propiamente dicha mediante medios mecánicos, o dicho de otra manera, en cortar la hierba a ras del suelo o a una determinada altura para posteriormente dejar los restos triturados sobre el suelo. Se trata pues de un método más respetuoso con el medio ambiente ya que reduce el uso de herbicidas tan perjudiciales para el suelo como se ha venido demostrando. Si bien existen algunos estudios que indican que con este método no reducimos totalmente la competencia con el olivo como ocurre con la siega química, la realidad es que la merma en la producción que podamos tener con la práctica de este método es insignificante (menor del 2%) además de evitar en mayor medida el riesgo de incendio al triturar los restos.

Las herramientas utilizadas para este tipo de manejo del suelo son varias, y van desde desbrozadoras manuales con motor de propulsión a sofisticadas desbrozadoras accionadas por toma de fuerza a un tractor como observamos en la Fig. 17. Todo dependerá de las características de la explotación y de las necesidades de cada agricultor.



Figura 17. Ilustración de herramientas utilizadas en siega mecánica.

-Pastoreo: esta forma de manejo del suelo resulta un tanto peculiar en cuanto a que es el ganado el que siega la vegetación, de esta manera tenemos un doble beneficio; por un lado siegan la hierba evitando la competencia de esta con el olivo, y por otro los excrementos de estos animales sirven como aporte de materia orgánica. Aunque se presenta como un tema novedoso, no es nada nuevo el control de malas hierbas con el ganado desde hace tiempo, aunque no tanto en temas referentes al olivar.

Por llamarlo de alguna manera, las herramientas para este tipo de manejo se tratan de animales herbívoros, mayormente ganado para industria cárnica o láctea. En la siguiente imagen (Fig. 18) podemos ver un rebaño de ovejas en labores de pastoreo.



Figura 18. Ilustración rebaño de ovejas en olivar.

-**Suelo cubierto con cubierta mixta**: la única novedad en este tipo de manejo con respecto a las anteriores es la inclusión de material vegetal inerte, como pueden ser los restos de poda o provenientes de almazaras, por lo que el aporte de materia orgánica vendrá por dos vías. Se trata pues de la mezcla de dos tipos de sistema de manejo del suelo totalmente compatibles y que experimentalmente están generando muy buenos resultados.

### 2.2.1.-OTROS ASPECTOS DE INTERÉS EN SISTEMAS DE MANEJO DEL SUELO.

Mucho hemos hablado hasta ahora de los procesos de erosión, sus consecuencias y de cómo el manejo del suelo puede afectar de una manera u otra a estos procesos. Por otra parte la adopción de un tipo de manejo trae consigo otras consecuencias referentes a otros aspectos a tener en cuenta a la hora de implantar un sistema de manejo del suelo.

A modo de resumen, en el siguiente cuadro (Tabla 3) presentamos estos aspectos relacionados con cada sistema de Manejo del Suelo obtenidos de bibliografía perteneciente al IFAPA:

<b>Sistema</b>	<b>Contaminación por herbicidas</b>	<b>Control del hierbas</b>	<b>Materia orgánica y fijación de CO<sub>2</sub></b>
Laboreo convencional	El laboreo permite reducir o eliminar el riesgo que conlleva la utilización de herbicidas.	Las labores permiten controlar hierbas anuales y bienales, pero no siempre son efectivas contra perennes.	Si se hace frecuentemente provoca la pérdida paulatina de materia orgánica y contribuye a incrementar el aporte de CO <sub>2</sub> a la atmósfera
No laboreo suelo desnudo	El no laboreo con suelo desnudo obliga a emplear herbicidas.	Los herbicidas actuales autorizados (en España) permiten controlar de forma efectiva la mayor parte de la flora del olivar	Con este sistema no se aporta materia orgánica por lo que no se fija CO <sub>2</sub> , pero tampoco se provoca la pérdida de la ya existente.
Cubiertas inertes	Estas cubiertas no requieren una aplicación de herbicidas tan intensa como el no laboreo con suelo desnudo	Este tipo de cubiertas suponen una barrera muy importante a la emergencia y desarrollo de las malas hierbas, pero no llegan a eliminarlas por completo	Estas cubiertas no afectan directamente a los niveles de materia orgánica ni a la fijación de CO <sub>2</sub> .
Cubiertas inertes de restos vegetales	Tienen un efecto muy positivo sobre el control de la contaminación, porque permiten reducir el uso de herbicidas	Permiten controlar en parte las hierbas por suponer una barrera física y por las sustancias alelopáticas que se producen al descomponerse la cubierta	La gran ventaja de estas cubiertas es el aporte de materia orgánica al suelo, pero también tienen el riesgo de introducir ciertos patógenos,
Cubiertas vegetales vivas.	Permiten reducir el uso de herbicidas y, por tanto, los riesgos de contaminación.	Las cubiertas vivas compiten con la flora espontánea y facilitan el control de las malas hierbas	Permiten aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo y fijar CO <sub>2</sub> .

Tabla 3. Aspectos relacionados con diferentes tipos de Manejo del suelo

### 2.3.- LA IMPORTANCIA DE LA POSICIÓN.

Como toda medida que pretendemos obtener de cualquier cosa, siempre buscamos obtener la mayor precisión, o dicho de otro modo, la menor incertidumbre. Por muy precisa que podamos realizar una medida, o bien los instrumentos con la que la

realicemos sean realmente precisos, cada medida vendrá acompañada de su incertidumbre. De aquí el hecho de que tan importante es conocer la medida como su incertidumbre.

Dicho esto, el conocimiento de las incertidumbres de las medidas realizadas mediante técnicas de observación a satélites como GPS nos guiará a determinar la mejor opción en cuanto a qué técnica utilizar.

En este proyecto buscamos la técnica que mejor se adapte a nuestro objetivo, teniendo en cuenta que perseguimos aquella que mejor se adapte a los niveles de precisión que necesitamos en la búsqueda de variaciones sufridas en la superficie. Conocer el grado de incertidumbre se hace aun más vital en esta situación, ya que pequeñas variaciones en la superficie pueden ser causa de la incertidumbre en la medida y no de una variación en sí de la superficie.

En el siguiente cuadro (Tabla 3) se presenta un ejemplo de distintos grados de incertidumbre acordes con diversas actividades agrícolas.

Precisión	Función	Ejemplos
± 10 m	Navegación	Mapas de cultivos y de bosques
± 1 m	Ejecución de tareas Información Documentación	Mapas de rendimientos, fertilización, muestras de suelo y malas hierbas, acciones específicas en áreas protegidas
± 10 cm	Conducción de vehículos	Control de solapamientos, conducción de cosechadoras
± 1 cm	Manejo de aperos	Control mecánico de malas hierbas

*(Auerhammer y Schueller, 1999)*

Tabla 3. Grados de incertidumbre asociados a distintas actividades agrícolas

## 2.4.- PRECISIÓN EN LA MEDIDA DE LA EROSIÓN.

Conocer la incertidumbre cometida en cualquier tipo de medida es siempre una de las premisas que planteamos en todo proyecto, más aún cuando lo que pretendemos es tomar datos para la creación de modelos con gran nivel de detalle.

Teniendo en cuenta la precisión que buscamos en la realización de este proyecto, y dado que el elemento de los cultivos que necesitamos modelar es el terreno, nos remitimos a los datos presentes en la Tabla 3 donde según las tareas que deseemos realizar sobre el terreno tendremos asociados unos niveles de precisión determinados. De esta manera el elemento de la clasificación que nos resulta de interés es el de “Control mecánico de malas hierbas”, donde la precisión requerida es del orden de 1 cm. Más adelante estudiaremos si llegar a este nivel de precisión es posible con la instrumentación y técnicas elegidas. En principio buscamos la técnica que mayor precisión nos proporcione a la hora de capturar coordenadas en el menor tiempo de observación posible.

La elección del nivel de precisión que queremos alcanzar se ha hecho en base a poder evaluar modelos de erosión generados a partir de técnicas de microgeodesia para

una vez obtenidos proponer medidas que mitiguen los procesos de erosión mediante el uso de técnicas instauradas en Agricultura de Precisión.

Existen varios estudios en materia de erosión llevados a cabo por diferentes instituciones públicas, sobre todo aquellos en los que comparan la erosión producida en suelos donde el Manejo del Suelo se hace de forma tradicional (Laboreo Tradicional) con los suelos donde se realizan prácticas asociadas a la Agricultura de Conservación (Cubiertas Vegetales). Si bien estos estudios arrojan resultados muy próximos a la realidad, los medios y herramientas utilizados en ellos no tienen ninguna base geodésica ya que la medida de la erosión se realiza recogiendo materiales procedentes de escorrentías y relacionándolos con la superficie de la que proceden.

De igual manera, mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) varias instituciones públicas arrojan resultados en materia de erosión. En este proyecto pretendemos dar un paso más en el nivel de detalle de la información espacial asociada a la pérdida de suelo, por lo que volvemos a resaltar que el nivel de precisión que buscamos será el que mayor podamos obtener mediante las herramientas y técnicas existentes.

Muchos son los elementos a tomar en cuenta a la hora de analizar datos geoespaciales así como para analizar la información obtenida a partir de éstos. Siempre se ha centrado la atención sobre la componente posicional del dato obviando otros elementos como son su temporalidad, consistencia lógica o de dominio, formato etc. o atendiendo a la información obtenida, elementos como son la exactitud temática. En este epígrafe nos centraremos principalmente en la componente posicional del dato, dado el carácter vital que éstos cobran en este proyecto, sin dejar de lado otras componentes de la calidad.

Una vez realizado un estudio previo sobre técnicas de medición a satélites, acogemos la que mejor se adapte a nuestras necesidades atendiendo sobre todo al nivel de incertidumbre preestablecido y al tiempo utilizado en la realización de la medida.

A continuación puede verse un cuadro (Tabla 4) donde se indica las características de los instrumentos topográfico-geodésicos existentes en el almacén:

EQUIPO	SENSOR	Fase en Post-Proceso		Fase en Tiempo Real		Código	
		Estático(H/V)	Cinemático(H/V)	Estático(H/V)	Cinemático(H/V)	Estático	Cinemático
M1	SR9400	5-10 mm + 2ppm	10-25mm + 2ppm			30 cm	50 cm
M2	SR9400	5-10 mm + 2ppm	10-25mm + 2ppm			30 cm	50 cm
M3	SR9400	5-10 mm + 2ppm	10-25mm + 2ppm			30 cm	50 cm
M4	SR9400	5-10 mm + 2ppm	10-25mm + 2ppm			30 cm	50 cm
M5	SR9400	5-10 mm + 2ppm	10-25mm + 2ppm			30 cm	50 cm
M6	SR510	10 mm + 2 ppm	20 mm + 2 ppm			30 cm	30 cm
B1	SR399	5 mm + 1 ppm	10-20mm + 1 ppm			30 cm	50 cm
B2	SR399	5 mm + 1 ppm	10-20mm + 1 ppm			30 cm	50 cm
B3	SR399	5 mm + 1 ppm	10-20mm + 1 ppm			30 cm	50 cm
B4	SR9500	5 mm + 1 ppm	10-20mm + 1 ppm			30 cm	50 cm
B5	SR9500	5 mm + 1 ppm	10-20mm + 1 ppm			30 cm	50 cm
B6	SR530	5 mm + 1 ppm	10 mm + 1 ppm			30 cm	30 cm
G1	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G2	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G3	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G4	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G5	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G6	GX1230	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G7	GX1230+	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G8	GX1230+	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G9	GX1230+	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm
G10	GX1230+	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	5 mm + 0.5 ppm 10 mm + 0.5 ppm	10 mm + 1 ppm 20 mm + 1 ppm	25 cm	25 cm

Tabla 4. Características técnicas instrumentación

En este caso se ha optado por dos técnicas de medición: posicionamiento estático de 12 h. en la determinación de una base de referencia en la que esperamos una incertidumbre cercana al centímetro; para el levantamiento de la zona de medida optamos por la metodología RTK (fase en tiempo real). Las coordenadas obtenidas para el posicionamiento estático, y por ende para el levantamiento en RTK, están en el marco de referencia de las estaciones permanentes de la RAP (Red Andaluza de Posicionamiento) referidas al marco de referencia ITRF.

El posicionamiento RTK es aquel que se realiza para estimar coordenadas de receptores estáticos o cinemáticos aplicando correcciones a partir de las observaciones de fase. Se trata pues de una técnica de posicionamiento diferencial en tiempo real en la que se utilizan uno o varios receptores.

En la técnica de posicionamiento de fase en tiempo real, un receptor normalmente es estático y se utiliza como estación de referencia y cuyas coordenadas son conocidas, los demás receptores pueden ser estáticos o cinemáticos.

Para distancias moderadas entre la estación permanente y el equipo móvil los efectos específicos de satélite están fuertemente correlados. Por tanto la influencia de los errores orbitales y de los efectos atmosféricos se reducen considerablemente.

La ecuación de observación de medidas de fase en la estación permanente en la época  $t_0$  puede escribirse como:

$$L_{sp}^i(t_0) = \rho_{sp}^i(t_0) + \Delta\rho_{sp}^i(t_0) + \Delta\rho^i(t_0) + \Delta\rho_{sp}(t_0) + \square N_{sp}^i$$

La corrección de fase viene dada por:

$$PRC^i(t_0) = \rho_{ps}^i(t_0) - L_{ps}^i = -\Delta\rho_{ps}^i(t_0) - \Delta\rho^i(t_0) - \Delta\rho_{ps}(t_0) - \lambda N_{ps}^i$$

Por último se tiene que la corrección de fase predicha a la distancia de fase observada en el equipo móvil se puede obtener como:

$$L_{mov}^i(\mathbf{t})_{corr} = \rho_{mov}^i(\mathbf{t}) + \Delta\rho_{ps,mov}(\mathbf{t}) + \lambda N_{ps,mov}$$

Las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento dependerán de varios factores, de esta forma la precisión de los puntos del levantamiento puede llegar a ser del orden de 2-3 cm en planimetría, soliendo ser el doble para el caso de la componente altimétrica.

En la obtención de datos en campo trataremos de obtener el mayor nivel de detalle para generar un modelo lo más parecido a la realidad. Al no tratarse de una zona con elementos lineales bien definidos o grandes cambios de pendiente, la mayor parte de los puntos serán de relleno, por lo que intentaremos generar una malla regular con un espaciado de 1,5 m aproximadamente.

Una vez obtenidos los datos, el enfoque en la precisión de la medida de la erosión irá dirigido al tratamiento de éstos para generar modelos y posteriormente su análisis. En este sentido, muchas son las herramientas para el procesamiento y análisis de los datos. Nos decantaremos por aquellas que permitan el tratamiento de los datos con el mínimo nivel de generalización o por aquellas que ofrezcan más posibilidades tanto en tratamiento como en análisis.

Resumidamente, para cada proceso del método establecido en este proyecto debemos conocer con el mayor nivel de precisión su incertidumbre para poder establecer al final el nivel de incertidumbre obtenido.

## 2.5.- GPS Y SIG.

Dadas las herramientas y recursos empleados en este proyecto, vemos la necesidad de establecer una relación que los aúne con el fin de alcanzar nuestros objetivos y así entender mejor como los alcanzamos.

De sobra son conocidas las técnicas de registro de datos espaciales mediante observaciones a satélites, entre ellas la más extendida y conocida como GPS (Global Positioning System), gracias a la cual podemos obtener coordenadas de puntos sobre la superficie terrestre en un marco de referencia definido.

Por otro lado, el uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) suponen un avance en cuanto a que somos capaces de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

El uso conjunto de GPS y SIG supone un avance dado que seremos capaces de integrar varias capas de información (vectoriales, ráster) con el fin de extraer información mediante el tratamiento, ya sea por separado o de forma conjunta, de las distintas capas de información.

En este proyecto el enfoque en el uso de GPS y SIG va centrado a realizar estudios evolutivos mediante la superposición de modelos generados de la misma porción de terreno en diferentes épocas.



## CAPÍTULO 3.- SELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### 3.1.- ZONA DE ESTUDIO.

La zona de estudio está ubicada en el término municipal de Torreperogil, provincia de Jaén. Se trata de un pequeño municipio situado en el corazón de la comarca de La Loma y Las Villas, limítrofe con el de Úbeda con el que mantiene una estrecha vinculación. Destaca el cultivo del olivar como aprovechamiento mayoritario de las tierras, cabiendo resaltar que en este municipio la proporción entre cultivo de secano y cultivo de regadío es prácticamente muy similar, por lo que cuenta con producciones importantes. En este municipio hay también una pequeña superficie de terreno dedicada al cultivo de la vid, que proporciona un vino de calidad estimada a nivel provincial, resultando ser uno de los pocos municipios de la provincia con producción vinícola. Como actividad industrial principal, cabe señalar la construcción como sector predominante, tanto para el propio municipio como para el conjunto de la comarca, ocupando el tercer lugar en número de empresas, después de los municipios de Úbeda y de Baeza.

Datos relativos a este municipio:

- **Denominación:** Torreperogil.
- **Altitud:** 780 m. (s.n.m.m).
- **Distancia a la capital:** 64,3 km por A-316.
- **Población:** 7.600 (2014) Instituto Nacional de Estadística.
- **Superficie:** 93 km<sup>2</sup>
- **Coordenadas centroide:** Lat = -3,2407°, Long = 38.0117°.

Localización del término municipal de Torreperogil dentro de la provincia de Jaén (Fig.19).



Figura 19. Posición del municipio de Torreperogil dentro de la provincia de Jaén.

Pasamos a ubicar la zona de medida dentro del término municipal (Fig. 20). Ésta se encuentra situada a unos 5 km del centro urbano del municipio en sentido Sureste en el paraje denominado “Capitan” lindando al Noroeste con el Arroyo de Puebla. En el resto del perímetro no existe ningún elemento que destacar.

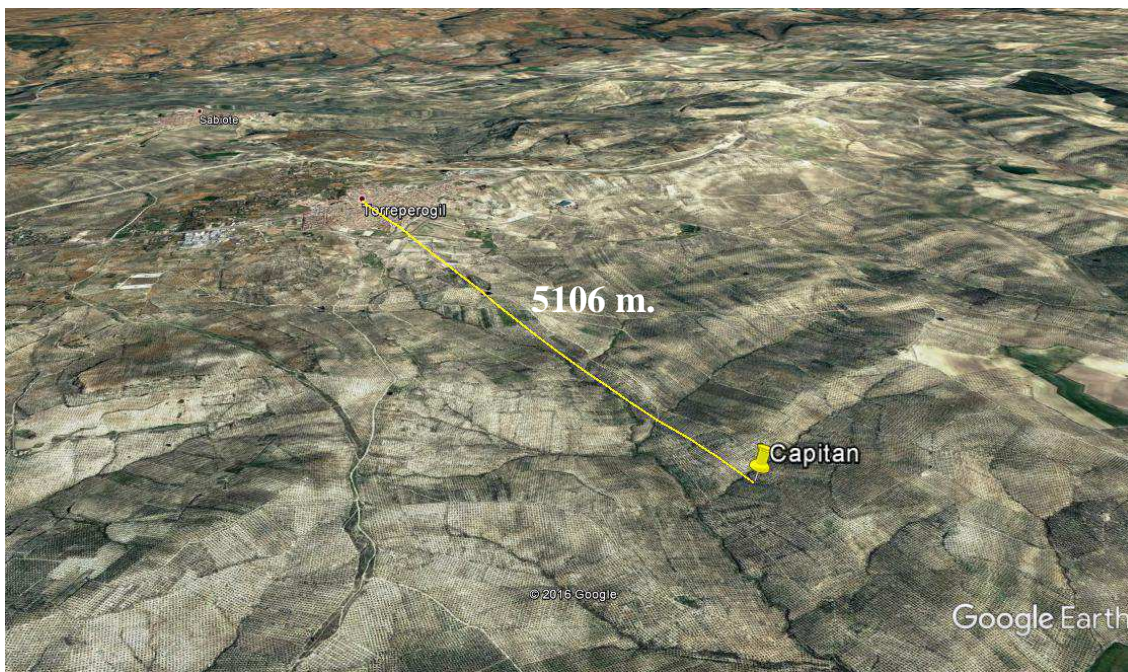


Figura 20. Ubicación zona de la zona de medida.

En el caso que queramos obtener una visualización rápida de la zona de medida en un SIG, las coordenadas geodésicas a introducir son:

- Latitud: 37° 59' 49.70" N
- Longitud: 3° 16' 13.30" O

Aquí vemos en la Fig. 21 la zona de medida en cuestión:



Figura 21. Zona de medida

### 3.2.- MOTIVO DE LA ELECCIÓN.

En lo referente a la selección de la zona de estudio pensamos en aquella donde se dieran diferentes Manejos del Suelo pero a su vez las características intrínsecas del suelo fueran similares.

Afortunadamente encontramos en primera instancia una zona donde el manejo del suelo era diferente en tres parcelas contiguas, pero como veremos más adelante solo fue posible el levantamiento de dos de ellas. En éstas las características tanto de la superficie (pendiente, orientación, longitud de ladera, etc.) como del propio suelo (estructura, textura, permeabilidad, drenaje, etc.) son muy similares. En lo único que no existe similitud entre ellas es en el manejo del suelo llevado a cabo en cada cual.

Por otra parte indicar que en la elección de la zona de estudio escogimos parcelas con pendiente pronunciada ya que éstas son más susceptibles a la erosión, por lo que podremos obtener resultados más significativos a corto plazo. En la siguiente imagen (Fig. 22) tomada desde la parte más alta de la zona de medida ubicada en el sureste de ésta podemos observar el sentido decreciente de la pendiente.



Figura 22. Ilustración del sentido de la pendiente en la zona de medida.

Con los antecedentes establecidos, la zona elegida nos parece la indicada para realizar un estudio novedoso en materia de erosión, ya que utilizaremos una metodología diferente a la empleada hasta ahora y compararemos valores de erosión producidos en dos tipos de Manejo del Suelo dentro del sistema de Coberturas Vegetales, algo que hasta la fecha no existe antecedente alguno.

Indicar que no existen estudios previos realizados en la zona de estudio, por lo que la realización de este proyecto supone el inicio de una serie temporal de mediciones para futuros análisis.

