

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

ESCUELA POLITÉCNICA DE MIERES

MÁSTER UNIVERSITARIO EN TELEDETECCIÓN Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

**DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA
ÁREA DE GEODINÁMICA EXTERNA**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER
ESTUDIO TÉCNICO**

ANÁLISIS DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE UN MUESTREO DE MONTAÑA

AUTOR: JAIME FARIÑAS GARCÍA

DIRECCIÓN: ROSANA MENÉNDEZ DUARTE

ELENA FERNÁNDEZ IGLESIAS

FEBRERO, 2013



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción y objetivos	2
2. ZONA DE ESTUDIO Y MUESTREO.....	4
2.1 Situación del área de estudio.....	5
2.2 Muestreo.....	5
2.2.1 Situación de las áreas de muestreo	8
3. ANTECEDENTES	10
3.1 Sistemas de Referencia Geodésicos	11
3.1.1 Sistema de Referencia WGS84	11
3.1.2 Sistema de Referencia ED-50.....	12
3.1.3 Sistema de Referencia ETRS89	13
3.1.4 Sistema de Referencia Altimétrico	14
3.2 Sistema GPS	14
3.2.1 Receptores GPS	14
3.2.2 Descripción de los receptores GPS.....	15
3.2.3 Tratamiento de los datos GPS	16
3.2.4 Observables GPS y medida de distancias a satélites	17
3.2.5 Incertidumbres en las observaciones GPS	17
3.2.6 Métodos y aplicaciones de posicionamiento GPS.....	18



3.2.7 Aplicación de un Modelo del Geoide para la obtención de alturas ortométricas	20
3.3 Modelos Digitales del Terreno	24
3.3.1 Introducción.....	24
3.3.2 Modelo Digital de Elevaciones	25
3.3.3 Modelos derivados del MDE	30
4. METODOLOGÍA	35
4.1 Trabajo de campo.....	36
4.1.1 Equipo empleado	36
4.1.2 Colocación de los instrumentos y antenas	39
4.1.3 Observación	39
4.1.4 Post-Observación.....	40
4.2 Procesamiento de datos	40
4.3 Edición con ArcGIS.....	45
4.3.1 Preparación de la cartografía	45
4.3.2 Creación de los MDE	48
4.3.3 Lectura de los puntos medidos con GPS diferencial y cálculo de los valores en los MDE	51
4.3.4 Lectura de los puntos de muestreo y cálculo de valores en los MDT	54
5. RESULTADOS.....	57
5.1 Localizaciones GPS: Datos de altitud.....	58
5.2 Representación gráfica de los MDE para la zona del Mocosu.....	58
5.2.1 MDE creados mediante "TIN".....	58
5.2.2 MDE creados mediante "Topo To Raster"	60
5.3 Resultados obtenidos para el ajuste de los MDE en la zona del Mocosu	61



5.3.1 MDE tamaño de celda de 10m.....	62
5.3.2 MDE tamaño de celda de 20m.....	63
5.3.3 MDE tamaño de celda de 30m.....	64
5.4 Análisis de los resultados obtenidos para el ajuste de los MDE zona del Mocosu	65
5.5 Representación gráfica de Modelos Digitales del Terreno derivados	66
5.5.1 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Pendientes.....	66
5.5.2 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Curvatura	67
5.5.3 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Índice de Relieve	69
5.6 Caracterización del muestreo	70
5.6.1 Resultados de la caracterización para la zona del Mocosu.....	71
5.6.2 Resultados de la caracterización para la zona de Cuarcita-Bosque	72
5.6.3 Resultados de la caracterización para la zona de Cuarcita-Brezal ..	73
5.6.4 Resultados de la caracterización para la zona de La Vid- Bosque ..	73
6. CONCLUSIONES	74
7. BIBLIOGRAFÍA	77
RESEÑA.....
ANEXOS.....
PLANO.....



1. INTRODUCCIÓN



1.1 Introducción y objetivos

Desde su generalización en la década de los noventa los Modelos Digitales del Terreno (*MDT*) son herramientas imprescindibles para la descripción del relieve y ampliamente utilizadas en diferentes estudios del medio natural: geología, geomorfología, edafología, etc. (*Felicísimo, 1990*). En el presente trabajo se plantea el uso de varios *MDT* para la caracterización de un muestreo de suelos realizado en un área de montaña y que permitirá hacer estimaciones de tasas de erosión del suelo.