### **3.3.- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.**

#### **3.3.1.- ANTECEDENTES EN MATERIA DE EROSIÓN.**

Establecidos en capítulos anteriores los antecedentes en materia de erosión para la Comunidad Autónoma de Andalucía y más concretamente para la provincia de Jaén, vamos a centrar la atención en nuestra zona de medida. Estudiaremos los datos particulares de la localidad ofrecidos por la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) en materia de erosión como hemos procedido anteriormente para la provincia de Jaén.

#### **Pérdida de suelo media.**

Como vemos en la imagen (Fig. 23), el término municipal de Torreperogil se encuentra situada en la zona centro de la provincia correspondiéndose con el polígono sombreado con patrón de puntos. En este caso observamos que gran parte de la superficie está clasificada dentro del intervalo definido como “Muy alta” (tono morado). Se trata pues de una zona en la que se registran grandes pérdidas de suelo cada año.

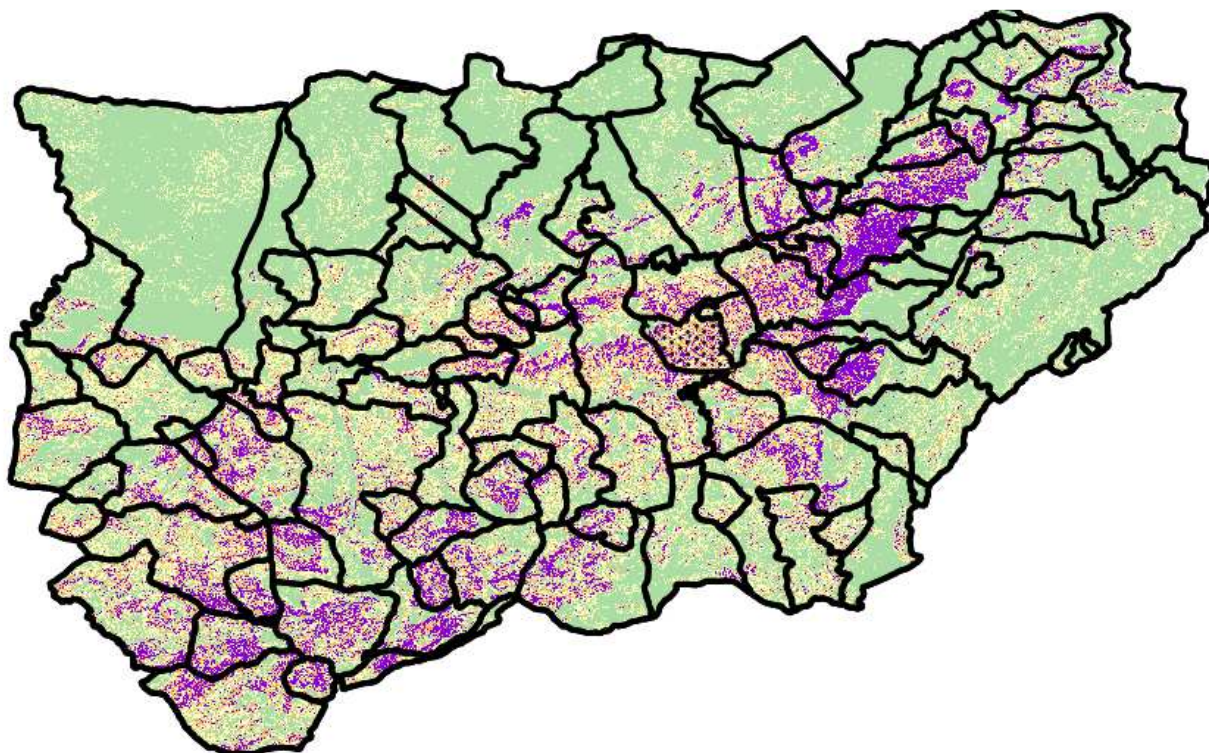


Figura 23. Pérdida de suelo media en el término municipal de Torreperogil.

### 3.3.2.-DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES MANEJOS DEL SUELO LLEVADOS A CABO EN LA ZONA DE MEDIDA.

Hasta ahora hemos sentado las bases para lograr entender como el Manejo del Suelo influye en los procesos de erosión, por lo que es el turno de describir sobre qué tipo o tipos de Manejo del Suelo hemos realizado este proyecto.

En primer lugar indicar que se han distinguido dos sistemas de Manejo del Suelo. Ambos sistemas de manejo se basan fundamentalmente en el uso de cubiertas vegetales vivas espontáneas. Hasta aquí la similitud entre ambos tipos de manejo.

Aunque en la bibliografía existente y en la Web no existe mucha información al respecto, en este proyecto vamos a incluir una nueva clasificación dentro de los sistemas de manejo de cubiertas vegetales atendiendo a la superficie que ocupa la cobertura respecto al total del cultivo. De este modo distinguimos dos tipos de cobertura; Cobertura Interfilas y Cobertura a Todo Terreno. Vayamos con una descripción más detallada de ambas:

**-Cubierta vegetal interfilas:** este concepto sí que está ampliamente extendido y su implantación básicamente consiste en dejar franjas de cobertura vegetal en sentido perpendicular a la pendiente del terreno. El terreno no ocupado por la cubierta queda desnudo salvo las zonas bajo copa. Con zonas “bajo copa” nos referimos a las zonas situadas inmediatamente debajo del olivo. En la Fig. 24 vemos un claro ejemplo de este sistema de manejo:



Figura 24. Ilustración de cubierta vegetal interfilas.

**-Cubierta vegetal a todo terreno:** este concepto ni es tan conocido como el anterior ni está tan establecido, ya que las prácticas a realizar para su implantación requieren de otros tipos de maquinaria y mayor mano de obra. En este sistema de manejo la única superficie que no ocupa la cobertura vegetal es la zona bajo copa. Se trata de un sistema más costoso ya que para mantener la zona bajo copa limpia de hierba no existe maquinaria automatizada (o es muy costosa) que aplique herbicida solo en estas zonas, por lo que esta tarea se realiza de manera totalmente manual mediante aplicadores de herbicida de mochila.

Con este tipo de manejo logramos reducir si cabe aun más el uso de herbicidas, por lo que también se traducirá en un beneficio para el medio ambiente.

En la siguiente imagen (Fig. 25) podemos ver un ejemplo de este tipo de sistema donde la cobertura ocupa toda la superficie que no se encuentra bajo copa.



Figura 25. Ilustración de cubierta vegetal a todo terreno.

Una vez ubicado el entorno en el que realizaremos los trabajos y descrita la situación en que nos encontramos, pasamos a clasificar desde el punto de vista de Manejo del Suelo la zona de estudio. Como vemos en la imagen (Fig. 26), podemos distinguir dos casos: En el caso de la parcela A observamos franjas de vegetación en sentido perpendicular a la pendiente del terreno, por lo que el tipo de manejo del suelo llevado a cabo es el de **Cubierta Vegetal Interfilas (CVIF)**; observando la parcela B vemos que la única porción de superficie donde el suelo está desnudo es bajo copa, por lo que en este caso el manejo del suelo llevado a cabo en esta parcela es el de **Cubierta Vegetal a Todo Terreno (CVTT)** con el añadido de que en ésta se incorporan además materia vegetal inerte (restos de poda).

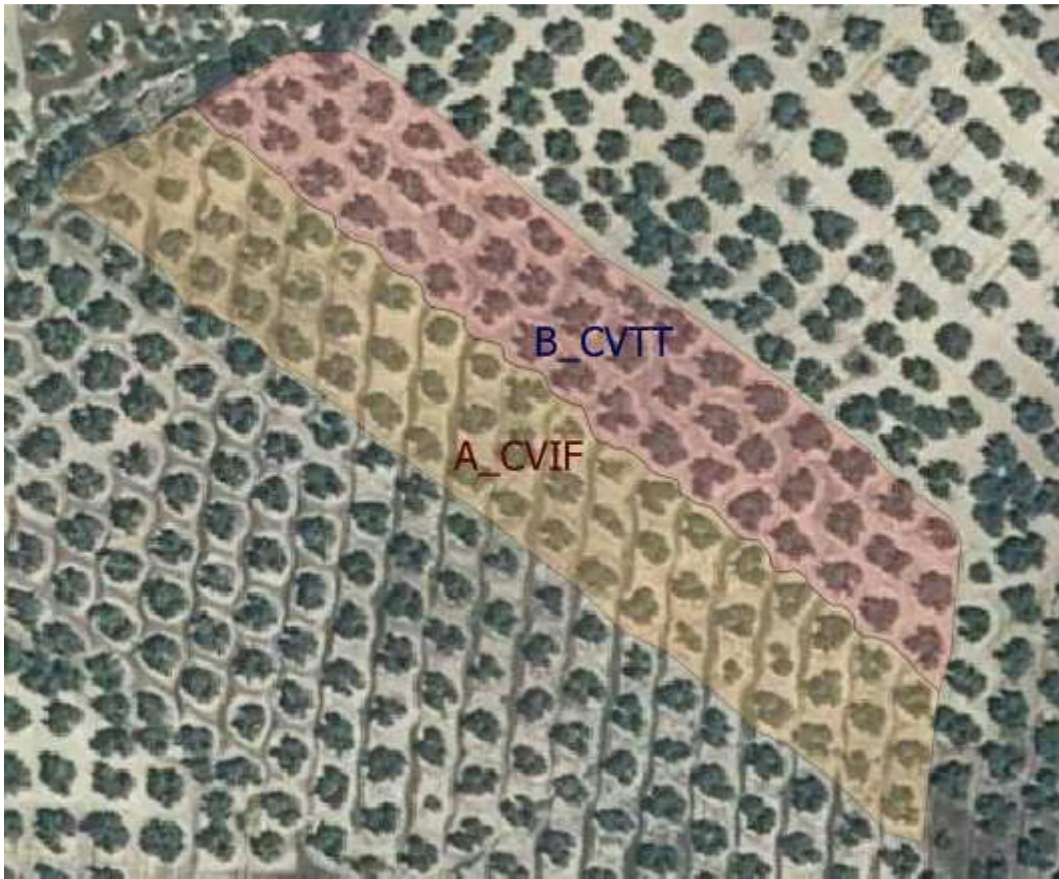


Figura 26. Ilustración de la zona de medida subdividida atendiendo al Manejo del Suelo.

En la siguiente una imagen (Fig. 27) extraída de Google Earth podemos observar con mayor resolución y a menor altura las características descritas anteriormente para cada parcela en la que el Manejo del Suelo es diferente:



Figura 27. Diferenciación del Manejo del Suelo en parcelas adyacentes.

### 3.4.- APROVECHAMIENTO AGRÍCOLA DE LA ZONA.

La zona de medida está destinada en su totalidad al cultivo del olivar, concretamente a olivar de almazara para la elaboración de aceite. El olivar está situado en terreno de campiña, característico por ser un espacio de formas suaves y alomadas con pendientes escasas situada en el extremo oriental de la depresión del Guadalquivir, con una densidad de las formas erosivas bajas y moderadas, que sólo alcanzan niveles medios o altos de forma marginal. Los principales materiales existentes en los suelos de esta zona son calcarenitas, arenas, margas y calizas.

Desde un punto de vista diferente y para futuros estudios vemos necesario describir las características de ambas parcelas atendiendo a diferentes criterios. El disponer de ciertas características asociadas a distintas parcelas donde el Manejo del Suelo es diferente puede llevarnos a la conclusión de si realmente el Manejo del Suelo afecta directamente al desarrollo de los cultivos.

Descripción de las parcelas:

- **Parcela A:**

- **Tipo de Manejo del Suelo:** Cubierta Vegetal Interfilas.
- **Forma de manejo:** Siega química.
- **Tipo de vegetación:** Espontánea.
- **Aporte de materia vegetal inerte:** No.
- **Pendiente media:** 8,67 %.
- **Marco de plantación:** Tradicional 12x12 m.
- **Riego:** Si. 250 m<sup>3</sup>/ha/año.
- **Producción media:** 4000 kg/ha
- **Superficie:** 0,7236 has.
- **Tipo de poda:** renovación.

- **Parcela B:**

- **Tipo de Manejo del Suelo:** Cubierta Vegetal a Todo Terreno
- **Forma de manejo:** Siega mecánica.
- **Tipo de vegetación:** Espontánea.
- **Aporte de materia vegetal inerte:** Si
- **Pendiente media:** 6,98%
- **Marco de plantación:** Tradicional 12x12 m.
- **Riego:** Si. 250 m<sup>3</sup>/ha/año.
- **Producción media:** 5000 kg/ha
- **Superficie:** 0,6187 has.
- **Tipo de poda:** producción.

### 3.5.- CLIMATOLOGÍA.

Sabida la importancia que la climatología tiene en los procesos de erosión, en este proyecto es necesario el análisis de las variables climatológicas de la zona de

medida. Dado que no disponemos de instrumentos de medida con los que poder trabajar nos apoyaremos en los datos ofrecidos por la Red de Información Agroclimática (RIA) perteneciente a la Conserjería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. En la Web de esta red se indica lo siguiente:

*“La estimación de las necesidades de agua de los cultivos precisa de una información meteorológica de calidad y que abarque la mayor parte de la superficie regada de Andalucía.*

*Esta información es hoy fácil de obtener con la ayuda de las estaciones meteorológicas automáticas (EMAs), que cuentan con un adecuado plan de mantenimiento "in situ", así como con una exhaustiva revisión de los registros que suministran los sensores.*

Y sigue:

*“La red es una herramienta fundamental en las labores de asistencia técnica al regante que, a través de sus comunidades de regantes y asociaciones, está desarrollando la Consejería de Agricultura y Pesca desde hace varios años. Su consolidación supondrá un avance cualitativo en la labor de mejora de la gestión del agua en los regadíos por parte tanto de las administraciones públicas como de los regantes.”*

Como vemos en las líneas anteriores, el establecimiento de esta red va enfocado a la mejora de la gestión del agua. Por ello la red es ubicada en las proximidades de las instalaciones de comunidades de regantes o de grandes extensiones de cultivo de regadío. En cierta medida en estos párrafos se está hablando de Agricultura de Precisión.

En el caso que aquí nos ocupa la estación de la RIA más cercana al cultivo es la ubicada en el término municipal de Torreperogil, más concretamente dentro del recinto de las instalaciones de la Comunidad de Regantes de Relámpago, Armindez y Minilla. Esta comunidad abarca 1.300 has de olivar garantizando el ahorro de energía y agua. A continuación una imagen (Fig. 28) de la estación indicada.



Figura 28. Estación de la RIA ubicada en Torreperogil.

En la siguiente imagen (Fig. 29) tenemos una vista aérea extraída de Google Earth donde como hemos indicado anteriormente, encontramos la estación de la RIA ubicada dentro de las instalaciones de la Comunidad de Regantes de Relámpago, Armindez y Minilla.



Figura 29. Ubicación de la estación de la RIA.

Datos de la estación obtenidos de la RIA:

- **Provincia:** Jaén
- **Código de Estación:** 101
- **Zona Regable:** Sin información.
- **Coordenadas UTM:** X = 478573.0 m.  
Y: 4203000.0 m.
- **Coordenadas Geodésicas:** **Latitud:** 37° 58' 27" N  
**Longitud:** 03° 14' 38" W
- **Altitud:** 536.0 m.s.n.m.

La estación se encuentra situada a unos 3,5 Km de la zona de medida en dirección Sureste. Dada la cercanía y el grado de calidad de datos que a priori nos garantizan en el servicio, hemos escogido esta estación como referencia para la toma de datos agroclimáticos. Indicar además que la zona de medida está incluida en la comunidad de regantes anteriormente indicada. A continuación se puede ver una imagen de la situación de la estación respecto de la zona de medida (Fig. 30).



Figura 30. Ubicación de la estación de la RIA respecto de la zona de medida.

Definida ya la estación de la que obtener datos y conocido el intervalo en el que queremos obtenerlos, solo nos queda realizar la consulta al servicio de la RIA. El intervalo es el comprendido entre el 14 de Noviembre de 2015 y el 25 de Septiembre de 2016 correspondiente a las dos épocas de medida. Como resultado de la consulta obtenemos un fichero de texto con la información referida a los datos registrados cada día. En la siguiente imagen (Fig. 31) se puede ver un fragmento del fichero descargado.

```

* Provincia: Jaén
* Nombre Estación: Torreperogil
* Longitud (gg:mm:ss 0): 03:14:38 W
* Latitud (gg:mm:ss 0): 37:58:27 N
* Altitud (m.s.n.m): 536.0
*****
* Campos: * 01-08: Fecha (dd/mm/aa)
* 10-12: Dia Juliano
* 14-18: Precipitacion (mm)
* 20-24: Temperatura Maxima (°C)
* 26-30: Hora:Minutos Temperatura Maxima
* 32-36: Temperatura Minima (°C)
* 38-42: Hora:Minutos Temperatura Minima
* 44-48: Temperatura Media (°C)
* 50-51: Humedad Relativa Maxima (%)
* 53-54: Humedad Relativa Minima (%)
* 56-57: Humedad Relativa Media (%)
* 59-62: Velocidad del Viento Media (m/s)
* 64-66: Direccion del Viento Media (0-360)
* 68-71: Radiacion Solar (MJ/m2 dia)
* 73-76: Evapotranspiracion de referencia (mm/dia)
*****

```

Fecha	J	P	Tmax h	Tmx	Tmin h	Tmi	Tmed Hx	Hi	Hm	u	du	Rs	ETo	
14/11/15	318	0.0	20.5	14:36	9.3	6:58	14.3	87	38	66	1.1	108	14.1	1.8
15/11/15	319	0.0	20.1	14:10	7.6	6:50	13.0	93	43	72	1.6	91	14.1	2.0
16/11/15	320	0.0	19.3	14:42	6.5	7:28	12.7	93	46	71	1.5	39	13.8	1.8
17/11/15	321	0.0	19.9	14:12	7.1	5:48	12.7	94	46	71	1.4	54	13.8	1.8
18/11/15	322	0.0	20.8	15:02	7.2	4:56	13.1	88	29	60	1.1	64	13.9	1.8

Figura 31. Fragmento con encabezado de un fichero descargado de la RIA.

Muchas son las variables que estas estaciones son capaces de medir. Por ahora solo nos interesa la precipitación registrada en el intervalo definido anteriormente. Importando este fichero en una hoja de cálculo podemos obtener el total de precipitación acumulada que en este caso es de 155,7 mm. Dado los precedentes registrados en años anteriores, podemos decir que no se ha tratado de un intervalo muy lluvioso.



## CAPÍTULO 4.- MATERIAL Y MÉTODO.

### 4.1.- ESTUDIOS PREVIOS.

Estudiamos la posibilidad de fijar sobre algún tipo de soporte una base de referencia y dejarla ahí permanente para futuras campañas de medición. La base fija estaría colocada en la terraza de una vivienda situada en la zona más alta del núcleo de población. Para ello realizamos una prueba previa colocando el receptor sobre un trípode para comprobar que desde este lugar nos llegarían correcciones vía radio desde el equipo fijo al equipo móvil con el que realizaríamos el levantamiento en la zona de estudio, por lo que nos desplazamos con otro receptor hasta ella para comprobar que eso era así. En principio los resultados fueron satisfactorios, por lo que decidimos fijar un soporte para la antena en la baranda de la terraza. Más adelante este método comenzó a dar problemas en cuanto a que el radio-enlace entre ambas estaciones se interrumpía, por lo que nos vimos obligados a colocar una nueva base de referencia dentro de la zona de medida.

Señalar que la distancia entre la base de referencia fija y la zona de medida estaba en torno a 5 km en línea recta y que los problemas comenzaron a medida que nos acercábamos a la parte baja de la zona de estudio situada en la zona norte de ésta.

#### 4.1.1.-SOPORTE PARA LA BASE DE REFERENCIA.

Una vez realizado un estudio previo para comprobar que en campo nos llegarían correcciones diferenciales desde un receptor colocado en el núcleo de población, decidimos fabricar y colocar un soporte para anclarlo a la baranda de la terraza de la vivienda elegida. El soporte consiste en una estructura de hierro en forma de “L” con una base en la parte superior a la que se le soldó un tornillo para fijar la basada del receptor. Para anclar el soporte a la baranda se soldó en la estructura otra base que junto con dos pletinas deja la baranda entre medias sujetándolo todo con tornillos y tuercas. A continuación unas imágenes (Fig. 32, 33 y 34) que esclarecen como es la base:



Figura 32. Ilustración de la vista general del montaje del receptor.



Figura 33. Ilustración de la base superior y del anclaje a la baranda.



Figura 34. Ilustración de detalle del anclaje a la baranda del soporte para el receptor.

#### 4.1.2.-SOPORTE PARA EQUIPO MÓVIL.

Mucho se habla de las incertidumbres en las medidas que tomamos con los receptores pero pocas veces tenemos en cuenta si realmente estamos tomando valores sobre la superficie. Nos referimos con esto a que a la hora de colocar el receptor sobre la superficie, éste se introduzca una cierta distancia en el terreno, por lo que el dato tomado será erróneo al encontrarse por debajo de dicha superficie.

La medida tomada para subsanar este error ha sido colocar en la punta del jalón del equipo móvil una base plana para que al colocar el jalón sobre la superficie no se introduzca en el terreno y seguir así cierta homogeneidad en la toma de datos.

Esta base plana consiste en colocar la tapa de un trípode sujeta con tres gomas que permitan que la base pueda bascular sobre la punta del jalón. En la Fig. 34 vemos una imagen de la medida tomada en cuestión.



Figura 35. Ilustración del acoplamiento de la tapa de un trípode en la parte inferior de un jalón.

Se trata pues de una medida muy efectiva si lo que pretendemos realmente es tomar la superficie del terreno, ya que aquí es donde se producirán las variaciones generadas por los procesos de erosión. A continuación una imagen (Fig. 36) que esclarece el funcionamiento y el montaje adoptado.



Figura 36. Ilustración del montaje adoptado para minimizar errores en la captación de la superficie.

#### 4.2.- DESCRIPCION DE LA INSTRUMENTACIÓN ELEGIDA.

Una vez colocada la base de referencia fija y subsanado el problema que podamos tener a la hora de tomar datos en campo, el siguiente paso una vez establecido el método será el de determinar la instrumentación a utilizar. En este caso será necesario el uso simultáneo de dos receptores GPS para realizar un levantamiento en modo RTK, por lo que hemos usado los aparatos proporcionados por el Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría presentes en el almacén. Los aparatos utilizados junto con sus especificaciones son los presentes en la Tabla 5:

	GX1230 GG / ATX1230 GG	GX1230 / ATX1230	GX1220	GX1210
Tipo de receptor	Receptor geodésico de doble frecuencia GNSS para cinemático en tiempo real.	Receptor geodésico de doble frecuencia para cinemático en tiempo real.	Receptor geodésico de doble frecuencia.	Receptor topográfico de una frecuencia.
Sumario de modos de medición y aplicaciones.	Estático, Estático Rápido, Cinemático, OTF L1 + L2, código, fase RTK en Tiempo real, Post proceso, DGPS/RTCM Aplicaciones topográficas, geodésicas y RTK en tiempo real.	Estático, Estático Rápido, Cinemático, OTF L1 + L2, código, fase RTK en Tiempo real, Post proceso, DGPS/RTCM Aplicaciones topográficas, geodésicas y RTK en tiempo real.	Estático, Estático Rápido, Cinemático, OTF L1 + L2, código, fase Post proceso, DGPS/RTCM Opcional. Aplicaciones topográficas y geodésicas.	Estático, Cinemático L1, código, fase DGPS/RTCM opcional. Aplicaciones topográficas y de GIS.

Tabla 5. Especificaciones de los receptores usados.

En concreto para este proyecto se han utilizado receptores GX1230, observamos que estos receptores nos permiten medir según el método que hemos elegido. Indicar además que se ha usado la misma instrumentación para ambas campañas de medición.

### 4.3.- DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DE CAMPO

Como indicamos a lo largo de este proyecto, el objetivo de éste es la determinación de valores de erosión comprendidos entre dos campañas de medición. Dado que la metodología llevada a cabo en ambas campañas ha sido ligeramente diferente, dedicaremos un epígrafe a cada una de ellas.

#### 4.3.1.-CAMPAÑA NOVIEMBRE 2015.

Comenzamos la primera campaña de observación realizando un posicionamiento estático en la base de referencia fija situada en el núcleo de población para la determinación de unas coordenadas precisas con el objetivo de realizar todas las campañas de observación desde la misma. Los datos relevantes a esta fase son los siguientes:

- **Días:** madrugada del 7 al 8 de Noviembre de 2015.
- **Denominación de la base:** “REF”.
- **Intervalo de observación.**
  - **Inicio:** 07/11/2015, hora 19:30:13.
  - **Fin:** 08/11/2015, hora 07:40:43.
- **Duración de la observación:** 12h 10m 30sg.
- **Registro de observaciones:** cada 30sg.
- **Equipo usado:** GPS G8.
- **Observaciones:** el objetivo que buscamos con el posicionamiento estático es el registro de observaciones con diferentes geometrías de los satélites así como con diferentes efectos atmosféricos para el cálculo preciso de la posición de la base de referencia.

Realizada la observación, el siguiente paso será el procesamiento de las observaciones obtenidas. Los datos necesarios para el procesamiento y cálculo de coordenadas son los siguientes:

- **Observaciones del receptor:** Archivos de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la Red Andaluza de Posicionamiento (RAP). El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 30 sg obteniendo dos archivos diarios pertenecientes a los días 7 y 8 de Noviembre de 2015. Las estaciones escogidas son:
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).
  - ANDU (Andújar).

- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS)

<u>Día</u>	<u>Semana</u>	<u>Día GPS</u>	<u>Info adicional</u>
07/NOV/2015	1869	6	Sábado
08/NOV/2015	1870	0	Domingo.

Indicar que la elección de las estaciones de referencia de la RAP se hizo en base a formar un triángulo lo más regular posible en cuyo centro se encontrara la base de referencia establecida por nosotros.

Una vez obtenidos los datos procesamos con el software Leica Geo Office. Para ello creamos un nuevo proyecto donde definimos el elipsoide de referencia (GRS80) y la proyección en la que pretendemos obtener las coordenadas para generar los MDE's de precisión (UTM30). Antes de procesar cualquier observación comprobamos que los parámetros de antena definidos para cada estación son los correctos y que ésta ciertamente se corresponde con la indicada en la reseña. Para ello accedemos a la web del International GNSS Service (IGS) en busca del archivo de antenas actualizado "I08.ATX", ya que al parecer los parámetros de antenas definidos en el software Leica Geo Office no se encuentran actualizados al tratarse de una versión antigua. Los datos relativos a los parámetros de las antenas utilizadas, tanto las de las estaciones de la RAP como las de los receptores usados para el posicionamiento y levantamiento pueden verse en la Tabla 6.

<b>Nombre IGS</b>	<b>LEIAX1202 NONE</b>	<b>LEIAX1203+GNSS NONE</b>	<b>LEIAT504 LEIS</b>
<b>Horizontal Offset</b>	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Vertical Offset</b>	0.0000	0.0000	0.0000
<b>Phase center offset (vertical) L1</b>	0.0643	0.0583	0.0885
<b>Phase center offset (vertical) L2</b>	0.0629	0.0555	0.1153
<b>Phase center offset (north) L1</b>	0.0014	-0.0010	0.0006
<b>Phase center offset (north) L2</b>	-0.0003	-0.0002	-0.0002
<b>Phase center offset (east) L1</b>	-0.0001	0.0014	0.0001
<b>Phase center offset (east) L2</b>	0.0000	-0.0024	0.0002
<b>Additional corrections</b>	Elevation and azimuth		

Tabla 6. Parámetros de las antenas usadas.

Otra comprobación que debemos realizar antes de pasar a calcular líneas base desde las estaciones de la RAP a nuestro vértice de referencia REF es la de asegurarnos que las coordenadas presentes en los ficheros RINEX y desde las cuales obtendremos las líneas base se encuentran en el marco de referencia en el que queremos obtener nuestras coordenadas. El motivo por el cual debemos hacer esta comprobación es por el hecho de que en la cabecera del fichero RINEX aparecen unas coordenadas que pueden corresponder a una solución de navegación. Dichas coordenadas no se corresponden con

las presentes en las reseñas las cuales están referidas al marco de referencia de la RAP en el que pretendemos obtener nuestras coordenadas (ITRF).

Respecto a las opciones de procesado que ofrece Leica Geo Office, varios son los aspectos a tener en cuenta:

- Ángulo de elevación: 15°.
- Efemérides: Precisas.
- Tipo de solución: Automático.
- Tipo GNSS: Solo GPS.
- Frecuencia: Automático.
- Fijar ambigüedades: hasta 80 km.
- Duración mínima soluciones flotantes: 300 sg.
- Intervalo de muestreo: Usar todas.
- Modelo troposférico: Hopfield.
- Modelo ionosférico: Automático.

Hechas todas estas comprobaciones y obtenidos los datos necesarios para el cálculo de líneas base desde las estaciones de la RAP a nuestra base de referencia “REF” pasamos a procesar las observaciones. Procesaremos cada línea base por separado obteniendo distintos valores desde cada estación. Las coordenadas finales de la base de referencia “REF” será un promedio de estos valores. En la Tabla 7 podemos ver este resultado junto su análisis de repetibilidad. Indicar que las ambigüedades fueron resueltas con éxito.

Est.	Pt.	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	REF	5022166.9245	-289238.4733	3909265.9089	<b>-0.0066</b>	<b>0.0035</b>	<b>0.0040</b>
UJAE		5022166.9137	-289238.4610	3909265.9188	<b>0.0042</b>	<b>-0.0088</b>	<b>-0.0059</b>
VIAR		5022166.9154	-289238.4751	3909265.9109	<b>0.0025</b>	<b>0.0053</b>	<b>0.0020</b>
		<b>5022166.9179</b>	<b>-289238.4698</b>	<b>3909265.9129</b>	Media		

Tabla 7. Resultados del cálculo de líneas base y coordenadas promedio para el vértice REF.

Particularmente, la precisión puede medirse mediante estudios de repetibilidad y reproducibilidad. La repetibilidad corresponde a la variación en las medidas hechas por un sólo operador en la misma superficie y con el mismo instrumento de medición. Un sistema de medición es repetible si múltiples mediciones realizadas exactamente en el mismo lugar, con el mismo procedimiento y bajo las mismas condiciones resultan estadísticamente equivalentes (Escalante, 2004).

Resaltamos del párrafo anterior la importancia de la realización de este tipo de análisis en cuanto a la posibilidad que nos ofrece de medir la calidad de medidas realizadas desde diferentes estaciones así como en diferentes épocas.

Observamos que los niveles de precisión alcanzados son aceptables para nuestro trabajo variando entre 2 y 8,8 mm. En ningún caso llegamos al centímetro.

Calculadas ya las coordenadas de nuestra base de referencia “REF” estamos en condiciones de empezar con el levantamiento en modo RTK de nuestra zona de medida. En la campaña de medición de 2015 debido a distintos problemas que surgieron, fue necesario ir a la zona de medida 3 días. A continuación detallamos secuencialmente el desarrollo de los trabajos realizados:

### **Primer día de trabajo.**

- **Día:** 14 de Noviembre de 2015.
- **Tarea:** levantamiento en modo RTK de parte de la zona de medida con el equipo de referencia situado en REF ya con las coordenadas calculadas para el posicionamiento estático.
- **Intervalo de observación:**
  - **Inicio:** 14/11/2015, hora 08:58:00.
  - **Fin:** 14/11/2015, hora 13:54:24.
- **Duración de la observación:** 4h 56m 24sg.
- **Equipos usados:** GPS G4 como referencia y G2 como Rover.
- **Observaciones:** registramos las observaciones en el equipo fijo (cada 1sg.) con el fin de comprobar si en este caso es necesario un posicionamiento estático de 12h para tener la precisión requerida a la vez que para comparar estos resultados con los anteriores.

A medida que avanzábamos en la medición comenzaron a surgir problemas con el radioenlace, hecho que nos lastró bastante a la hora de avanzar en el trabajo, así que con los medios y herramientas de los que disponíamos en aquel momento y lugar encontramos una solución que hizo mejorar mínimamente el radio-enlace. La solución fue colocar la antena de recepción de radio del receptor a una vara de fibra de vidrio con la idea de colocarla en una posición más alta. Aquí una imagen (Fig. 37) descriptiva de lo expuesto:



Figura 37. Ilustración de la colocación de la antena del equipo móvil en una posición más elevada.

El resultado no fue todo lo satisfactorio que esperábamos, pero una vez desplazados a la zona de medida era la mejor forma de aprovechar la jornada.

Como hemos indicado anteriormente, registramos las observaciones para comparar la precisión obtenida con un posicionamiento de 12h con uno registrado mientras realizábamos el levantamiento. Los datos para el procesamiento de estas observaciones son los siguientes:

- **Datos del equipo:** archivo de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la RAP. El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 1sg obteniendo 24 archivos horarios nombrados alfabéticamente pertenecientes al día 14 de Noviembre de 2015. En este caso solo escogemos los que coincidan con el intervalo de observación. Estaciones escogidas.
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).
  - ANDU (Andújar)
- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS).

<u>Día</u>	<u>Semana</u>	<u>Día GPS</u>	<u>Info adicional</u>
14/NOV/2015	1870	6	Sábado

Procesamos estas observaciones tomando en consideración todos los aspectos indicados para el procesamiento estático de 12 como offset de antenas, coordenadas estaciones, etc.

En esta fase del proceso descubrimos un nuevo error a la hora de importar los ficheros RINEX en Leica Geo Office, y es que al importar distintos archivos horarios consecutivos de observación de la misma estación, el software no los enlazaba como una misma observación. Corregimos el error editando los archivos de observación e incluyendo el ID de cada estación, ya que en algunos archivos no estaba presente por lo que no los identificaba como la misma estación.

Subsanado este error, los resultados obtenidos son los presentes en la Tabla 8:

Est.	Pt.	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	REF	5022166.9176	-289238.4800	3909265.9011	<b>-0.0129</b>	<b>0.0051</b>	<b>-0.0003</b>
UJAE		5022166.8909	-289238.4671	3909265.9001	<b>0.0138</b>	<b>-0.0078</b>	<b>0.0007</b>
VIAR		5022166.9056	-289238.4777	3909265.9012	<b>-0.0009</b>	<b>0.0028</b>	<b>-0.0004</b>
		<b>5022166.9047</b>	<b>-289238.4749</b>	<b>3909265.9008</b>	Media		

Tabla 8. Resultados para posicionamiento estático contemporáneo al levantamiento en RTK.

Como observamos, los resultados en este caso son menos precisos que para el posicionamiento estático de 12 h, ya que en algunos casos el error sobrepasa el

centímetro, por lo que podemos concluir que no mejoramos la precisión en un intervalo de observación más corto aun con intervalo de registro menor.

En todo caso no se tratan de unos resultados inadmisibles, pero dado que hemos tenido la opción de observar y generar otros mejores serán con los que trabajemos en todo caso.

### Segundo día de trabajo.

- **Día:** 21 de Noviembre de 2015.
- **Tarea:** seguimos con el levantamiento en modo RTK de la zona de medida con el equipo de referencia situado en REF ya con las coordenadas calculas anteriormente.
- **Intervalo de observación:**
  - **Inicio:** 21/11/2015, hora 08:35:00.
  - **Fin:** 21/11/2015, hora 13:24:33.
- **Duración de la observación:** 4h 49m 33sg.
- **Equipos usados:** GPS G8 como referencia y G7 como Rover.
- **Observaciones:** registramos las observaciones en el equipo fijo (cada 1sg) con el fin de comprobar si en este caso es necesario un posicionamiento estático de 12h para tener la precisión requerida a la vez que para comparar estos resultados con los anteriores.

Dados los precedentes en cuanto a la pérdida del radioenlace, este día colocamos la antena del equipo fijo en una situación más alta usando un cable alargador de antena y atándola a un palo de madera con la intención de mejorar el envío de señal a la zona de medida. Esta opción no dio resultado, ya que parece ser que a mayor longitud de cable perdemos fuerza en la señal. A campo también nos llevamos un cable de antena más largo e igualmente lo atamos a un palo de madera, pero igualmente no sirvió de nada. Aquí una imagen (Fig. 38) de la instalación de la antena del equipo fijo en una situación más alta:



Figura 38. Ilustración de instalación de la antena del equipo fijo en una situación más elevada.

Al igual que para el día anterior, registramos las observaciones y procesamos en busca de comparativas y comprobaciones. Los datos para el procesamiento de estas observaciones son los siguientes:

- **Datos del equipo:** archivo de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la RAP. El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 1sg obteniendo 24 archivos horarios nombrados alfabéticamente pertenecientes al día 21 de Noviembre de 2015. En este caso solo escogemos los que coincidan con el intervalo de observación. Estaciones escogidas.
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).
  - ANDU (Andújar)
- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS).

<u>Día</u>	<u>Semana</u>	<u>Día_GPS</u>	<u>Info_adicional</u>
21/NOV/2015	1871	6	Sábado

Procesamos estas observaciones tomando en consideración todos los aspectos indicados para el procesamiento estático de 12h como offset de antenas, coordenadas estaciones, etc.

Los resultados obtenidos en el procesamiento de estas observaciones se encuentran en la Tabla 9:

Est.	Pt	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	REF	5022166.9250	-289238.4795	3909265.9063	<b>-0.0204</b>	<b>0.0036</b>	<b>-0.0045</b>
UJAE		5022166.8874	-289238.4684	3909265.8997	<b>0.0172</b>	<b>-0.0075</b>	<b>0.0021</b>
VIAR		5022166.9013	-289238.4797	3909265.8993	<b>0.0033</b>	<b>0.0038</b>	<b>0.0025</b>
		<b>5022166.9046</b>	<b>-289238.4759</b>	<b>3909265.9018</b>	Media		

Tabla 9. Resultados para posicionamiento estático contemporáneo al levantamiento en RTK.

Volvemos a observar que aunque los resultados siguen siendo menos precisos que para el caso de un posicionamiento estático de 12h, siguen siendo aceptables para nuestro trabajo. En la siguiente tabla (Tabla 10) veremos un análisis de repetibilidad entre los registros y cálculos realizados hasta ahora:

Día	Duración	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
07-nov-15	12h 10m 30sg	5022166.9179	-289238.4698	3909265.9129	<b>-0.0088</b>	<b>-0.0037</b>	<b>-0.0077</b>
14-nov-15	4h 56m 24sg	5022166.9047	-289238.4749	3909265.9008	<b>0.0043</b>	<b>0.0014</b>	<b>0.0043</b>
21-nov-15	4h 49m 33sg	5022166.9046	-289238.4759	3909265.9018	<b>0.0045</b>	<b>0.0023</b>	<b>0.0034</b>
		<b>5022166.9090</b>	<b>-289238.4735</b>	<b>3909265.9051</b>	Media		

Tabla 10. Resultados de análisis de repetibilidad en distintas épocas de observación

De esta tabla podemos sacar varias conclusiones. Entre los registros dados en los días 14 (Tabla 8) y 21 de Noviembre (Tabla 9) no existe gran variación; ahora la diferencia con el registro del 7 de Noviembre (Tabla 7) correspondiente al posicionamiento estático de 12h si es significativa. De todos modos, las coordenadas con las que trabajamos serán las más precisas correspondientes al posicionamiento estático del 7 de Noviembre (Tabla 7).

### **Tercer día de trabajo.**

- **Día:** 22 de Noviembre de 2015.
- **Tarea:** seguimos con el levantamiento en modo RTK, pero en esta ocasión y siendo imposible seguir con el receptor colocado en la base fija “REF” dado los problemas con el radioenlace, decidimos colocar una nueva base de referencia sobre un trípode en la zona de medida.
- **Intervalo de observación:**
  - **Inicio:** 22/11/2015, hora 08:58:50.
  - **Fin:** 22/11/2015, hora 12:45:20.
- **Duración de la observación:** 3h 46m 30sg.
- **Altura del aparato:** 1,176 m.
- **Denominación nueva referencia:** REF-CAPITAN.
- **Observaciones:** registramos las observaciones en la nueva base de referencia con un intervalo de 1sg para después en post-proceso calcular sus coordenadas de forma más precisa y aplicar las correspondientes correcciones al levantamiento restante. Como hemos indicado en apartados anteriores, la precisión obtenida en un posicionamiento realizado en un intervalo de 4-5 horas de observación es aceptable.

La nueva base de referencia se trata de un tocho de ferraya de 15mm de diámetro y una longitud de 1,5m introducida en el terreno sobre la parte más alta de la zona de medida, situada en la parte Sureste de ésta. Para definir mejor el punto de estación se señaló una cruz en la parte superior de la ferraya con la ayuda de una sierra metálica. En la siguiente ilustración (Fig. 39) vemos la nueva base de referencia REF-CAPITAN.



Figura 39. Ilustración de la base REF-CAPITAN y detalle de la marca sobre la que estacionar.

En esta ocasión utilizaremos un suplemento para el jalón del equipo móvil de 1m de longitud, ya que anteriormente y dada la altura de los olivos llegábamos a perder la señal procedente de los satélites. Prestaremos especial atención a la configuración del Rover, ya que la altura de la antena por defecto es de 2m, por lo que tendremos que modificarla cada vez que apaguemos y encendamos el equipo e indicar una altura de 3m.

Ya terminado el levantamiento el último paso a realizar es el cálculo preciso de las coordenadas de la nueva base de referencia REF-CAPITAN con el objetivo de aplicar las correcciones a las líneas bases observadas y por consiguiente a las coordenadas calculadas para esta última fase de medición de la campaña de 2015.

Los datos necesarios para el procesamiento de estas observaciones son los siguientes:

- **Datos del equipo:** Archivos de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la RAP. El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 1sg obteniendo 24 archivos horarios nombrados alfabéticamente pertenecientes al día 22 de Noviembre de 2015. En este caso solo escogemos los que coincidan con el intervalo de observación. Estaciones escogidas.
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).
  - ANDU (Andújar)
- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS).

<u>Día</u>	<u>Semana</u>	<u>Día GPS</u>	<u>Info adicional</u>
22/NOV/2015	1872	0	Domingo

Procesamos estas observaciones tomando en consideración todos los aspectos indicados para el procesamiento estático de 12h como offset de antenas, coordenadas estaciones, etc.

Los resultados obtenidos en el procesamiento de estas observaciones los encontramos en la Tabla 11:

Est.	Pt	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	REF-	5024899.8099	-287046.2138	3905527.9109	<b>-0.0281</b>	<b>0.0065</b>	<b>-0.0108</b>
UJAE	CAPI	5024899.7666	-287046.1993	3905527.8990	<b>0.0152</b>	<b>-0.0080</b>	<b>0.0011</b>
VIAR	TAN	5024899.7690	-287046.2089	3905527.8904	<b>0.0128</b>	<b>0.0016</b>	<b>0.0097</b>
		<b>5024899.7818</b>	<b>-287046.2073</b>	<b>3905527.9001</b>	Media		

Tabla 11. Resultados para posicionamiento estático contemporáneo al levantamiento en RTK en el vértice de referencia REF-CAPITAN.

Observando la tabla vemos que los resultados obtenidos en este procesamiento no llegan al nivel de precisión de un posicionamiento estático de larga duración, pero aun así y dado el nivel de precisión requerido los resultados son aceptables para nuestro trabajo, siendo en el peor de los casos cercano a los 3 cm.

Terminada ya la campaña de medición de 2015, volcamos los datos del levantamiento resultando un total de 3830 puntos. Una idea previa sobre la distribución y densidad de datos la podemos ver en la siguiente imagen (Fig. 40).