La construcción de un Modelo Digital de Elevaciones (*MDE*) siempre conlleva un grado de error que dependerá de la bondad de los datos originales y de las técnicas de interpolación utilizadas en su construcción. A pesar de esto, en la mayoría de los trabajos en los que se utilizan datos derivados de un *MDE*, no se hace una valoración previa de la precisión de los modelos; esta valoración permite, por ejemplo, seleccionar el más preciso de los disponibles o conocer el grado de error del modelo que va a ser utilizado. Algunos ejemplos de valoración de bondad de los *MDE* son los trabajos de *Li (1993)*, *Yang, X. and T. Doler (2000)*, *Kraus (2006)* o *Racoviteanu et al. (2007)*. En el presente trabajo se valora la precisión de varios *MDE*, contruidos según dos algoritmos diferentes y, para cada algoritmo, con diferentes tamaños de celda. El modelo que arroje un error menor será el seleccionado para la caracterización del muestreo de suelos.

Para contrastar la calidad de los *MDE*, una metodología válida es la comparación de las elevaciones dadas por el modelo con valores de elevación de alta precisión. Estos valores de elevación de alta precisión pueden ser obtenidos mediante técnicas GPS diferencial. Esta técnica es aplicada por ejemplo en el trabajo de (*Pérez Martín, 2008*) y también ha sido la seguida en el presente trabajo.

Las técnicas GPS diferenciales nos permiten realizar levantamientos topográficos muy precisos, llegando a obtener desde precisiones centimétricas en el caso de usar métodos relativos cinemáticos (*RTK*) hasta precisiones milimétricas si empleamos métodos relativos estáticos. Debido a la exactitud



que podemos alcanzar, los valores obtenidos para los puntos los podremos considerar como reales y emplearlos a posteriori para comprobar el grado de ajuste que ofrecen los MDE. En este trabajo lo comparamos con varios MDE creados utilizando distintos métodos de interpolación a partir de datos de la cartografía 1:5000 del Principado de Asturias.

De acuerdo con lo expuesto, el objetivo central del presente trabajo ha sido elaborar un MDE del área de estudio, lo más preciso posible, a partir de la topografía de más detalle disponible, y, a partir de éste, cuantificar varios descriptores del relieve de localidades en las que existe un muestreo de suelos previo.

Para alcanzarlo, se realizarán las siguientes etapas:

- *Selección y lectura de la topografía de más detalle disponible.*
- *Realización de un levantamiento GPS diferencial para un sector del área de estudio.*
- *Construcción de MDE siguiendo diferentes algoritmos y con diferente tamaño de celda.*
- *Comparación de los valores de elevación del levantamiento GPS con cada uno de los modelos elaborados y estimación del error.*
- *Selección del MDE con menor error y utilización del mismo para construir MDT derivados (pendiente, curvatura e índice de relieve).*
- *Cruce de los MDT con las localidades de muestreo y obtención de los parámetros de relieve para cada muestra.*



2. ZONA DE ESTUDIO Y MUESTREO



2.1 Situación del área de estudio

Como área de estudio se ha seleccionado un perfil de ladera en la cara Sur del Monte Mocosu (1990m) perteneciente al Concejo de Somiedo, situado en la zona Suroccidental de la Comunidad Autónoma de Asturias.

Para acceder hay que circular por la carretera del Puerto de Somiedo (As-227) hasta la Braña de la Peral donde hay que desviarse en dirección La Peral. Al llegar a este núcleo rural, continuar recto hasta encontrarse con una pista forestal de cemento, por la que se circulara aproximadamente 1,5km hasta que se acaba el pavimento y empieza a ser de tierra. Seguir aproximadamente 500m hasta sobrepasar una cerca de animales situada al lado de dos fuentes.