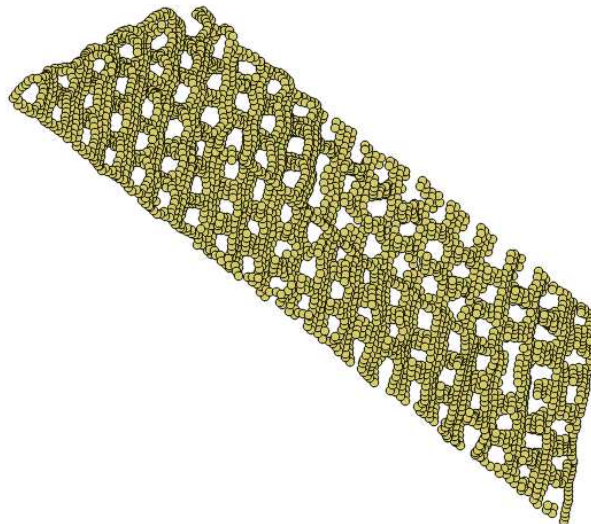


Figura 40. Ilustración de la distribución y densidad de los puntos del levantamiento

Indicar también que a la hora de realizar el levantamiento no distinguimos una parcela de otra para obtener datos más homogéneos y objetivos, dicho resumidamente, se tomaron ambas parcelas a la vez. En la siguiente imagen (Fig. 41) ilustramos mediante un boceto el recorrido realizado para la toma de datos:



Figura 41. Ilustración de parte del recorrido realizado en la toma de datos.

Por último decir que fueron tomados puntos de solape entre las porciones tomadas en los diferentes días para comprobar más adelante en el volcado de datos que efectivamente barrimos todo el terreno.

#### 4.3.2.-CAMPAÑA SEPTIEMBRE 2016.

Establecida ya una metodología para el levantamiento y comprobación de las coordenadas de las bases (mediante el registro de observaciones en el equipo fijo), estamos en condiciones de realizar otra campaña de medición con el objetivo marcado de encontrar variaciones en la superficie.

En esta ocasión utilizaremos la base de referencia “REF-CAPITAN” (Fig. 42) situada en la zona de medición y cuyas coordenadas fueron calculadas de forma precisa mediante el registro de observaciones de la campaña anterior. Aun así volveremos a registrar observaciones con el objetivo de comprobar la precisión de estas coordenadas, y si fuera necesario realizar un posicionamiento estático de larga duración en esta base.



Figura 42. REF-CAPITAN situada en la zona de medida.

La duración de esta campaña de medición se reduce a un único fin de semana, volvemos a dividir la secuencia en dos días:

#### **Primer día.**

- **Día:** 24 de Septiembre de 2016.
- **Tarea:** comenzamos un nuevo levantamiento en modo RTK de la zona de estudio con el equipo fijo situado sobre base REF-CAPITAN.
- **Intervalo de observación:**
  - **Inicio:** 24/09/2016, hora 07:01:58
  - **Fin:** 24/09/2016, hora 12:11:37
- **Duración de la observación:** 5h 09m 39sg.
- **Altura del aparato:** 1,090 m.
- **Observaciones:** registramos las observaciones en REF-CAPITAN con un intervalo de 1sg para después en post-proceso comparar las coordenadas obtenidas en esta ocasión con las calculadas para la anterior campaña. De nuevo volvemos a colocar en el jalón del equipo móvil un suplemento de 1m de longitud ya que en la anterior ocasión dio buen resultado.

Los datos necesarios para el procesamiento de estas observaciones son los siguientes:

- **Datos del equipo:** Archivos de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la RAP. El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 1sg obteniendo 24 archivos horarios nombrados alfabéticamente pertenecientes al día 22 de Noviembre de 2015. En este caso solo escogemos los que coincidan con el intervalo de observación. Estaciones escogidas.
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).
  - ANDU (Andújar)
- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS).

<u>Día</u>	<u>Semana</u>	<u>Día GPS</u>	<u>Info adicional</u>
24/SEP/2016	1915	6	Sábado

Procesamos estas observaciones tomando en consideración todos los aspectos indicados para el procesamiento estático de 12h como offset de antenas, coordenadas estaciones, etc.

Los resultados obtenidos en el procesamiento de estas observaciones son los presentes en la Tabla 12:

Est.	Pt	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	RC	5024899.7959	-287046.2224	3905527.8956	<b>-0.0157</b>	<b>0.0042</b>	<b>-0.0021</b>
UJAE		5024899.7716	-287046.2094	3905527.8974	<b>0.0086</b>	<b>-0.0088</b>	<b>-0.0039</b>
VIAR		5024899.7731	-287046.2229	3905527.8875	<b>0.0071</b>	<b>0.0047</b>	<b>0.0060</b>
		<b>5024899.7802</b>	<b>-287046.2182</b>	<b>3905527.8935</b>	Media		

Tabla 12. Resultados para posicionamiento estático contemporáneo al levantamiento en RTK.

Comparamos con los resultados anteriores (Tabla 12) obtenidos en la campaña de 2015 (Tabla 11). Los resultados son los siguientes (Tabla 13):

Día	X ETRS89	Y ETRS89	Z ETRS89
22-nov-15	5024899.7818	-287046.2073	3905527.9001
24-sep-16	5024899.7802	-287046.2182	3905527.8935
Diferencia=	<b>-0.0016</b>	<b>-0.0109</b>	<b>-0.0066</b>

Tabla 13. Diferencia de coordenadas en distintas épocas de observación

Comprobamos que las diferencias en el cálculo de coordenadas en diferentes épocas es aceptable para nuestro trabajo.

### Segundo día.

- **Día:** 25 de Septiembre de 2016.
- **Tarea:** finalizamos el levantamiento en modo RTK de la zona de estudio con el equipo fijo situado sobre la base REF-CAPITAN.
- **Intervalo de observación:**
  - **Inicio:** 25/09/2016, hora 06:59:53
  - **Fin:** 25/09/2016, hora 09:23:04
- **Duración de la observación:** 2h 23m 11sg.
- **Altura del aparato:** 1.0060 m.
- **Observaciones:** registramos las observaciones en REF-CAPITAN con un intervalo de 1sg para después en post-proceso comparar las coordenadas obtenidas en esta ocasión con las calculadas anteriormente en distintas épocas.

Los datos necesarios para el procesamiento de estas observaciones son los siguientes:

- **Datos del equipo:** Archivos de observaciones descargadas desde el equipo en el almacén de instrumentos.
- **Archivos RINEX:** descargados de la RAP. El intervalo para el registro de observaciones seleccionado fue a cada 1sg obteniendo 24 archivos horarios nombrados alfabéticamente pertenecientes al día 22 de Noviembre de 2015. En este caso solo escogemos los que coincidan con el intervalo de observación. Estaciones escogidas.
  - UJAE (Universidad de Jaén).
  - VIAR (Villanueva del Arzobispo).

- ANDU (Andújar)
- **Efemérides precisas:** descargadas de la página Web del International GNSS Service (IGS)

Día	Semana	Día GPS	Info adicional
25/SEP/2016	1916	0	Domingo

Procesamos estas observaciones tomando en consideración todos los aspectos indicados para el procesamiento estático de 12h como offset de antenas, coordenadas estaciones, etc.

Los resultados obtenidos en el procesamiento de estas observaciones son los presentes en la Tabla 14:

Est.	Pt	X Calc	Y Calc	Z Calc	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
ANDU	<b>REF-</b>	5024899.788	-287046.2173	3905527.904	<b>-0.0129</b>	<b>0.0029</b>	<b>0.0000</b>
UJAE	<b>CAPI</b>	5024899.769	-287046.2058	3905527.9116	<b>0.0063</b>	<b>-0.0086</b>	<b>-0.0080</b>
VIAR	<b>TAN</b>	5024899.768	-287046.2202	3905527.896	<b>0.0065</b>	<b>0.0058</b>	<b>0.0081</b>
		<b>5024899.7748</b>	<b>-287046.2144</b>	<b>3905527.9036</b>	Media		

Tabla 14. Resultados de análisis de repetibilidad en la estación REF-Capitan.

Comparamos con los resultados anteriores (Tabla 14) obtenidos en la campaña de 2015 (Tabla 11). Los resultados aparecen en la Tabla 15:

Día	X	Y	Z
22-nov-15	5024899.7818	-287046.2073	3905527.9001
25-sep-16	5024899.7748	-287046.2144	3905527.9036
Diferencia=	<b>-0.0070</b>	<b>-0.0071</b>	<b>0.0035</b>

Tabla 15. Diferencia de coordenadas en distintas épocas de observación

Comprobamos que las diferencias en el cálculo de coordenadas en diferentes épocas es aceptable para nuestro trabajo. De todos modos analizaremos la repetibilidad obtenida en los tres posicionamientos realizados en REF-CAPITAN. Los resultados obtenidos aparecen a continuación en la Tabla 16:

Día	Duración	X	Y	Z	Xm-Xi	Ym-Yi	Zm-Zi
22-nov-15	3h 46m 30sg	5024899.7818	-287046.2073	3905527.9001	<b>-0.0029</b>	<b>-0.0060</b>	<b>-0.0010</b>
24-sep-16	5h 09m 39sg	5024899.7802	-287046.2182	3905527.8935	<b>-0.0012</b>	<b>0.0049</b>	<b>0.0056</b>
25-sep-16	2h 23m 11sg	5024899.7748	-287046.2144	3905527.9036	<b>0.0041</b>	<b>0.0011</b>	<b>-0.0045</b>
		<b>5024899.7790</b>	<b>-287046.2133</b>	<b>3905527.8991</b>			

Tabla 16. Resultados de análisis de repetibilidad en distintas épocas de observación

De este cuadro obtenemos la conclusión de que aun con tiempos de observación cortos pero con un registro de observaciones a 1sg obtenemos altos niveles de precisión en los posicionamientos estáticos en la base de referencia REF-CAPITAN.

Como dato a tener en cuenta, indicar que la longitud de la línea base que separa las dos bases de referencia usadas (REF y REF-CAPITAN) es de 5123.2 m.

Terminada ya la campaña de medición de 2016, volcamos los datos del levantamiento resultando un total de 2828 puntos. Una idea previa sobre la distribución y densidad de datos la podemos ver en la siguiente imagen (Fig. 43) junto con una ortofoto descargada del CNIG procedente de PNOA de máxima actualidad:

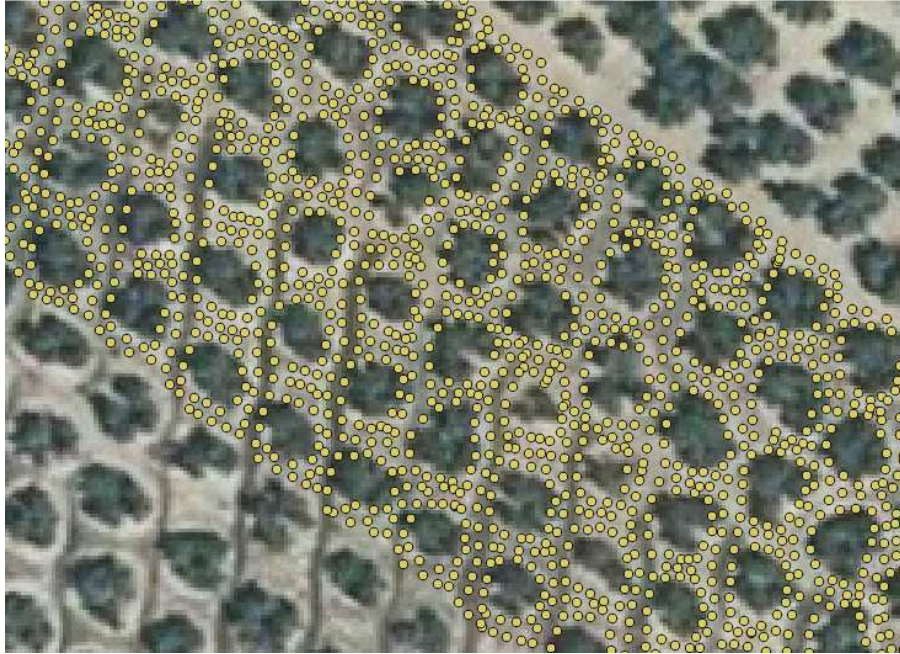


Figura 43. Superposición de los puntos del levantamiento junto con ortofoto de máxima actualidad del PNOA en el sistema de referencia ETRS89.

En la siguiente imagen (Fig. 44) la representación de la superposición de los levantamientos realizados en las distintas campañas:

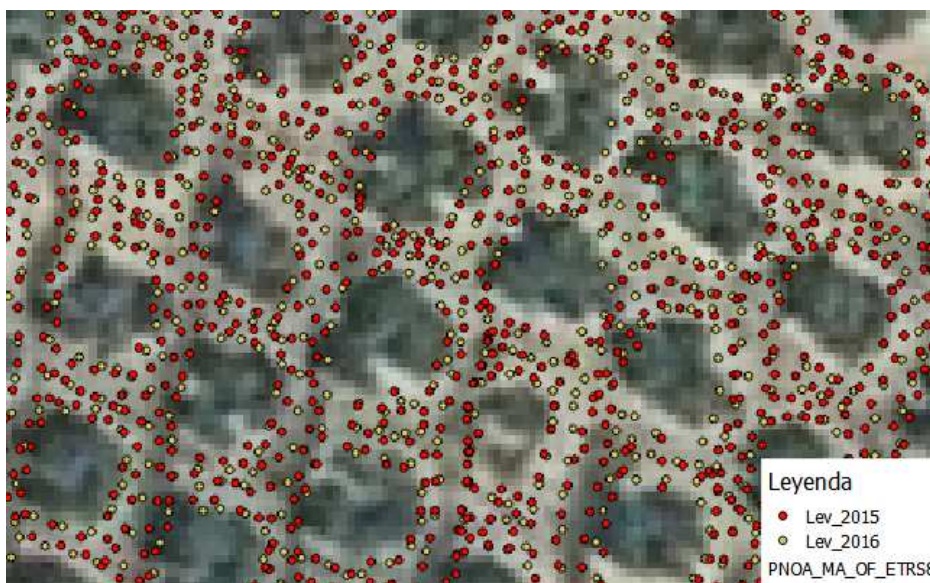


Figura 44. Superposición de puntos de levantamiento de las dos épocas de medición junto con ortofoto procedente del PNOA en el sistema de referencia ETRS89.



## **CAPITULO 5.- TRATAMIENTO DE LOS DATOS OBTENIDOS.**

Una vez obtenidos los datos de ambos levantamientos, el siguiente paso será el de procesar y analizar éstos para alcanzar el objetivo final de este proyecto. Procesaremos los datos de cada campaña de manera conjunta sin atender a la división que genera el criterio sobre el Manejo del suelo.

Como resultado de lo anterior obtendremos una malla regular con valores de erosión (diferencia de altitudes) fruto de la diferencia de mallas generadas para cada campaña. Será a partir de aquí donde dividiremos esta malla regular con el objetivo de obtener valores de erosión para cada parcela donde el Manejo del Suelo es diferente.

### **5.1.-HERRAMIENTAS Y SOFTWARE UTILIZADO.**

Dentro de un proyecto los recursos con los que pretendemos trabajar son parte fundamental en el desarrollo del trabajo, por lo que la correcta elección de éstos o el conocimiento de los disponibles resulta esencial en el transcurso de éste hacia su objetivo final.

En este proyecto se han utilizado distintos programas según las necesidades que requiere cada fase del proyecto, de esta manera se ha utilizado software para tratamiento de datos geodésicos, tratamiento de datos espaciales, programas de diseño gráfico, hojas de cálculo, así como el uso de servidores de mapas (WMS) para la obtención de información espacial georreferenciada.

A continuación una relación de los recursos utilizados junto con una pequeña descripción de ellos:

- **Leica Geo Office:** programa para el tratamiento de datos topográficos, geodésicos o de nivel. Permite el procesado de líneas base entre estaciones de referencia.
- **Qgis:** software para el tratamiento y visualización de datos espaciales, hablamos de un Sistema de Información Geográfica (SIG).
- **Autocad 2012 + MDT 7,5 (Versión Demo):** permite modelar un terreno usando puntos tomados por cualquier estación total o GPS, generar curvas de nivel, obtener perfiles longitudinales y transversales, calcular volúmenes por diferencia de mallas o perfiles, y visualizar el terreno en 3D.
- **Microsoft Excel:** desarrollado por Microsoft específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo útiles en el tratamiento de datos espaciales.

### **5.2.- ELECCION DEL SISTEMA DE COORDENADAS UTILIZADO.**

Uno de los aspectos más importantes en la realización de un proyecto en el ámbito de la Geodesia y la Cartografía es la elección de un sistema de coordenadas

adecuado según las necesidades de éste. Sobre este sistema de coordenadas realizaremos los mapas requeridos y el tratamiento de los datos espaciales.

El sistema de coordenadas elegido en este caso se trata del UTM30 ETRS89. Las características que lo definen son las siguientes:

- **Límites en coordenadas geodésicas:**
  - **Min. Long/Lat:** -6.0000°, 34.7500°.
  - **Max. Long/Lat:** 0.0000°, 62.3300°.
- **Límites proyectados:**
  - **Min. X/Y:** 225370.734 m, 3849419.958 m.
  - **Max. X/Y:** 774629.265 m, 6914547.383 m.
- **Aplicaciones en las que es utilizado:** Cartografía topográfica a grandes y medianas escalas para estudios de ingeniería.
- **Tipo de proyección.** UTM.
- **Elipsoide:** GRS80.
- **Unidades:** metros.
- **Código EPSG:** 25830.
- **Meridiano central:** -3°.
- **Latitud de origen:** 0°.
- **Factor de escala:** 0.9996.

Otro aspecto a definir en todo proyecto es la elección del sistema de altitudes. En nuestro caso hemos decidido trabajar con altitudes ortométricas, ya que las variaciones en la ondulación del geoide para nuestra zona de estudio no varían más allá del error que podamos cometer en la propia medición. De cualquier manera no resulta un aspecto fundamental en este trabajo ya que trabajaremos con diferencias de altitudes.

El modelo de geoide utilizado para referir la altitud de los datos espaciales en este caso será el EGM08REDNAP.

El aspecto fundamental para el análisis de la erosión en este caso lo centraremos sobre la componente altimétrica de los datos, ya que carecemos de estructuras permanentes sobre la zona de estudio sobre la que controlar la componente planimétrica como podrían ser muros, hitos o algún tipo de construcción, si bien en de la zona de estudio situada al Noroeste de la parcela donde linda con un arroyo podríamos estudiar el ensanche o estrechamiento de éste mediante el análisis de la componente planimétrica.

### **5.3.- VOLCADO Y TRATAMIENTO DE DATOS DE LEVANTAMIENTO.**

Dispuestos ya todos los recursos y obtenidos los datos de los levantamientos, el siguiente paso será el de tratar estos datos para ser capaces de obtener información a partir de ellos mediante la generación de modelos digitales del terreno.

Dicho esto pasamos a detallar como generar un fichero para posteriormente importarlo en diferentes programas de tratamiento de datos espaciales. Indicar que el software utilizado en este caso es Leica Geo Office:

- En primer lugar antes de generar un proyecto nuevo debemos tener en cuenta varios aspectos.
  - Definición de un sistema de coordenadas. En la Fig. 45 tenemos el cuadro de diálogo que el programa nos ofrece para esta definición. Dentro de ésta tener hay que tener cuenta lo siguiente, existencia de:
    - Modelo de geoides: en nuestro caso se trata el EGM08\_RED NAP en la proyección UTM30 descargado del IGN.
    - Elipsoide: definido en el programa. GRS80.
    - Proyección: UTM30 ETRS89.
    - Tipo de proyección: UTM.

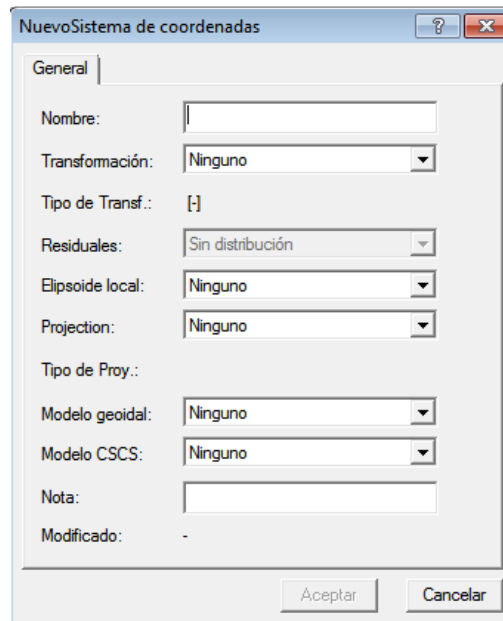


Figura 45. Ilustración del cuadro de diálogo en la definición de un Nuevo Sistema de Coordenadas.

- Importar un nuevo archivo de antenas descargado del IGS, ya que los parámetros de antenas definidos en el programa parecen no encontrarse actualizados dado que trabajamos con una versión de Leica Geo Office antigua. Se trata del archivo I08.ATX.
- En segundo lugar una vez definidos el sistema de coordenadas, incluidos el modelo de geoides y el fichero de antenas, el siguiente paso será el de crear un nuevo proyecto. En el cuadro de diálogo nos solicita nombrar el proyecto y definir el sistema de coordenadas a emplear. En nuestro caso será el definido anteriormente. En la Fig. 46 podemos ver un ejemplo de la definición de un nuevo proyecto en Leica Geo Office.

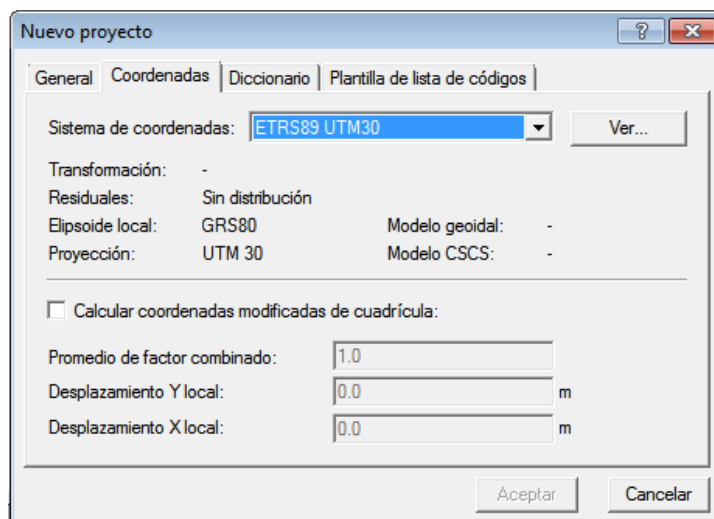


Figura 46. Ilustración del cuadro de diálogo en la definición de un nuevo proyecto.