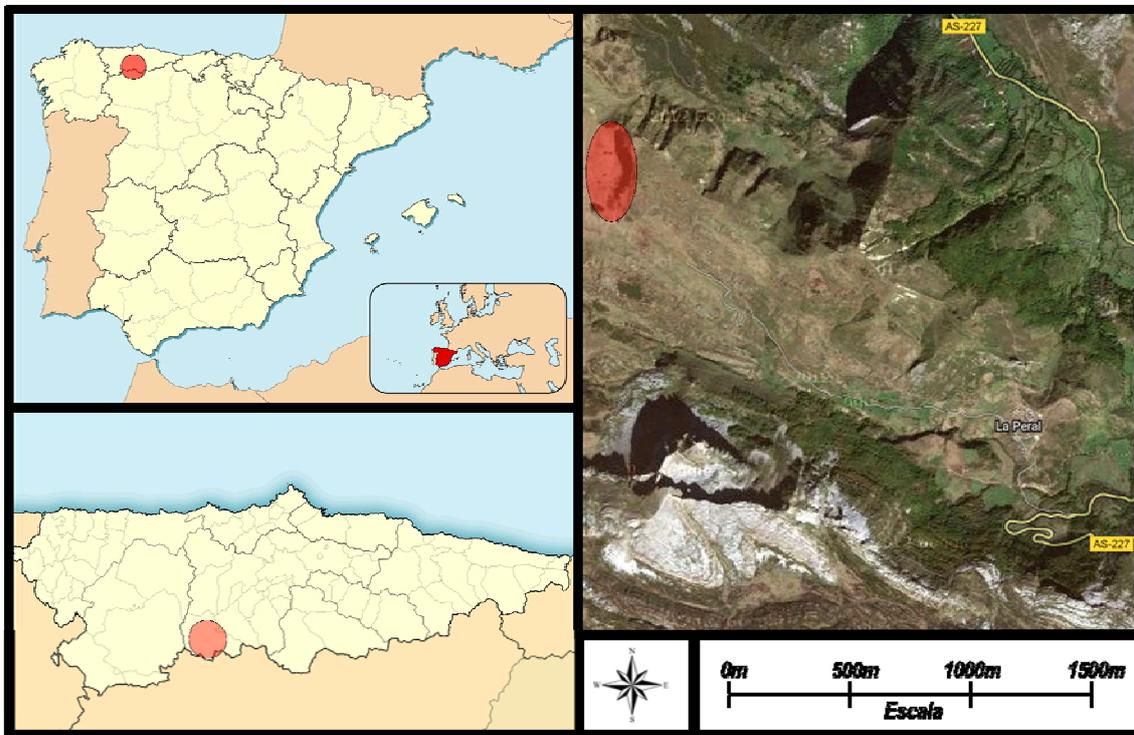


Figura 1. Situación del área de estudio, zona del Mocosu.

2.2 Muestreo

Como ya se ha comentado en la introducción, los Modelos Digitales del Terreno que se obtengan en este trabajo serán utilizados para caracterizar el relieve en un muestreo de suelos. A continuación se describe brevemente este



muestreo y sus objetivos; aunque estos queden fuera del ámbito del presente estudio permiten establecer el contexto del trabajo.

En las áreas de estudio se han tomado muestras de suelos en cuatro laderas (*Figuras 3 y 4*). En cada una de ellas se realizó un transecto, desde la parte superior a la inferior de la ladera, siguiendo de modo aproximado la línea de máxima pendiente. El espaciado entre muestras fue de 20m y el número de muestras tomadas variable, dependiendo de la longitud de la ladera.

En las muestras de suelo se medirá el contenido del isótopo ^{137}Cs . Este isótopo se produce de manera artificial en reacciones nucleares y se inyecta en la atmósfera. Posteriormente regresa a la superficie terrestre con las precipitaciones y se adhiere a las partículas finas del suelo y a la materia orgánica. Desde este momento, el ^{137}Cs queda incorporado al suelo y se redistribuye con él en los procesos de erosión y/o sedimentación.

La entrada de ^{137}Cs en la atmósfera fue muy importante en los años 50 y 60 del siglo pasado, a partir de 1965 cesaron los ensayos nucleares de EEUU y la Unión Soviética y se considera que a partir de este año cesa la incorporación de ^{137}Cs a la atmósfera y al suelo (*únicamente se registra un pico en relación con el accidente nuclear de Chernobyl de 1986*).