- Una vez estamos dentro del proyecto importamos los datos del levantamiento GPS, los cuales aparecerán en coordenadas cartesianas referidas al sistema de referencia ETRS89. Para visualizar las coordenadas en la proyección UTM30 bastará con indicar al programa que nos encontramos en un sistema de referencia local y que muestre las coordenadas en cuadrícula (Grid). Este proceso es posible gracias a la previa definición de una proyección. Aquí una imagen (Fig. 47) aclaratoria de esta parte del proceso:



Figura 47. Ilustración del cambio de coordenadas de un sistema de referencia global a uno local proyectado.

- El último paso será la exportación de las coordenadas del levantamiento junto con sus atributos, los cuales nos pueden ser útiles para diferentes análisis. El paso se realiza de la siguiente manera: en un cuadro de diálogo como el de la Fig. 48 tenemos la posibilidad de elegir que atributos del dato podemos exportar y en que formato queremos hacerlo.

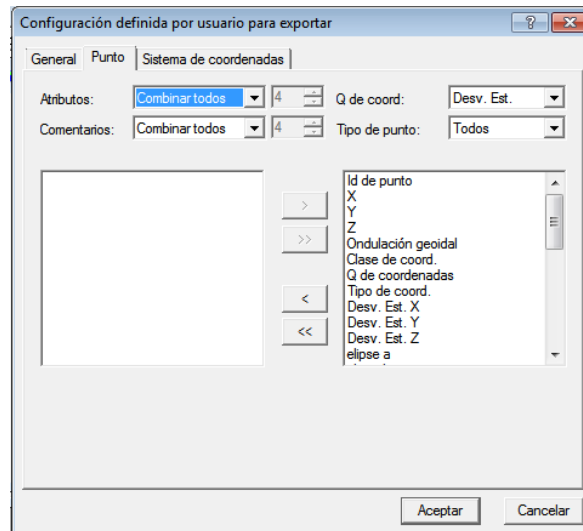


Figura 48. Ilustración del cuadro de diálogo para la exportación de coordenadas junto a sus atributos.

El resultado de todo lo anterior será un fichero de texto donde aparecen las coordenadas en la proyección UTM30 junto con sus atributos listo para ser importado en diferentes programas de tratamiento de datos espaciales, si bien hay que indicar la necesidad de edición de este fichero en cuanto al elemento de separación de valores (cambiar puntos por comas, espacios por tabulaciones, comas por espacios o tabulaciones) o a la inclusión o no de encabezados de columna, ya que todos los programas necesitan de unos requisitos diferentes a la hora de importar datos de este tipo. A continuación en la Fig. 49 podemos ver un ejemplo del fichero generado:

	Point Id	Northing	Easting	Orth. height	Geoid separation	Coordinate class	Coordinate qual
1	70	4205515.7572	476342.4431	523.6493	50.3238	MEAS	0.0199 34 0.0073 0.0050 0.0178 0.0076 0.00
2	71	4205513.3441	476342.3361	523.6035	50.3237	MEAS	0.0322 34 0.0118 0.0081 0.0288 0.0123 0.00
3	72	4205511.6798	476342.0844	523.4723	50.3236	MEAS	0.0419 34 0.0154 0.0106 0.0375 0.0160 0.00
4	73	4205510.0294	476341.6916	523.3775	50.3235	MEAS	0.0217 34 0.0080 0.0055 0.0194 0.0083 0.00
5	74	4205508.1798	476340.5918	523.1616	50.3234	MEAS	0.0348 34 0.0127 0.0088 0.0312 0.0133 0.00
6	75	4205505.5916	476340.4549	523.1395	50.3233	MEAS	0.0300 34 0.0109 0.0076 0.0268 0.0114 0.00
7	76	4205503.4630	476340.5114	523.1151	50.3231	MEAS	0.0371 34 0.0135 0.0094 0.0332 0.0141 0.00
8	77	4205501.3391	476340.3551	523.0157	50.3230	MEAS	0.0226 34 0.0083 0.0057 0.0203 0.0086 0.00
9	78	4205498.7984	476340.7706	522.9115	50.3229	MEAS	0.0213 34 0.0078 0.0054 0.0191 0.0081 0.00
10	79	4205496.2365	476340.2810	522.7502	50.3227	MEAS	0.0249 34 0.0091 0.0063 0.0223 0.0095 0.00
11	80	4205494.3703	476340.2824	522.7028	50.3226	MEAS	0.0355 34 0.0129 0.0090 0.0318 0.0135 0.00
12	81	4205492.0721	476340.3846	522.6245	50.3225	MEAS	0.0251 34 0.0091 0.0064 0.0225 0.0095 0.00
13	82	4205489.4562	476340.1686	522.4959	50.3224	MEAS	0.0192 34 0.0070 0.0049 0.0172 0.0073 0.00
14	83	4205487.2699	476339.5836	522.3184	50.3222	MEAS	0.0438 34 0.0159 0.0111 0.0392 0.0165 0.00
15	84	4205485.1565	476339.1412	522.1771	50.3221	MEAS	0.0398 34 0.0144 0.0101 0.0357 0.0150 0.00
16	85	4205482.6864	476338.0147	522.0051	50.3220	MEAS	0.0239 34 0.0087 0.0061 0.0215 0.0090 0.00
17	86	4205479.9865	476337.3547	521.9473	50.3218	MEAS	0.0333 34 0.0139 0.0083 0.0291 0.0141 0.00
18	87	4205477.5100	476336.7050	521.7715	50.3217	MEAS	0.0433 34 0.0157 0.0110 0.0388 0.0163 0.00
19	88	4205474.9556	476335.6256	521.4796	50.3215	MEAS	0.0281 34 0.0102 0.0071 0.0252 0.0106 0.00
20	89	4205472.3945	476334.7297	521.2796	50.3214	MEAS	0.0267 34 0.0097 0.0068 0.0240 0.0100 0.00
21	90	4205470.1902	476335.1485	521.1866	50.3213	MEAS	0.0428 34 0.0155 0.0109 0.0384 0.0161 0.00
22	91	4205467.7924	476335.9143	521.0853	50.3211	MEAS	0.0348 34 0.0126 0.0089 0.0313 0.0131 0.00
23	92	4205465.8639	476335.7348	520.8587	50.3210	MEAS	0.0364 34 0.0131 0.0093 0.0326 0.0136 0.00
24	93	4205463.5293	476335.3927	520.9745	50.3209	MEAS	0.0413 34 0.0149 0.0105 0.0370 0.0155 0.00
25	94	4205460.9665	476334.6411	521.0088	50.3208	MEAS	0.0450 34 0.0162 0.0115 0.0404 0.0168 0.00
26	95	4205458.4178	476334.5663	521.1458	50.3206	MEAS	0.0465 34 0.0168 0.0119 0.0417 0.0174 0.00
27	96	4205455.7403	476334.3439	521.4113	50.3205	MEAS	0.0346 34 0.0124 0.0088 0.0310 0.0129 0.00
28	97	4205453.2134	476334.3798	521.6815	50.3203	MEAS	0.0311 34 0.0112 0.0079 0.0279 0.0116 0.00
29	98	4205450.7989	476334.2674	521.9039	50.3202	MEAS	0.0418 34 0.0150 0.0107 0.0375 0.0156 0.00
30	99	4205448.3530	476333.9635	522.0926	50.3201	MEAS	0.0250 34 0.0090 0.0064 0.0225 0.0093 0.00

Figura 49. Ejemplo de fichero de exportación de datos.

### 5.3.- GENERACION MDE's DE PRECISIÓN.

Obtenidos ya todos los datos y tratados para su incorporación a diferentes programas de tratamiento y análisis, nos encontramos en disposición de poder generar modelos digitales del terreno. En este aspecto son varios los modelos que podemos obtener como pueden ser los clásicos de Curvas de Nivel, Triangulaciones (TIN), Mallas regulares, Mallas Ráster o Mapas de Pendiente, entre otros. Gracias a la variedad de software utilizado, podemos generar gran variedad de modelos de forma rápida y relativamente sencilla.

Una vez generados los modelos elegiremos aquel que previo análisis visual y analítico nos resulte más adecuado para la representación mediante un mapa de las variaciones sufridas en el terreno.

Indicar además la posibilidad de superponer en un mismo mapa varios modelos del terreno gracias a la utilización de software SIG, por lo que podemos realizar un análisis más amplio al disponer de más de una variable representativa del terreno.

Por último reseñar que durante la generación de los MDE's no tendremos en cuenta la distinción en cuanto al Manejo del Suelo que venimos indicando a lo largo del proyecto hasta el último paso en el análisis de los MDE's. Será en éste donde dividiremos la zona de estudio para calcular la erosión producida para cada caso, por lo que trataremos la totalidad de los datos de manera conjunta hasta tal punto.

Los pasos realizados para la generación de los MDE's para ambas campañas de observación (2015 y 2016) han sido en todo equivalentes y como resultado obtendremos dos MDE's de la misma zona en épocas distintas con el objetivo marcado de obtener la diferencia entre ellos. La secuencia ha sido la siguiente:

#### **1.- Importación de la nube de puntos del levantamiento:**

El primer paso es el de incorporar a un software de tratamiento de datos espaciales las coordenadas de los puntos del levantamiento junto a sus atributos. En este caso el software utilizado es Qgis (Versión 2.6.0-Brigton) el cual dispone de la herramienta "*Añadir capas de texto delimitado*" con la que podremos importar los ficheros generados en Leica Geo Office sin ningún tipo de tratamiento intermedio. En este caso las opciones que tenemos que editar en el menú de importación de datos espaciales (Fig. 50) se reducen a indicar los delimitadores utilizados en el fichero y a definir los campos en los que se encuentran las coordenadas X e Y.

Una vez importadas las coordenadas del levantamiento, el software nos requerirá definir el tipo de proyección, el cual en este caso se trata del UTM 30 ETRS89.

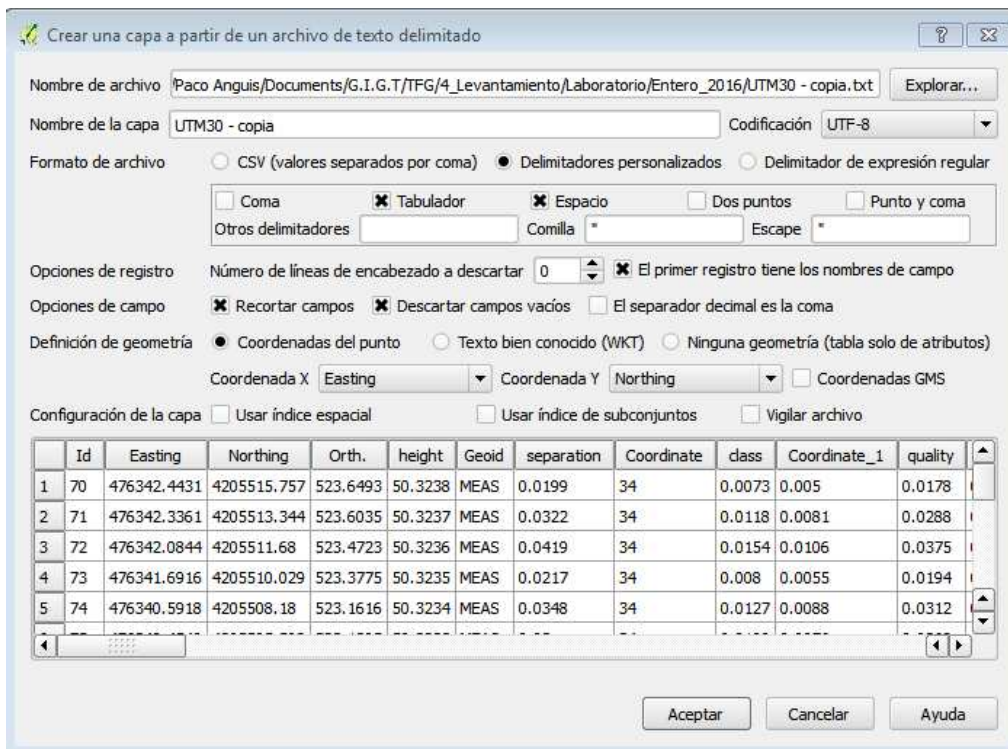


Figura 50. Ilustración de la creación de la nube de puntos en Qgis.

Como resultado del proceso anterior obtenemos la nube de puntos generada a partir del levantamiento y que será la que utilizaremos para la generación de los MDE. En la Fig. 51 mostramos un ejemplo perteneciente al levantamiento realizado en la primera campaña de medición (Noviembre de 2015).

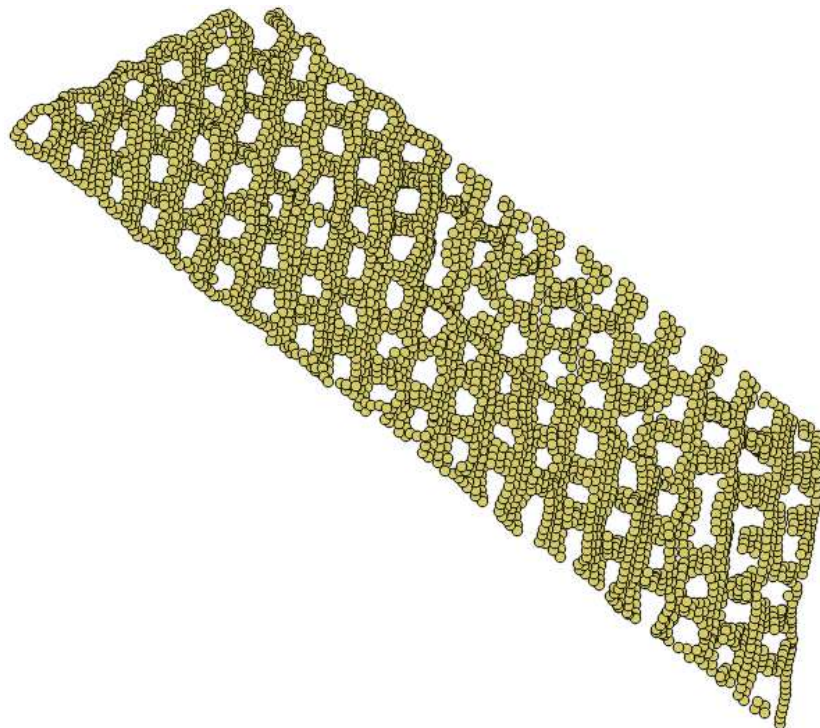


Figura 51. Ilustración de los puntos del levantamiento de la campaña de Noviembre de 2015.

## 2.- Elección del algoritmo de interpolación.

Hasta el momento se ha buscado la precisión en la instrumentación y metodologías de trabajo a la hora de capturar los datos de campo, en este caso, las coordenadas de los puntos del levantamiento de la superficie del terreno. El paso siguiente requiere generar los MDE's a partir de estos datos utilizando un algoritmo que mantenga la precisión de los valores de Z.

Con estas premisas y analizando las opciones en cuanto a interpolación que nos ofrece el software, nos decantamos por el Método de Triangulación de Delaunay (TIN) el cual conecta todos los puntos medidos mediante una red de triángulos irregulares siguiendo el criterio del vecino más próximo. De este modo se genera una superficie que pasa por todos y cada uno de los puntos. Esta aproximación es según Bonham-Carter (1994) la más apropiada cuando se sabe que el margen de error de los datos es relativamente bajo. La metodología de captura de datos ha sido diseñada para tal fin: captura de datos siguiendo una malla de puntos más o menos regular, alta densidad de puntos registrados, y alta precisión en la instrumentación y metodología de observación. Estas circunstancias de trabajo llevan a adoptar como método de interpolación más apropiado el Triangular Irregular Network (TIN) o Triangulación de Delaunay. (María Isabel Ramos, 2008)

Como análisis previo a la generación de los Grids a partir de los MDE's, debemos estudiar cual sería el tamaño de celda idóneo para la generación de éstos. Este análisis lo realizamos con una herramienta disponible en Qgis y que nos ofrecerá información respecto a los puntos. De esta manera los resultados son los presentes en la Tabla 17:

	Levantamiento 2015	Levantamiento 2016
<b>Distancia media observada (m)</b>	1.139	1.248
<b>Distancia media esperada (m)</b>	1.519	1.566
<b>Índice de vecinos más próximos</b>	0.749	0.820
<b>Número de puntos:</b>	3828	2828

Tabla 17. Resultados de los análisis de los levantamientos para obtención del tamaño de celda para la generación de los Grids.

Como observamos en la Tabla 17, las distancias medias entre los puntos del levantamiento son de 1.13m para el caso del levantamiento realizado en 2015, siendo de 1.24m en el caso del levantamiento de 2016. En base a estos resultados definiremos el tamaño de celda para la obtención de los Grids a partir de los MDE's. Aun así, generaremos distintos Grids para cada levantamiento con distinto tamaño de celda, y analizando el error cometido en la determinación de éstos, tomaremos la mejor opción en cuanto a tamaño de celda como veremos más adelante.

## 3.- Generación de los Grids para cada campaña de medición.

Obtenidos ya los puntos del levantamiento y establecida la metodología para la generación de los MDE's nos encontramos en disposición de realizar el proceso de obtención de los Grids. En esta ocasión vemos necesaria una aclaración respecto al tipo de MDE citado anteriormente, nos referimos al Grid.

Un Grid es un tipo de modelo digital de elevaciones el cual trata de la superposición de una malla regular de puntos sobre una superficie, ya sea sobre puntos de un levantamiento o sobre otro tipo de modelo, en este caso sobre un TIN, con la finalidad de obtener valores asociados a la superficie mediante algún método de interpolación. De esta manera podremos obtener tanta cantidad de información como resolución (tamaño de celda) queramos definir. En este caso utilizaremos un tamaño de celda acorde a la resolución tomada en campo, aunque según algunos autores, (Desmet, 1997) éste podría ser aun menor. Con esta premisa, tomaremos como tamaños de celda uno menor a la resolución tomada en campo, otro tamaño próximo a dicha resolución y un tercer tamaño ligeramente superior con el objetivo de obtener distintos valores en los errores producidos en la determinación de los Grids. Dicho esto, los tamaños con los que vamos a trabajar son de 0.5, 1 y 1.5m respectivamente.

Para la realización de un primer análisis visual, mostraremos los resultados obtenidos para los distintos levantamientos generados con el mismo tamaño de celda. A continuación en la Fig. 52 vemos una ilustración con los Grids obtenidos para ambas épocas de medición con un tamaño de celda de 0.5m.

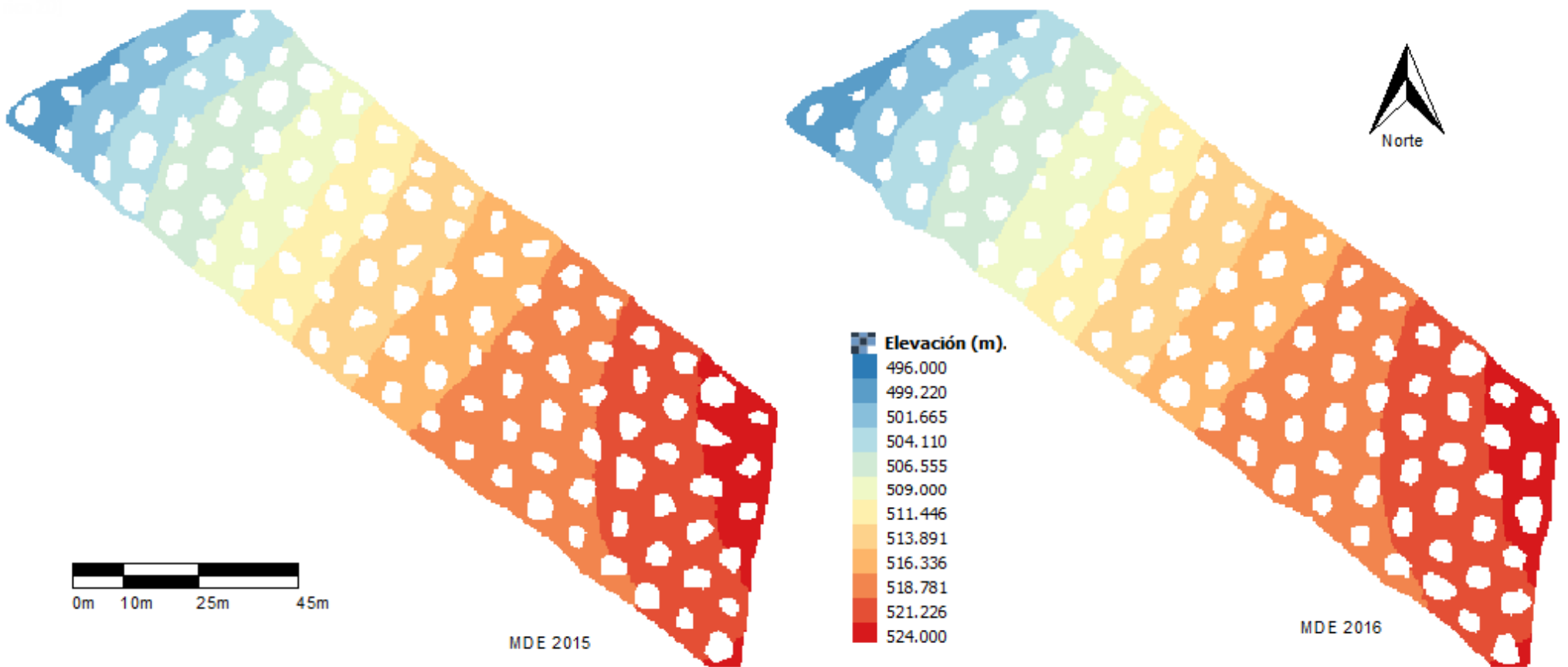


Figura 52. Ilustración de los Grids generados con un tamaño de celda de 0.5m de las campañas de medición de 2015 (Izquierda) y 2016 (derecha).