Con carácter general, desde este "momento cero" en 1965 las cantidades de ^{137}Cs en el suelo han aumentado en las zonas en las que se produce sedimentación (*se acumula suelo y con él el isótopo*) y ha disminuido en las zonas con erosión (*se pierde suelo y con él el isótopo*). Midiendo la cantidad de ^{137}Cs existente en el suelo, comparando esta cantidad con la existente en localidades de referencia, y aplicando diferentes ecuaciones se han desarrollado métodos que permiten conocer la tasa de erosión del suelo, desde el año 1965 al año de toma de las muestras (*Walling y He, 1999*). En la figura 2 se ilustra el principio del método.

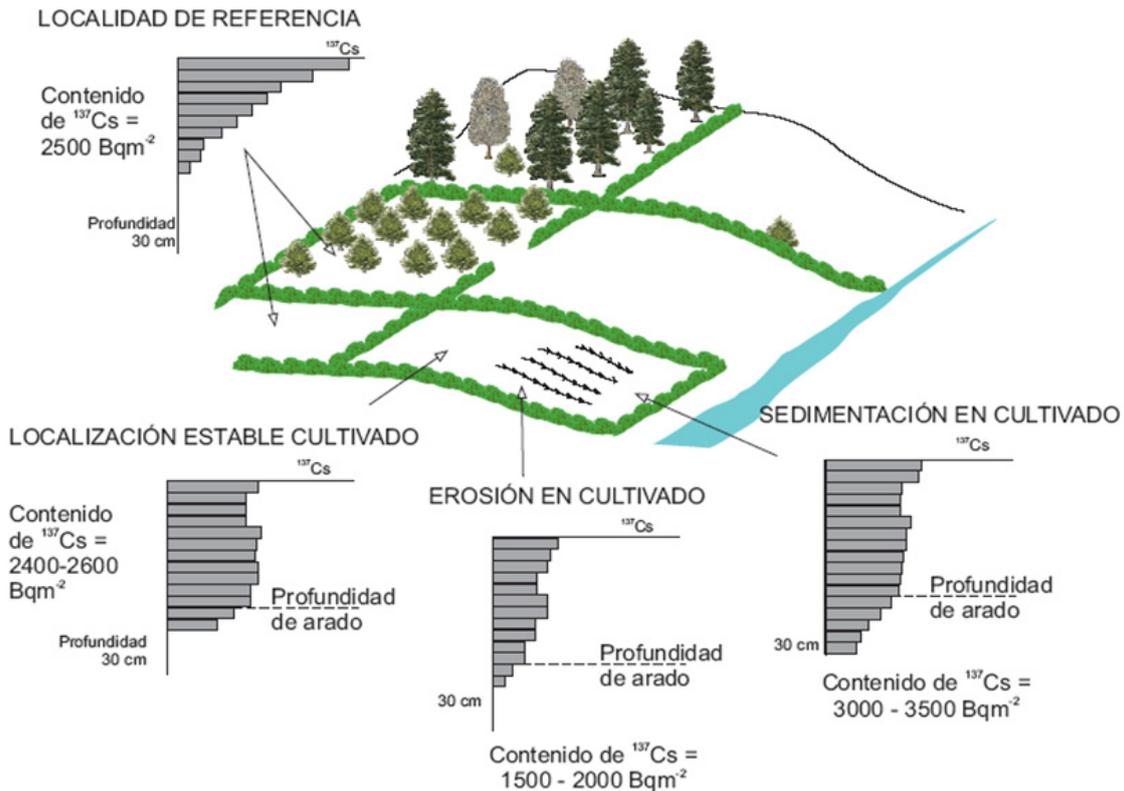


Figura 2. Representación de los contenidos en ^{137}Cs esperables en suelos con diferentes condiciones de erosión y arado para una misma zona. La localidad de referencia representa una situación en la que todo el ^{137}Cs caído se mantiene en el suelo, no ha habido erosión ni sedimentación y tampoco procesos de arado que modifiquen la distribución en el perfil. En las localidades con erosión (pérdida de suelo) el contenido total de ^{137}Cs en el suelo es inferior al de la localidad de referencia, mientras que en las localidades con sedimentación (acumulación de suelo) el contenido total de ^{137}Cs en el suelo es superior al de la localidad de referencia. (Tomado de Walling y Quine, 1991).