En una primera observación, no somos capaces de distinguir a simple vista variaciones en Z entre los diferentes Grids, si bien observando con mayor detenimiento podemos intuir que en la parte Noroeste del Grid generado para la campaña de 2016 (Fig. 52 derecha) las “bandas” generadas por los elementos del Grid agrupados en la misma clase de la clasificación difieren en cuanto a anchura y tono, por lo que a priori podríamos estar hablando de una variación sufrida en la superficie.

Indicar además que en el caso de la campaña de medición de 2016, como se apuntó en apartados anteriores, se utilizó en el montaje del equipo móvil un jalón de 3m, por lo que a la hora de realizar el levantamiento podíamos registrar puntos más próximos a los olivos (dados el volumen y altura de éstos), por lo que la zona que obviamos (bajo copa) en este caso es más reducida que la presente en el caso de la campaña de 2015, donde solo disponíamos de un jalón de 2m en el montaje del equipo móvil.

El siguiente caso trata de la generación de Grids con un tamaño de celda de 1m, que sería el caso más aproximado al tamaño de la malla generada durante el levantamiento. En la siguiente ilustración (Fig. 53) podemos ver los resultados obtenidos en esta ocasión.

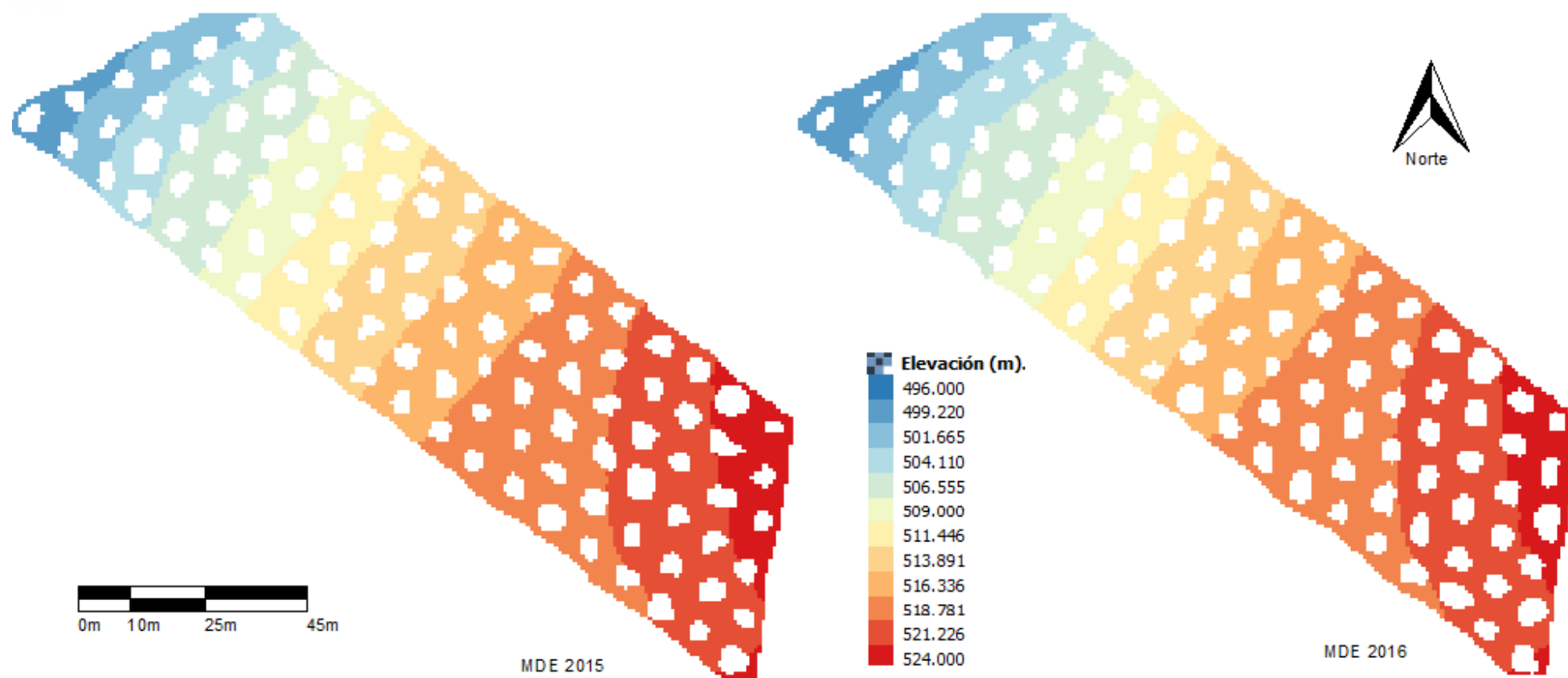


Figura 53. Ilustración de los Grids generados con un tamaño de celda de 1m de las campañas de medición de 2015 (Izquierda) y 2016 (derecha).

Observamos que a medida que disminuimos la resolución también lo hacemos en el nivel de detalle, aun así los Grids generados en esta ocasión con un tamaño de celda de 1m ofrecen un buen nivel de interpretación pudiendo observar algunas variaciones más que en el caso anterior dado que disminuimos el nivel de detalle, por lo que la clasificación del Grid en función de Z será menos precisa.

El último caso trata de la generación de Grids con un tamaño de celda de 1.5m. En esta ocasión se trata de un tamaño superior al generado en el levantamiento, por lo que los resultados que esperamos en la generación de MDE's no serán del todo satisfactorios para el desarrollo de este trabajo. De todas maneras, vemos necesario el analizar la generación de Grids con varios tamaños de celda y optar por el que mayor precisión nos ofrezca a la vez no requiera un gran esfuerzo computacional. A continuación en la Fig. 54 podremos ver los resultados obtenidos en este caso.

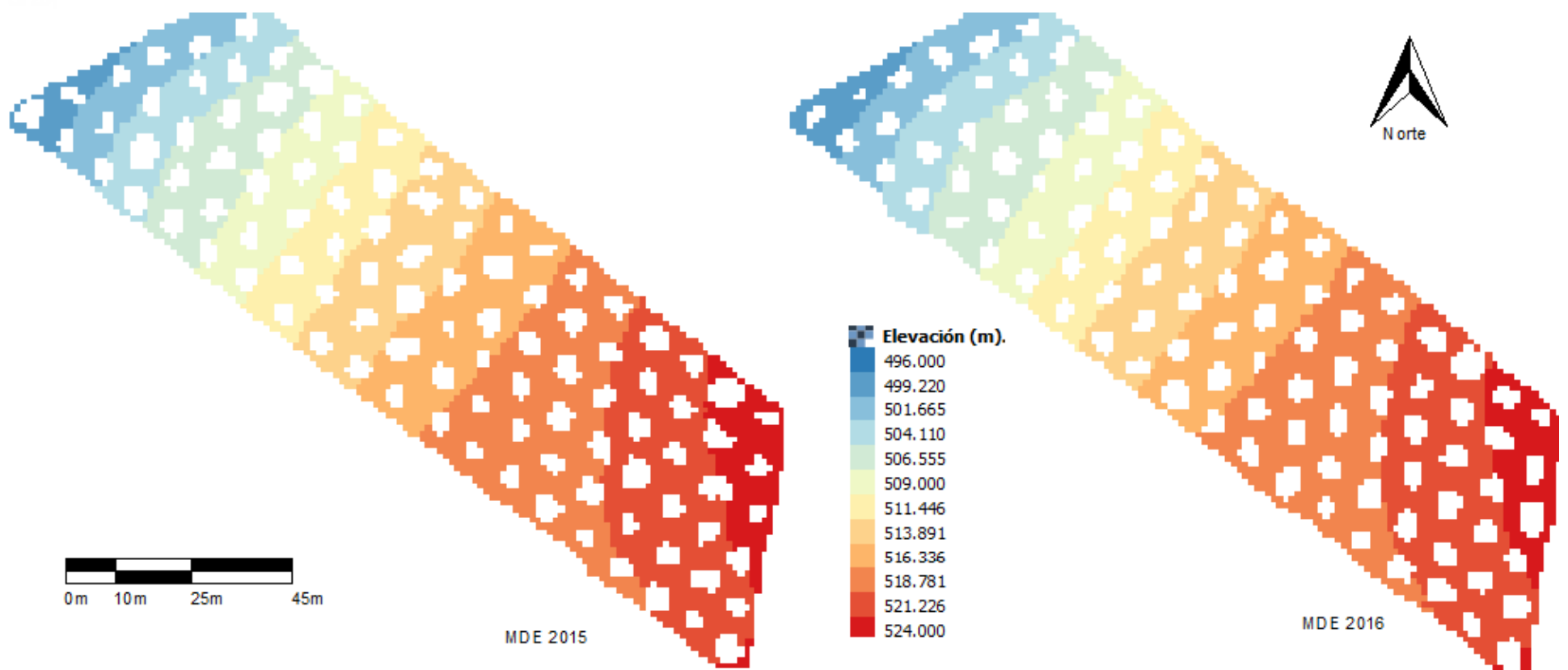


Figura 54. Ilustración de los Grids generados con un tamaño de celda de 1.5m de las campañas de medición de 2015 (Izquierda) y 2016 (derecha).

En esta ocasión podemos apreciar como a medida que disminuimos la resolución aumentan los casos en los que podemos observar variaciones de Z visualmente de una campaña a otra en los Grids, y aunque a priori podríamos descartar los Grids generados con un mayor tamaño de celda que el generado para el levantamiento, será necesario analizar el error cometido en la determinación de los MDE`s por parte del software para elegir el caso en el que dicho error sea mínimo.

### 5.3.1.- PRECISIÓN DE LOS MDE'S

Como se ha comprobado anteriormente los Grids de elevaciones generados para cada campaña de medición son sensiblemente diferentes, realizando únicamente un mero análisis visual. Estas variaciones podrían considerarse, a priori, como valores de pérdida o incremento de suelo que se han producido en el transcurso de tiempo de una campaña de medición a otra. Sin embargo esta valoración no sería completamente correcta ya que las diferencias entre los valores de elevaciones son producto tanto de las posibles variaciones de la superficie del terreno como de los errores propios de cada MDE. Con lo cual antes de obtener conclusiones sobre las variaciones de la superficie del terreno se han de discriminar de los modelos los errores de cada uno. De este modo los Grids generados sí se podrán restar entre sí para obtener los valores reales de aumento o pérdida de suelo.

Frecuentemente la precisión de los MDE's se identifica mediante su resolución espacial (tamaño de celda en la realidad) y la precisión en los valores de elevación, la coordenada Z. Sin embargo son numerosos los autores que durante años han abordado el estudio de la precisión y calidad de los MDE's. Según Wood y Fisher (1993) y Wilson y Gallart (2000) los factores que principalmente afectan a la calidad del MDE son la tecnología empleada en la captura de valores de altitud y la precisión del algoritmo de interpolación empleado. En este sentido, Desmet (1997) define la exactitud de un MDE como el compromiso entre la "precisión" y "fiabilidad" en las formas. Para ello la precisión la evalúa a partir de índices adimensionales como el RMSE, que representa el grado en que los valores interpolados difieren del valor verdadero, en este caso el medido con GPS. La fórmula empleada para el cálculo del RMSE de cada modelo es la siguiente:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(m_i) - Z(e_i))^2}$$

Donde:

- n: número de puntos de la muestra.
- Z(m<sub>i</sub>): valor de Z medido en el punto "i".
- Z(e<sub>i</sub>): valor de Z estimado mediante interpolación del punto "i".

Para la determinación del RMSE de los MDE's generados para cada campaña se empleara el método de la Validación Cruzada (Cross Validation, Isaaks and Srivastava, 1990). Los pasos a seguir para la determinación del RMSE son los siguientes:

- Selección de manera aleatoria de los puntos de control: una vez cargados los datos del levantamiento en el software Qgis, procedemos a seleccionar de manera aleatoria el 15% del total de los puntos mediante la herramienta "*Random Selection*". Ejemplo del resultado del proceso anterior es el ilustrado en la Fig. 55, donde los puntos seleccionados aparecen representados de color amarillo.

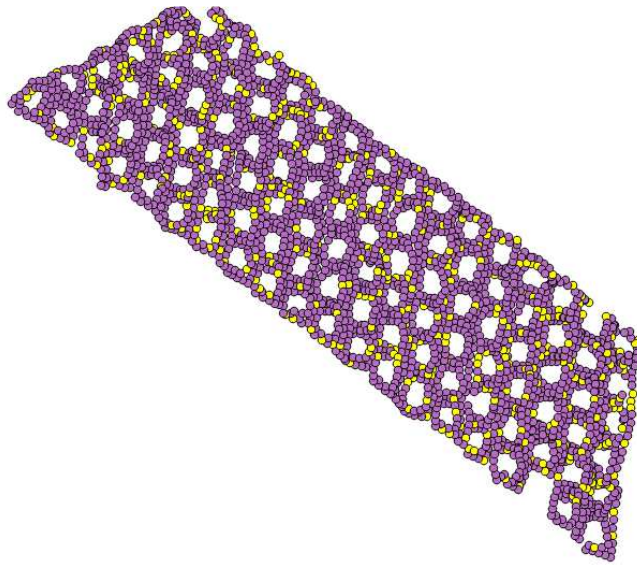


Figura 55. Ilustración del resultado de emplear una herramienta de selección aleatoria.

- El siguiente paso será el de calcular las coordenadas Z de los puntos de control interpoladas usando los Grids generados anteriormente. Para ello, juntamos en la misma composición de capas los Grids generados junto a los puntos de control y calculamos mediante interpolación bilineal las nuevas coordenadas Z ( $Z(e_i)$ ) de los puntos de control. A continuación en la Fig. 56 un ejemplo de la composición de estas capas.

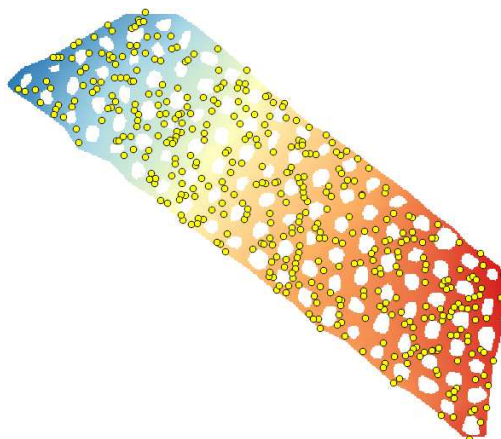


Figura 56. Ejemplo de superposición de capas para la obtención de  $Z(e_i)$  mediante interpolación bilineal.

- Como resultado de lo anterior, en la capa de puntos del levantamiento tendremos los atributos de  $Z(m_i)$  ( $Z$  medida en campo) y de  $Z(e_i)$  ( $Z$  estimada) de los puntos de control. Con estos datos serán con los que obtendremos los RMSE de los MDE's generados para cada campaña y tamaños de celda adoptados.

Establecido el método para el cálculo del RMSE, los resultados obtenidos según los distintos tamaños de celda y campañas de medición son los presentes en la Tabla 18:

Resolución (m)	Noviembre 2015	Septiembre_2016
0.5	0.016	0.018
1	0.017	0.016
1.5	0.045	0.053

Tabla 18. Valores del RMSE en metros calculado para cada MDE generado.

Observamos que los valores obtenidos de RMSE para los distintos MDE's son muy similares para ambas campañas de medición, si bien cabe destacar que para el caso de los MDE's generados con una resolución de 1.5m los valores del RMSE son más del doble que los valores obtenidos en los casos de los generados con los valores de resolución de 0.5 y 1m.

Para analizar con mayor detenimiento cómo se distribuyen los RMSE más altos y más bajos, se generan a partir de los valores de RMSE de los puntos de control, un Grid para cada campaña y tamaño de celda.

Los resultados obtenidos para los Grids generados con un tamaño de celda de 0.5m son los representados en la Fig. 57. Como observamos los errores cometidos en la determinación de los modelos no siguen un patrón definido, distribuyéndose los errores de forma homogénea.

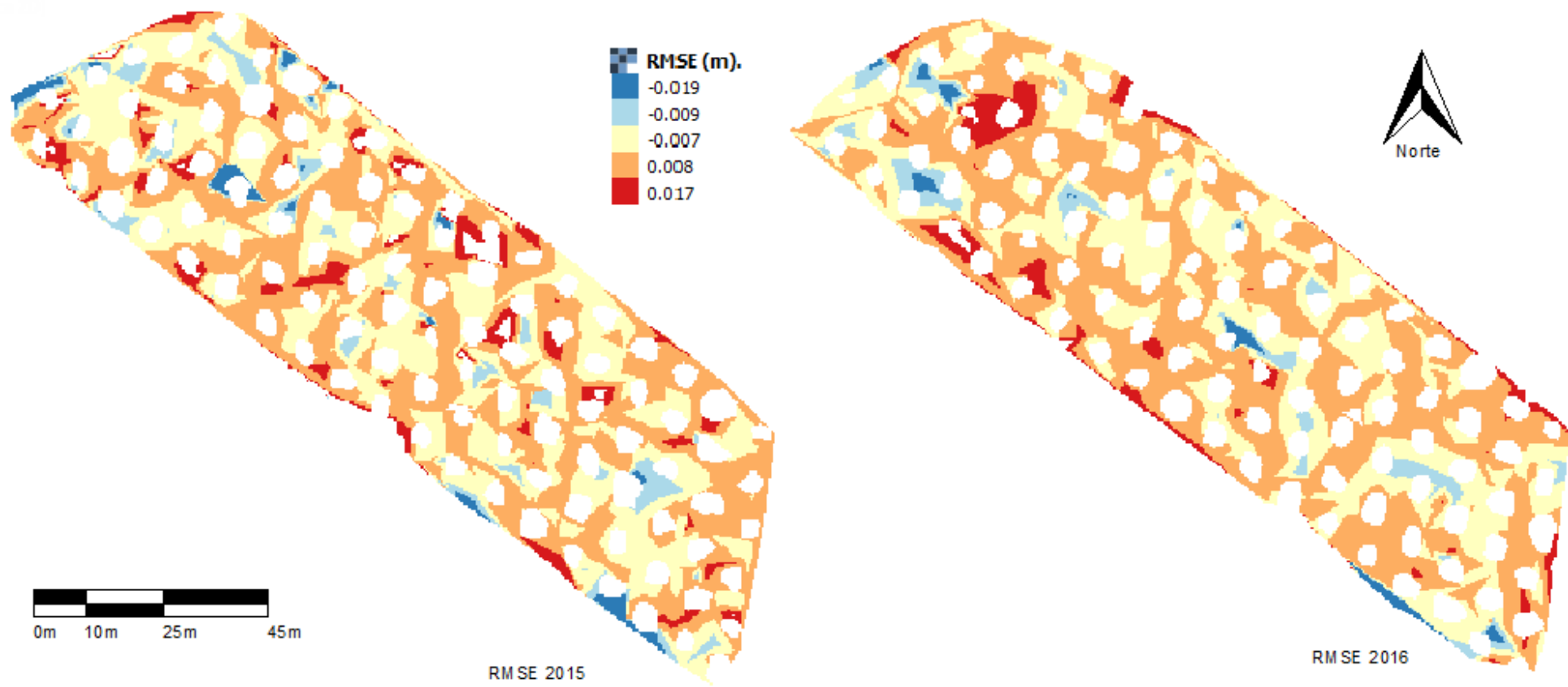


Figura 57. Grid del RMSE de los puntos de control con una resolución de 0.5m para las campañas de 2015 (izquierda) y 2016 (derecha)

Los resultados obtenidos para los Grids generados con un tamaño de celda de 1m son los representados en la Fig. 58.

En esta ocasión si que observamos diferencias en los errores cometidos en la generación de los modelos entre una campaña y otra siendo más preciso el modelo generado para la campaña de 2016 (Fig. 58 derecha), dado que existen más valores en los que la cota  $Z$  del modelo ( $Z(e_i)$ ) es coincidente con la  $Z$  de los puntos del levantamiento ( $Z(m_i)$ ) tratándose éstos de los valores representados con tonos claros.

En cuanto a la distribución, en el caso del modelo generado para la campaña de 2015 (Fig. 58 izquierda) los errores presentan una distribución homogénea. Por el contrario en el caso del modelo generado para la campaña de 2016 (Fig. 58 derecha) los errores se encuentran distribuidos de forma no homogénea de manera que, los errores cometidos en la generación del modelo situados en la zona Sureste son menores que los situados en la zona Noroeste basándose esta afirmación en un mero análisis visual donde podemos distinguir dos zonas con tonos diferentes.