Este método es el que será aplicado en las laderas muestreadas en el área de estudio, con el fin de conocer la tasa de erosión en laderas que han sufrido incendios forestales y que actualmente tienen una vegetación arbustiva y en laderas que no han sufrido incendios y tienen una vegetación de bosque. También se intentará medir la erosión en laderas con diferente substrato geológico.

La erosión del suelo es un proceso dependiente de numerosos factores: el clima, el tipo de suelo, el tipo de vegetación y también el relieve. En principio, con mayor pendiente, en zonas convexas o con alto índice de relieve cabe esperar que la erosión sea más importante; en numerosos trabajos se



establecen relaciones erosión – relieve para diferentes ámbitos climáticos o diferentes condiciones de vegetación. Esta relación justifica la importancia de disponer de un MDT fiable para el estudio de erosión. El cruce de diferentes MDT con cada punto de muestreo permitirá caracterizar el relieve del punto y será un factor más a tener en cuenta al interpretar los valores de erosión que se obtengan con el análisis de ^{137}Cs .

2.2.1 Situación de las áreas de muestreo

Para el estudio se han seleccionado 4 laderas con distintos sustratos geológicos y distinta vegetación situadas también en el concejo de Somiedo. La primera es la ladera en la que se realizó el levantamiento GPS mostrada en la Figura 1. La segunda cuyo sustrato geológico está compuesto por el grupo La Vid y tiene vegetación de bosque (*Figura 3*) se halla a unos 5km al Noroeste del Monte Mocosu. Para llegar a ella habrá que continuar por la carretera As-227 hasta Pola de Somiedo, donde nos desviaremos en dirección Perlunes/Aguino continuando por este ramal unos 10km aproximadamente.

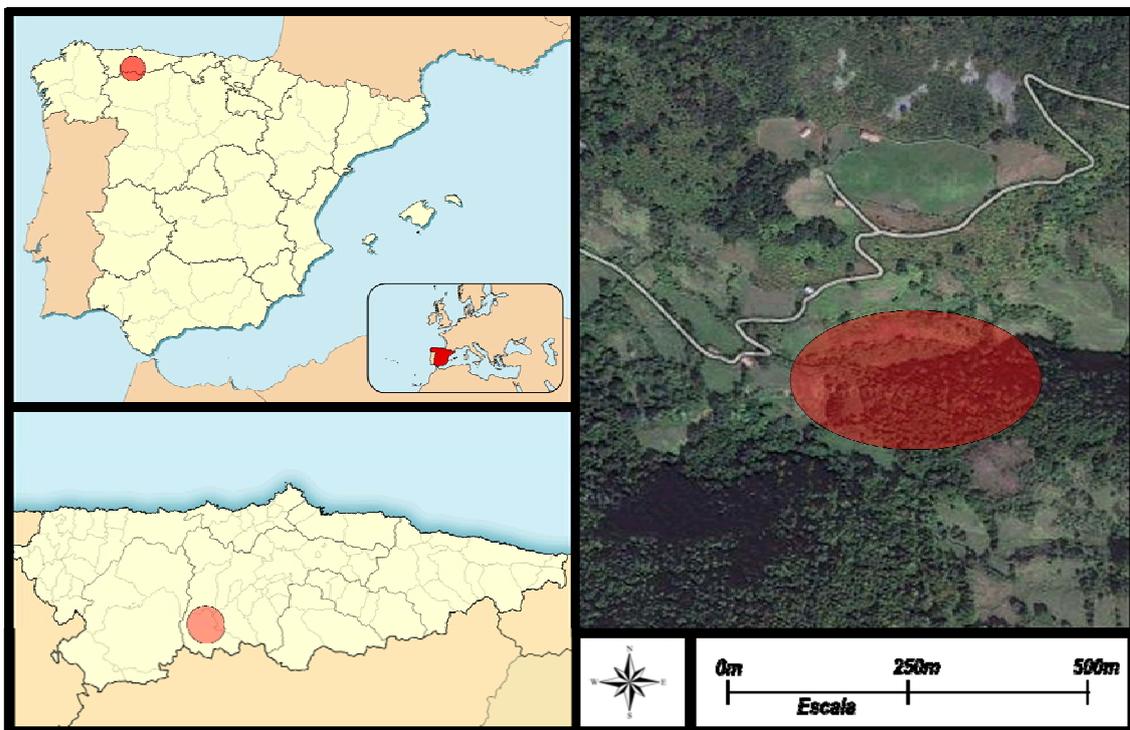


Figura 3. Situación del área de muestreo, zona de La Vid-Bosque.