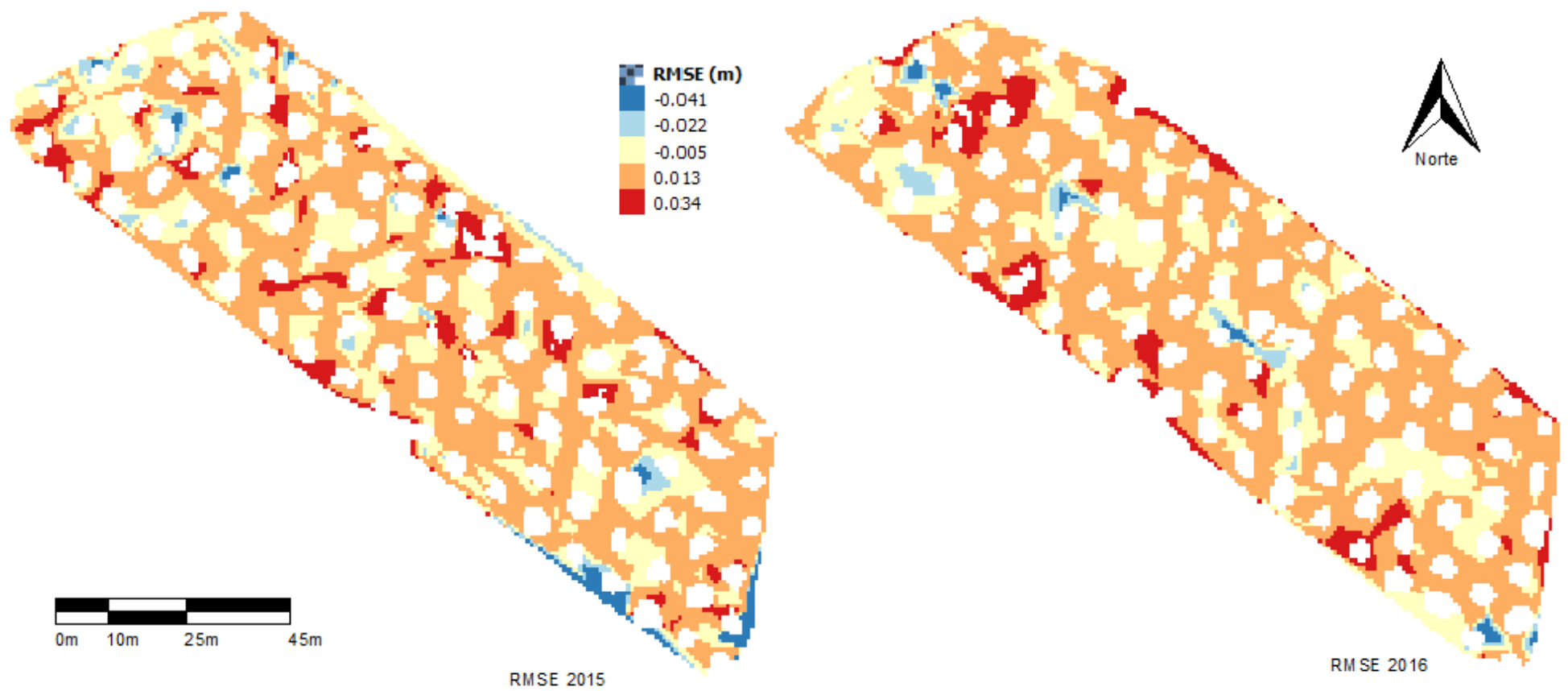


Figura 58. Grid del RMSE de los puntos de control con una resolución de 1m para las campañas de 2015 (izquierda) y 2016 (derecha)

Por último, los resultados obtenidos para los Grids generados con un tamaño de celda de 1.5m son los representados en la Fig. 59.

A la vista de estos últimos resultados en un primer análisis visual podemos concluir que la generación de Grids con un tamaño de celda superior al realizado en el levantamiento no resulta aconsejable, ya que los errores cometidos en la generación de los modelos resultan excesivos para el desarrollo de este trabajo. Dicho esto, en un análisis más profundo observamos una distribución del error homogénea en cuanto a los valores del error (predominan los tonos oscuros). Por otra parte, la distribución del error en cuanto a su sentido (positivo o negativo) no sigue una distribución homogénea, acumulándose los errores positivos (estimación del modelo por encima de los puntos del levantamiento) en la zona Noroeste de ambos modelos. En la zona Sureste observamos la acumulación de errores negativos (estimación del modelo por debajo de los puntos del levantamiento).

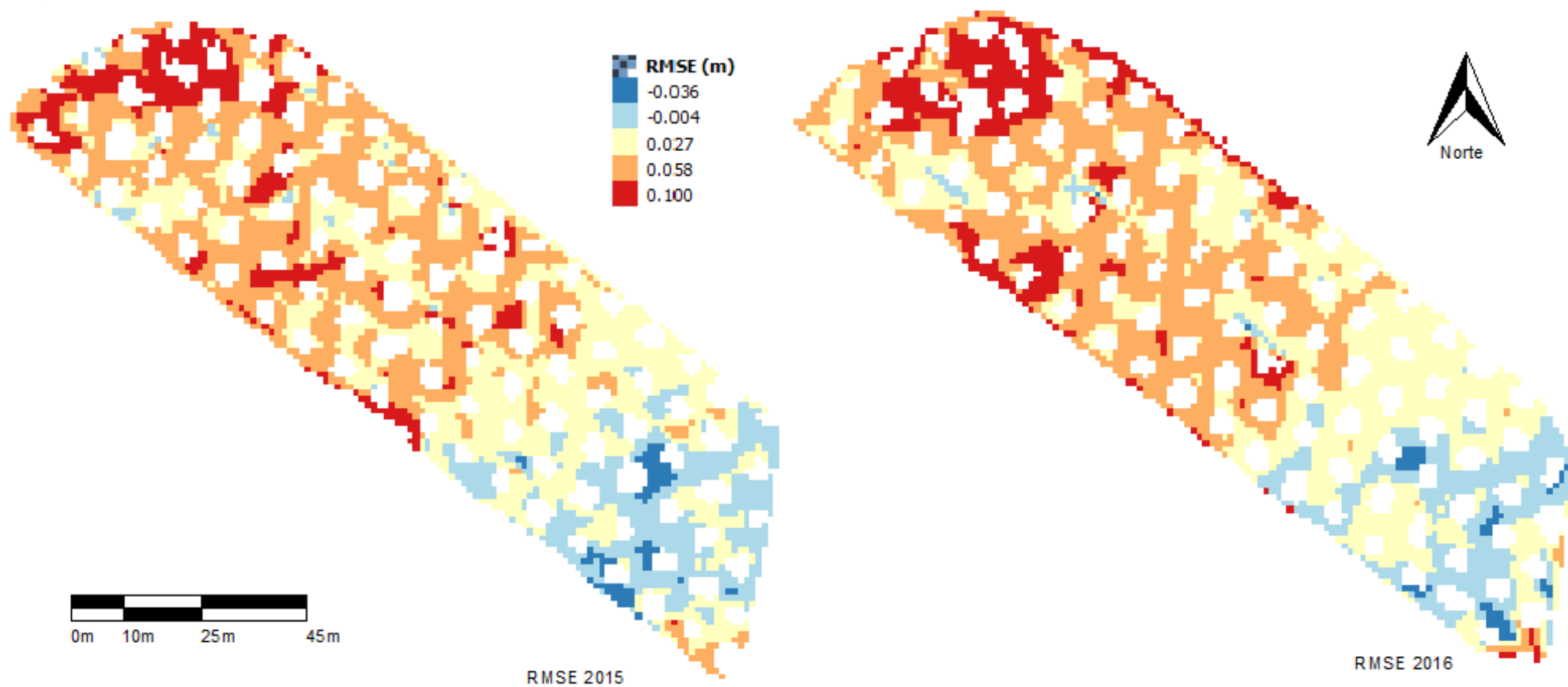


Figura 59. Grid del RMSE de los puntos de control con una resolución de 1.5m para las campañas de 2015 (izquierda) y 2016 (derecha)

Tras un primer análisis visual del RMSE cometido en la generación de los Grids, vemos necesario el análisis estadístico de éstos para extraer resultados y conclusiones más exactas. En el siguiente cuadro (Tabla 19) los resultados de dicho análisis:

Resolución (m)	Noviembre 2015		Septiembre 2016	
	$E_{\max}$	$E_{\min}$	$E_{\text{medio}}$	$\sigma_E$
0.5	0.058	0.000	0.005	0.006
1	0.078	0.000	0.009	0.010
1.5	0.143	0.000	0.034	0.028

Tabla 19. Estadísticas en metros de los RMSE de cada Grid.

A continuación se analizan los valores de  $\sigma_z$  obtenidos en cada campaña de medición. En primer lugar se muestran en la Tabla 20 las estadísticas de cada campaña sobre la nube de puntos registrada en campo. Después a partir de éstos se generan los Grids de  $\sigma_z$  para cada tamaño de celda de manera que se pueda valorar cómo influye este factor en la distribución espacial del valor representado.

Campaña	$\sigma_{z\max}$	$\sigma_{z\min}$	$\sigma_{z\text{medio}}$	$\sigma_{Z\sigma_z}$
2015	0.066	0.007	0.025	0.009
2016	0.051	0.007	0.023	0.008

Tabla 20. Estadísticas en metros de los valores de  $\sigma_z$  de cada Zona en cada campaña.

A la vista de los resultados de la Tabla 20, podemos decir que las precisiones obtenidas para ambas campañas de medición han sido muy similares, si bien el error máximo cometido en la campaña de 2015 es superior al cometido en la campaña de 2016, hecho no destacable ya que el error medio es prácticamente igual en ambas campañas.

En aras de identificar los errores cometidos en el levantamiento con GPS, vemos oportuno el crear Grids de distintos tamaños de celda donde la variable a representar sea  $\sigma_z$  en la determinación de Z (Z(mi)). En esta ocasión solo representaremos los resultados con un tamaño de celda de 1m ya que no nos interesa tanto saber cómo varía la representación de este error en función del tamaño de celda, si bien nos interesa saber como varía transcurrido un tiempo entre observaciones. Estos errores son los presentes en la Fig. 60.

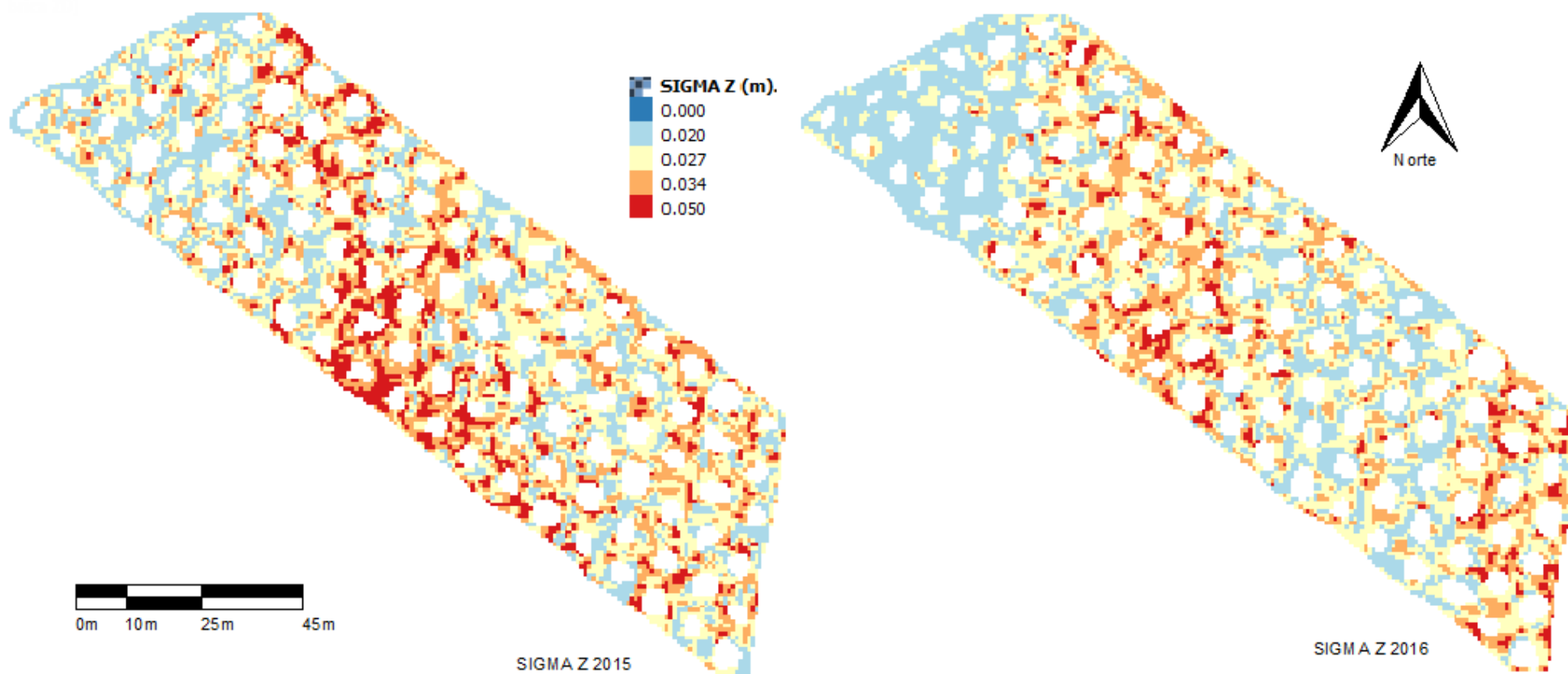


Figura 60. Grids de los valores de desviación estándar de la coordenada Z de la totalidad de los puntos del levantamiento para las campañas de 2015 (izquierda) y 2016 (derecha).

Observamos en la imagen como la distribución de la  $\sigma_z$  en ningún caso sigue una distribución homogénea, dicho esto, para la campaña de 2015 (Figura 60 izquierda) observamos una tendencia Norte-Sur en la zona central donde se acumulan los errores máximos para esta campaña. En el caso de la campaña de 2016 tenemos el mismo caso aún más marcado. Este hecho puede venir de que en dicho intervalo de la zona de medida es donde se encuentran los olivos más altos y voluminosos, por lo que éstos podrían impedir la correcta recepción por parte del equipo móvil de la señal de los satélites.

Finalmente, la precisión de cada MDE se calcula a partir de la componente cuadrática de las dos fuentes de error analizadas: RMSE de las Z estimadas a partir de la superficie interpolada y la  $\sigma_z$  de los puntos observados con GPS.

$$\text{PRECISIÓN MDE} = \sqrt{(\text{RMSE})^2 + (\sigma_z)^2}$$

Esta precisión se calcula a partir de los puntos de control seleccionados aleatoriamente en el proceso de validación cruzada. Los valores medios obtenidos para cada campaña se muestran en la Tabla 21. De aquí en adelante, vistos los resultados obtenidos optamos únicamente por trabajar con un tamaño de celda de 1m.

Campanña	$\sigma_{z\max}$	$\sigma_{z\min}$	$\sigma_{z\text{med}}$	$\sigma_{Z\sigma_z}$
Noviembre 2015	0.109	0.009	0.030	0.012
Septiembre 16	0.082	0.010	0.027	0.010

Tabla 21. Estadísticas en metros de las precisiones de los MDE resultantes.

A continuación en la Fig. 61 vemos como se ha generado partir de los valores de precisión en cada punto de las distintas campañas un modelo de distribución de los errores de cada MDE.

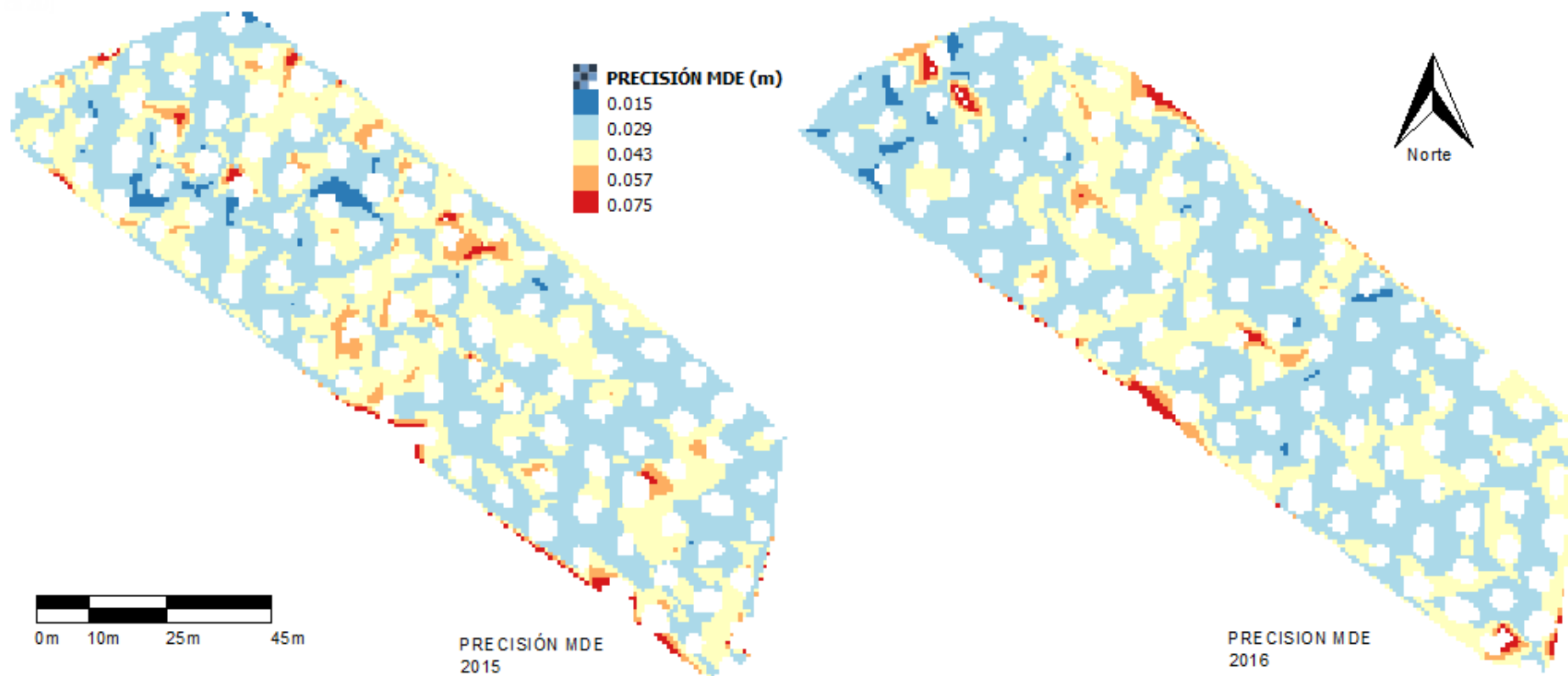


Figura 61. Precisión del MDE expresada en metros para las campañas de medición de 2015 (Fig. 61 izquierda) y 2016 (Fig. 61 derecha) con un tamaño de celda de 1m.

De la imagen anterior (Fig. 61) extraemos la conclusión de que la distribución del error cometido en la generación de los MDE's ( $RMSE + \sigma_z$ ) se reparte de manera homogénea.

#### **5.4.- DIFERENCIA ENTRE MDE'S DE PRECISIÓN.**

Generados ya los distintos Grids para cada campaña de medición (2015 y 2016) y calculados los errores generados tanto en la generación de los modelos, los generados en el propio levantamiento y la componente cuadrática de ambos, nos encontramos en disposición de poder generar un modelo de erosión-reposición del terreno, fruto de la diferencia de los Grids citados anteriormente e incluso de discriminar estas diferencias en función de los valores de la composición de los errores cometidos en ambos modelos.

Dicho todo lo anterior y con los antecedentes preestablecidos, pasamos a calcular las diferencias entre los Grids de las campañas de 2015 y 2016 con un tamaño de celda de 1m. El motivo por el cual nos hemos decidido finalmente por el uso de esta resolución es por el hecho que con un tamaño menor (0.5m) no mejoramos en exceso la precisión en la generación de los modelos a la vez que requiere un mayor esfuerzo computacional. En el otro extremo también estudiamos la posibilidad de trabajar con un tamaño de celda mayor (1.5m), pero los resultados en cuanto a precisión en la generación del modelo no resultan válidos para la realización de este trabajo.

El primer paso del proceso para calcular la diferencia entre los Grids generados en ambas campañas será el de importar en un software SIG todas las capas necesarias para la calcular la diferencia entre ambas, de esta manera incluimos los Grids de elevaciones generados con un tamaño de celda de 1m y los Grids de errores cometidos en la generación de los modelos. Estos últimos se refieren a los Grids generados a partir del error cometido en la generación del MDE de elevaciones y del error cometido en el propio levantamiento de los datos.

Apuntado todo lo anterior, y para posteriormente referirnos a ellas, nombraremos las distintas capas de forma abreviada de la siguiente manera:

- Grid de elevaciones de 2015 con tamaño de celda de 1m: **GRID\_1M\_2015.**
- Grid de elevaciones de 2016 con tamaño de celda de 1m: **GRID\_1M\_2016.**
- Grid de precisión del MDE generado para 2015 con tamaño de celda de 1m: **PRECISION\_MDE\_2015.**
- Grid de precisión del MDE generado para 2016 con tamaño de celda de 1m: **PRECISION\_MDE\_2016.**

El siguiente paso a realizar será el de superponer sobre cada una de las capas de esta composición una malla regular con un tamaño de celda de 1 m para obtener los

distintos valores de todas ellas mediante interpolación. Resumidamente el objetivo de esta superposición es el de poder calcular tanto las diferencias entre los Grids de elevaciones, componer cuadráticamente los errores cometidos en la determinación de los modelos y discriminar las diferencias entre los Grids de elevaciones.

De esta manera, los valores que pretendemos obtener en cada uno de los puntos de la malla son los siguientes:

- (GRID\_1M\_2016) – (GRID\_1M\_2015).
- Componente cuadrática de PRECISIÓN\_MDE\_2015 Y PRECISIÓN\_MDE\_2016.

Las estadísticas de los resultados obtenidos en el proceso anterior son las presentes en la Tabla 22:

Modelo	$E_{z\text{máx}}$	$E_{z\text{mín}}$	$E_{z\text{prom}}$	$\sigma_z$
Diferencia de elevaciones	0.202	0.000	0.038	0.025
Componente cuadrática Precisión MDE's	0.382	0.021	0.042	0.015

Tabla 22. Resultados estadísticos de los modelos de diferencia de superficies y de la componente cuadrática de la precisión de los MDE's generados.

Para realizar un análisis visual de la distribución de la diferencia de los Grids de elevaciones generamos un Grid con un tamaño de celda de 1m donde la variable a representar es la propia diferencia (Fig. 62).

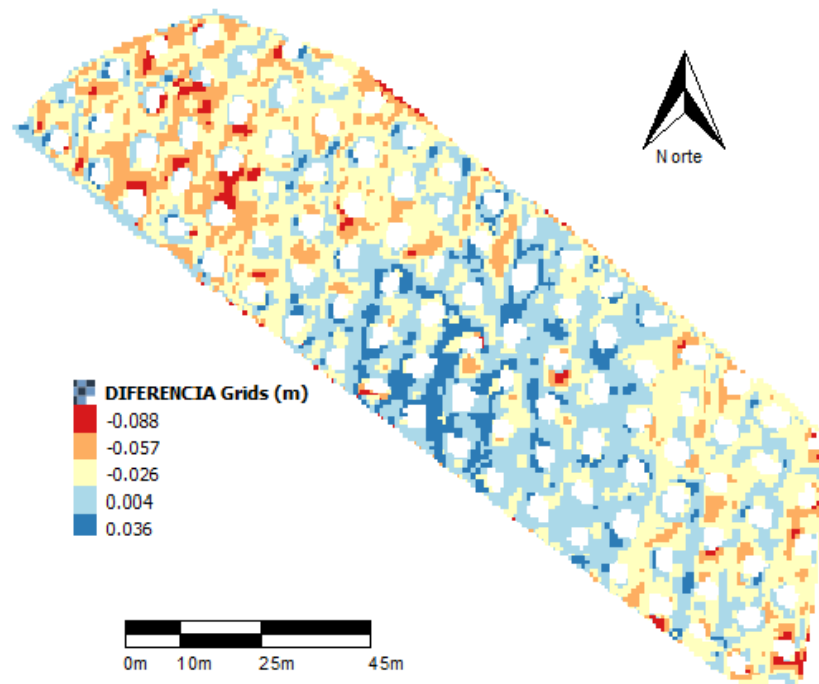


Figura 62. Representación de la diferencia de Grids generados para la campaña de 2015 y 2016.