Las otras dos zonas se encuentran en distintas laderas de la misma montaña, situada aproximadamente 2km hacia el Oeste del núcleo rural "La Rebollada". Ambas tienen el sustrato geológico formado por cuarcita, pero varía la cubierta del terreno, siendo la zona A de brezal y la zona B de bosque (Figura 4).

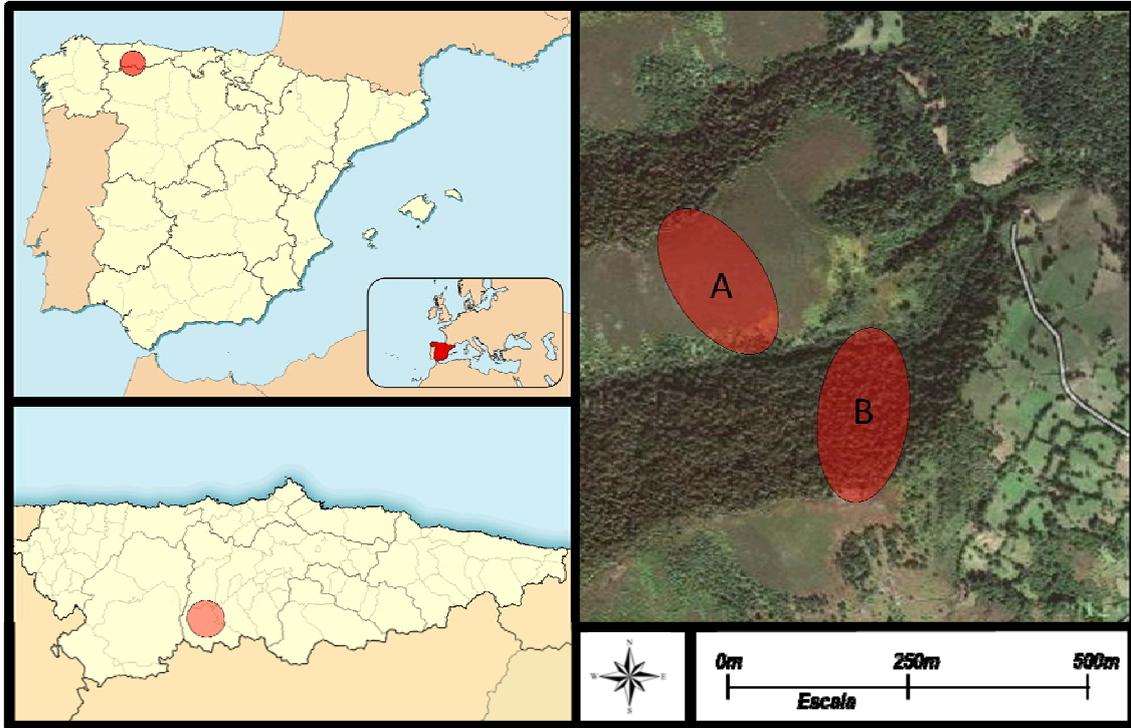


Figura 4. Situación de las áreas de muestreo de Cuarcita-Brezal (A) y de Cuarcita-Bosque (B).



3. ANTECEDENTES



3.1 Sistemas de Referencia Geodésicos

A lo largo de la historia diversos elipsoides se han utilizado para definir el Sistema de Referencia de cada país. Hasta 1924, cada nación hacía uso del elipsoide que mejor se adaptaba a su superficie, y así la Geodesia Española se refirió al elipsoide de Struve. En 1970, se adoptó el ED50 como sistema de referencia para la Península Ibérica y en las Islas Canarias el sistema REGCAN95. Sobre estos sistemas se realizó toda la cartografía oficial.