A la vista de estos resultados, podríamos decir que existen diferencias entre los modelos generados para las distintas campañas de medición. Los valores negativos se corresponden con valores de erosión ubicándose éstos en la zona de mayor pendiente. En el caso contrario, los valores positivos se corresponden con valores de reposición.

#### 5.4.1.- PRECISIÓN EN LA MEDIDA DE LA EROSIÓN.

En este apartado analizaremos si las variaciones obtenidas en el apartado anterior son realmente fruto de los procesos de erosión. Para ello, obtuvimos anteriormente un modelo de precisión de los MDE's generados. La precisión en la medida de la erosión vendrá determinada por la componente cuadrática de la precisión de los MDE's generados para cada campaña.

Seguidamente, compararemos estos resultados con los obtenidos en el modelo de erosión (Fig. 62) de manera que, si la diferencia entre los Grids de elevaciones (en valor absoluto) es mayor que el error resultante de componer cuadráticamente las precisiones de los MDE's de cada campaña diremos que se trata de un caso de variación de la superficie. De lo contrario establecemos que las variaciones obtenidas de la diferencia de los Grids de elevaciones son despreciables dados las precisiones obtenidas para la generación de los MDE's y la obtenida en los levantamientos.

En la Fig. 63 podemos ver el modelo generado en esta ocasión.

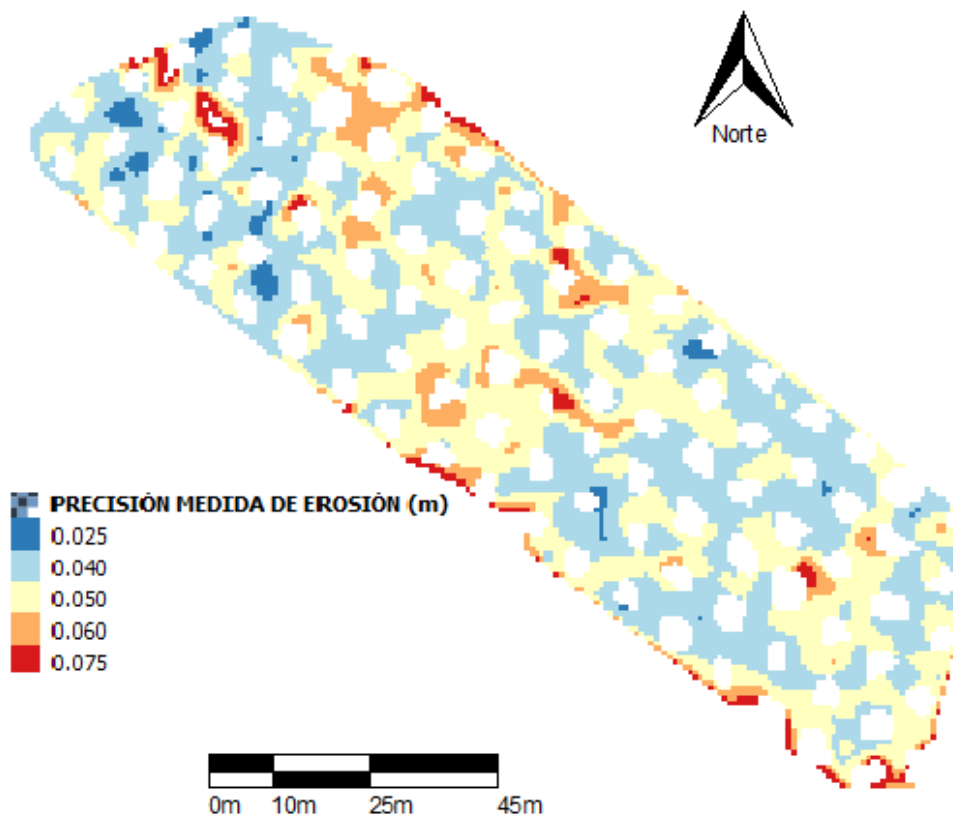


Figura 63. Precisión en la medida de la erosión.

Una vez comparados el modelo de diferencias de los Grids de elevaciones y el modelo de la componente cuadrática de las precisiones obtenidas en la generación de los MDE`s, los resultados obtenidos en metros han sido los siguientes (Tabla 23).

<b>Valor máximo de erosión</b>	-0.175
<b>Valor máximo de reposición</b>	0.202
<b>Valor medio diferencia superficies</b>	0.021
<b>Desviación estándar diferencia superficies</b>	0.034

Tabla 23. Estadísticas de comparación del modelo de diferencias de Grids de elevaciones frente a modelo de composición de precisión de MDE`s generados

En la Fig. 64 podemos ver el resultado de discriminar las diferencias en los Grids de elevaciones basándonos en la precisión obtenida en la medida de la erosión.

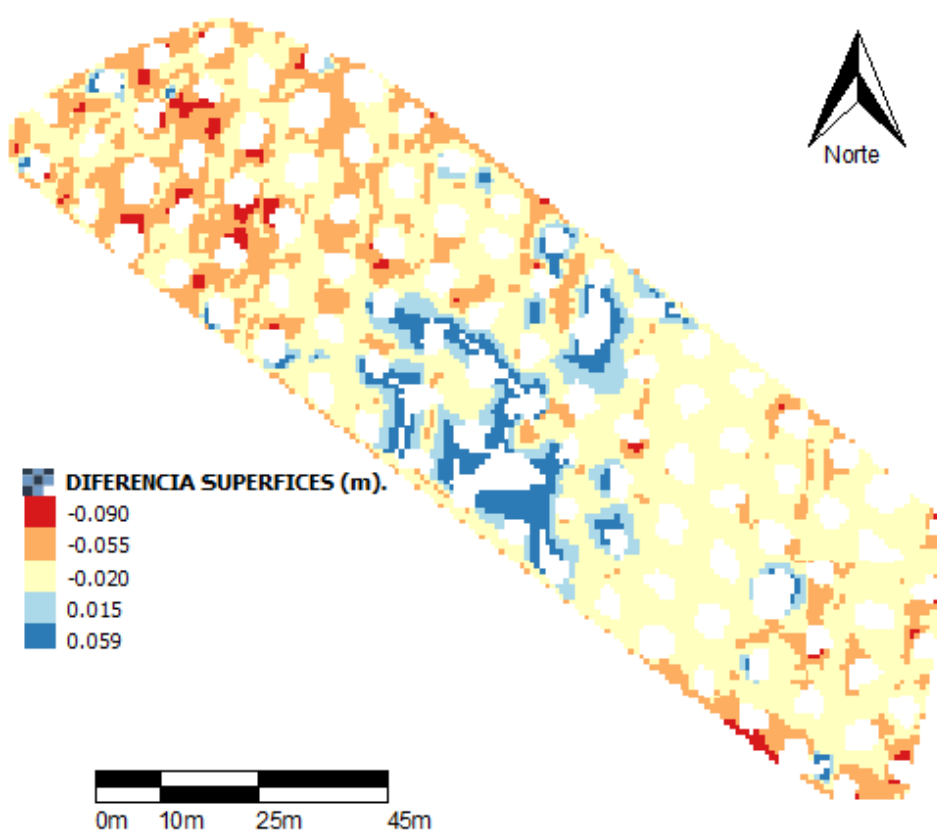


Figura 64. Resultado de la comparación del modelo de diferencia de Grids frente al modelo de composición de la precisión en la generación de los MDE`s.

A continuación una ilustración (Fig. 65) donde podemos comparar los resultados obtenidos en el caso de modelo de diferencias de Grids de elevaciones donde no se han discriminado las diferencias por debajo del error cometido en la composición de la precisión de los MDE`s (Figura 65 izquierda) con los resultados obtenidos una vez se han filtrado las diferencias en los Grids de elevaciones en función del criterio explicado anteriormente.

ilámbrica 2D

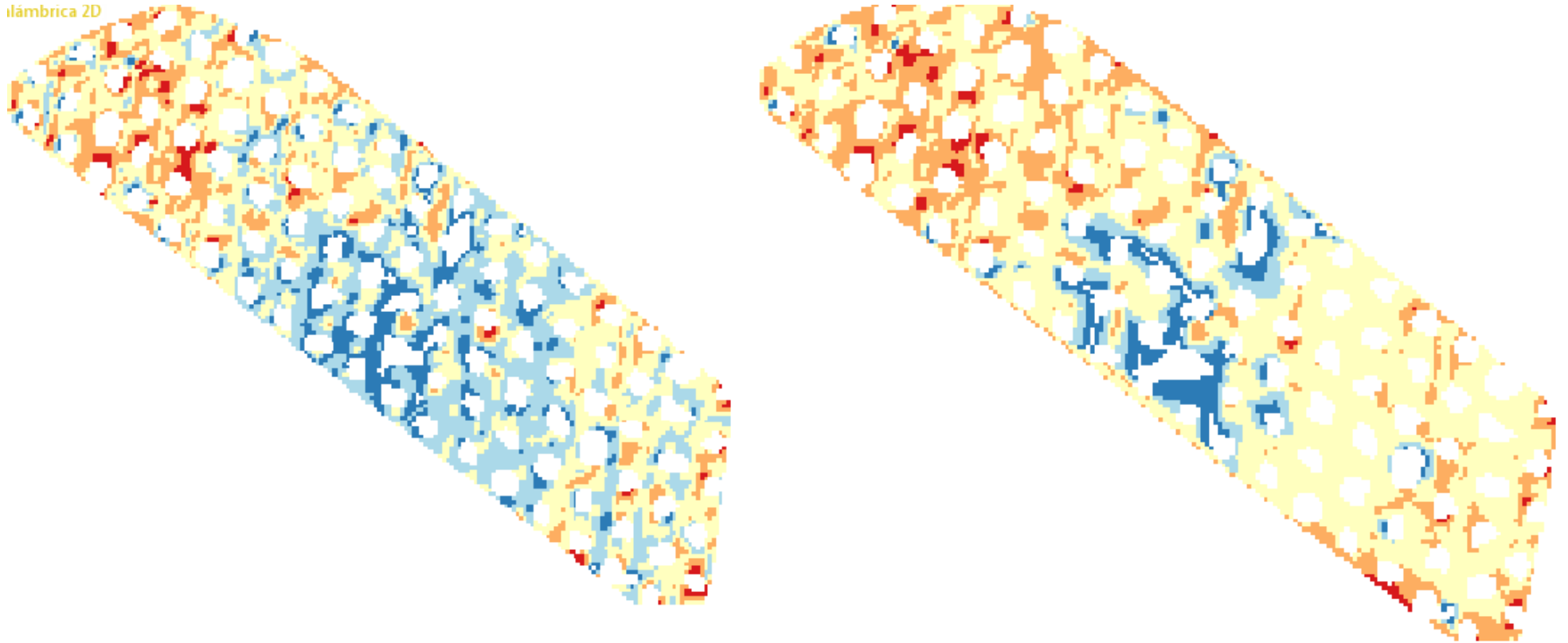


Figura 65. Comparación del modelo de diferencia de Grids de elevaciones (Figura 65 izquierda) frente al modelo de diferencia de Grids de elevaciones una vez discriminadas las diferencias por debajo del error calculado en la composición de las precisiones para cada MDE (Figura 65 derecha).

Como podemos observar en la Fig. 65, en el caso en el que hemos discriminado las diferencias cuya valor es inferior al cometido en la composición de los errores en la generación de los MDE's (Figura 65 derecha), la superficie se ha "suavizado" en cuanto a que los tonos más claros, donde se representa la menor variación han aumentado, realizándose el contraste con los valores en los que la diferencia de superficie si que es mayor que el error cometido en la composición de los errores en la generación de los MDE's.

### 5.5.- ESTUDIO DE LA EROSIÓN SEGÚN MANEJO DEL SUELO.

Como se ha indicado en apartados anteriores, el objetivo de este proyecto es el estudio de las variaciones sufridas en la superficie en función del Manejo del Suelo llevado a cabo sobre ella. Con los procesos llevados a cabo y con los datos obtenidos hasta este punto, nos encontramos en condiciones de realizar dicho análisis.

Para ello dividiremos la zona de medida atendiendo al apartado 3.3.2 (Descripción de los diferentes manejos del suelo llevados a cabo en la zona de medida), y superpondremos esta división sobre el modelo de diferencias de Grids, con el objetivo de obtener valores asociados en materia de erosión para cada zona en la que el manejo del suelo es diferente.

De esta manera, en la Fig. 66 vemos un ejemplo de esta superposición donde solo están presentes los puntos donde las diferencias de los Grids de elevaciones han sido significativas.

A continuación mediante la herramienta "Clipper" del software Qgis, dividiremos la malla con el objetivo de obtener resultados cuantitativos en materia de erosión mediante el tratamiento de los atributos asociados a dichos puntos.

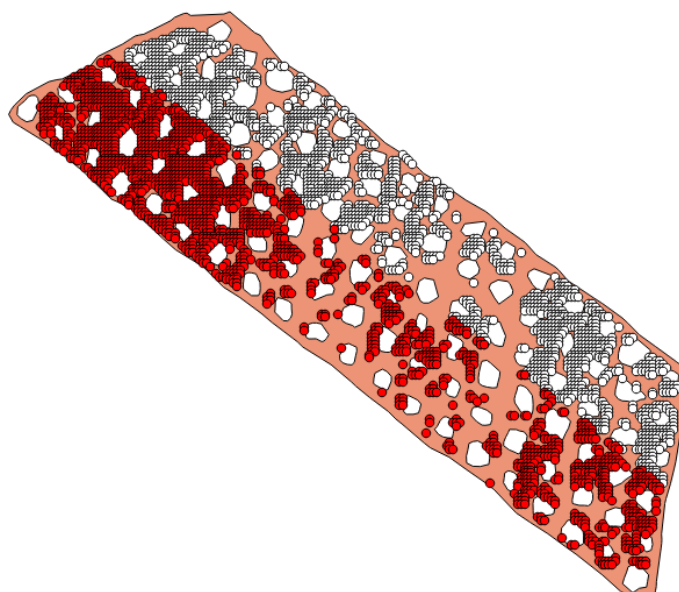


Figura 66. Ejemplo de superposición de capas para análisis de erosión en parcelas donde el manejo del suelo es diferente.

Los resultados obtenidos una vez procesados los datos son los presentes en la Tabla 23. Dado que las diferencias entre los Grids las obtenemos en metros, el volumen de cada celda corresponderá al prisma de base cuadrada, de lado 1 m y de altura igual al valor de pérdida de suelo.

Parcela	Superficie (ha)	Vol. erosión (m <sup>3</sup> )	Vol. Reposición (m <sup>3</sup> )	Diferencia (m <sup>3</sup> )	Pérdida (m <sup>3</sup> /ha)
<b>A_CVIF</b>	0.7236	38.363	2.542	-35.821	-49.504
<b>B_CVTT</b>	0.6187	36.489	0.955	-35.534	-57.434
<b>Total</b>	1.3423	74.853	3.497	-71.356	-53.159

Tabla 23. Datos de erosión relativos a cada parcela donde el Manejo del Suelo es diferente.

A la vista de estos resultados (Tabla 23) observamos que los valores de erosión (Tabla 23, Columna Vol. Erosión (m<sup>3</sup>)) para ambas zonas en las que el Manejo del Suelo es diferente no existen diferencias significativas, si bien cabe destacar que los valores de reposición (Tabla 23, Columna Vol. reposición (m<sup>3</sup>)) son ligeramente superiores en el caso en el que Manejo del Suelo se trata de Cubierta Vegetal Interfilas (B\_CVIF). Este hecho puede venir dado por la existencia de una zona en la que la pendiente es poco pronunciada, por lo que el depósito de sedimentos puede ser más probable.

Respecto a los valores resultantes de calcular la diferencia entre los valores de erosión y reposición (Tabla 23, Columna Diferencia (m<sup>3</sup>)), estos valores son prácticamente idénticos, hecho no contrastable ya que tenemos que tener en cuenta el valor de la superficie asociada a cada zona. Teniendo en cuenta esto último, los valores de pérdida de suelo (Tabla 23, Columna Pérdida (m<sup>3</sup>/ha)) son mayores en el caso en el que el Manejo del Suelo se trata de Cubierta Vegetal a Todo Terreno.

Por lo tanto, podemos concluir que la pérdida total de suelo ocasionada en el intervalo transcurrido entre las distintas campañas de medición ha sido mayor en el caso en el que el Manejo del Suelo se trata de Cubierta Vegetal a Todo Terreno si bien habría que destacar que los valores de erosión son muy similares, para el caso de Cubierta Vegetal Interfilas existe una zona donde los valores de reposición han sido muy significativos con lo que se acentúa la diferencias resultantes entre los valores de erosión y reposición.



## 6.- CONCLUSIONES.

Comenzamos este apartado realizando un análisis sobre la metodología establecida para la consecución del objetivo final marcado en este proyecto que es el de modelar y cuantificar las variaciones sufridas sobre la superficie del terreno en función del Manejo del Suelo llevado a cabo. En todo momento se ha centrado la atención en la búsqueda de técnicas que minimicen los errores cometidos tanto en la toma de datos como en el tratamiento de éstos. Respecto a la toma de datos, las técnicas y metodologías empleadas han ofrecido unos niveles de precisión suficientes para el desarrollo de este trabajo en un tiempo de medición razonable (1200-1400 puntos/día). En cuanto al tratamiento de los datos obtenidos, muchas han sido las herramientas y recursos empleados en la generación, análisis y extracción de información espacial tanto que esta parte de la metodología (tratamiento de los datos obtenidos) ha resultado muy tediosa, echando en falta un software que aúne todas las herramientas necesarias para tratamiento de datos espaciales, aun así esta parte del proceso ha resultado satisfactoria a la vez que fructífera en cuanto al descubrimiento y aprendizaje de técnicas de tratamiento y extracción de información espacial

Una vez alcanzado nuestro objetivo es el momento de extraer conclusiones, y aunque no hemos sido capaces de identificar tendencias claras en materia de erosión asociadas al Manejo del Suelo, si que hemos obtenido resultados significativos en cuanto al modelado de variaciones en las superficies medidas. Dicho esto y siendo conocedores a pie de campo de las características de la zona de medida, las variaciones sufridas se corresponden con las esperadas dado que en las zonas con mayor pendiente las variaciones se han visto reflejadas en forma de pérdidas de suelo al igual que para las zonas donde la pendiente es escasa o nula las variaciones obtenidas se han reflejando en forma de incremento de suelo, por lo que el uso de esta metodología resulta óptimo en el modelado de variaciones sufridas en la superficie del terreno.

Por otro lado realizando un análisis cuantitativo de los resultados, los valores de pérdida de suelo se encuentran en el intervalo definido por el REDIAM como “Moderado” (Apartado 2.1.- LA EROSIÓN Y EL OLIVAR, Figura 5).

Refiriéndonos ahora a las diferencias que esperábamos encontrar en las zonas donde el Manejo del Suelo es diferente, decir que los resultados obtenidos a partir de la metodología empleada no reflejan, en principio, lo esperado. En un primer razonamiento, esperábamos que los resultados en cuanto a pérdidas de suelo fueran menores en el caso del tipo del Manejo del Suelo “Cubierta Vegetal a Todo Terreno”, dado que se supone que a mayor cobertura del suelo, o dicho de otro modo, a menor porcentaje de suelo desnudo, estas pérdidas fueran menores que en el caso del tipo de Manejo del Suelo “Cubierta Vegetal Interfilas”, por lo que este estudio no ha servido para corroborar tal suposición. De todas formas, dado que el intervalo transcurrido entre las campañas de medición ha sido relativamente corto (menos de 1 año) junto con una pluviometría escasa (155.7mm), el resultado del análisis anterior no resulta concluyente,

por lo que sería necesario continuar con este estudio por varias campañas y así realizar un análisis más amplio.



## 7.- BIBLIOGRAFÍA.

### Libros y Tesis:

- Ramos Galán, M. Isabel. Tesis Doctoral “**Análisis de la erosión de terrenos de olivar mediante control geodésico de deformaciones**”. Universidad de Jaén. Junio 2008..
- **Cubiertas vegetales en olivar**, Edita: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, Pública: Viceconsejería. Servicio de Publicaciones y Divulgación.
- **Manejo del Suelo en el Olivar**: M<sup>a</sup> Milagros Saavedra, CIFA Alameda del Obispo, IFAPA-CICE- Junta de Andalucía.
- **Laboreo de conservación**: González Barragán, María Isabel, edita: Excma. Diputación de Valladolid.

### Páginas WEB:

- Red de Información Ambiental de Andalucía:  
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.
- Red de Información Agroclimática.  
<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/ria/servlet/FrontController>.
- Red Andaluza de Posicionamiento (RAP).  
<http://www.ideandalucia.es/portal/web/portal-posicionamiento/rap>.
- International GNSS Service.  
[https://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods\\_cb.html](https://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html).
- Wikipedia. <https://es.wikipedia.org/wiki/Torreperogil>.  
[https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_informacion\\_geografica](https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_informacion_geografica).
- Instituto Geográfico Nacional: <http://www.ign.es/ign/main/index.do>.
- Centro Nacional de Información Geográfica:  
<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>.
- Google Earth.
- SmarNet Spain. [http://es.smartnet-eu.com/como-funciona\\_20.htm](http://es.smartnet-eu.com/como-funciona_20.htm)