La Subcomisión de la Asociación Internacional de Geodesia (*IAG*) para el marco de referencia europeo (*EUREF*) , recomendó que se debiera adoptar para Europa el Sistema de Referencia Terrestre denominado European Terrestrial Reference System 1989 (*ETRS89*).

El Real Decreto 1071/2007 establece ETRS89 como sistema de referencia geodésico oficial en España para la referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península Ibérica y las Islas Baleares. Para las Islas Canarias se estableció en sistema REGCAN95.

Ambos sistemas tienen asociado el elipsoide GRS80 y están materializados por el marco que define la Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales, Red REGENTE. A continuación se detallan los sistemas de referencia utilizado.

Para la explicación de los sistemas de referencia geodésicos, el método GPS y la aplicación del modelo del Geoide EGM08 nos apoyaremos en información de la guía de aprendizaje de Topografía de la Universidad Politécnica de Madrid de Mercedes Farjas, y en la página web del Instituto Geográfico Nacional.

3.1.1 Sistema de Referencia WGS84

El Sistema de Referencia WGS84 es el sistema de referencia asociado al Sistema de Posicionamiento global (*GPS*). El primer elipsoide global de referencia se estableció en 1960 y ha sido mejorado (1966, 1972) hasta su versión actual denominada WGS84 (*definido en 1984*).

Queda definido por los siguientes parámetros:



- *Origen:* Centro de masa de la Tierra.
- *Sistemas de ejes coordenados:*
 - *Eje Z:* Dirección del polo de referencia del IERS -The International Earth Rotation Service.
 - *Eje X:* Intersección del meridiano origen definido en 1984 por el BIH y el plano del Ecuador (*incertidumbre de 0.005"*).
 - *Eje Y:* Eje perpendicular a los dos anteriores y coincidentes en el origen.
- *Elipsoide WGS84:* elipsoide de revolución definido por los parámetros:
 - *Semieje mayor (a):* 6 378 137 m.
 - *Semieje menor (b):* 6 356 752.3142 m.
 - *Achatamiento:* $f= 1/298,257223563$.
- *Constante de Gravitación Terrestre*
 - $GM : 3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- *Velocidad angular:* $\omega = 7,292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$
- *Coeficiente de forma dinámica:* $J_2= -484,166 85 \times 10^{-6}$

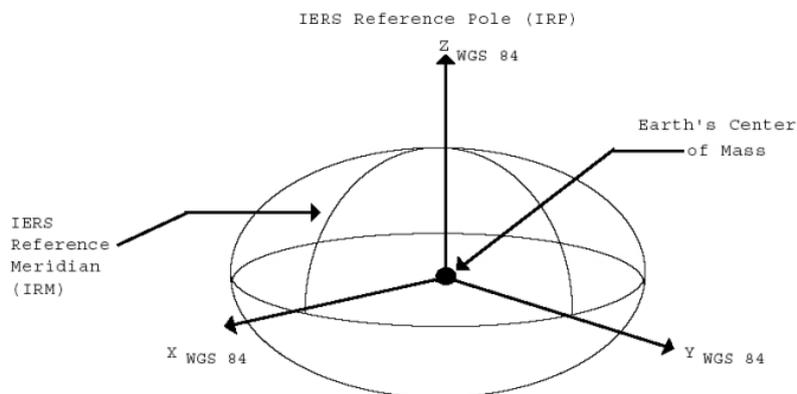


Figura 5. Elipsoide WGS84

3.1.2 Sistema de Referencia ED-50

El sistema de Referencia ED-50 fue el sistema de referencia geodésico español adoptado por el IGN con el Decreto 2303/1970. Es un sistema de referencia local cuyo elipsoide es el de Hayford de 1909, también conocido como internacional de 1924.



El elipsoide de referencia es el elipsoide de Hayford de 1909, que también se conoce como Internacional de 1924. Sus datos geométricos son:

- *Aplanamiento: $\alpha = \frac{1}{297}$*
- *Eje vertical= paralelo al eje de giro de la Tierra.*
- *Semieje mayor = 6378388 m*
- *Semieje menor= 6356912m*
- *Excentricidad al cuadrado(e^2) = 0,006722670022.*

El Datum es la Torre de Herlmert, en Potsdam, Alemania. El meridiano de Greenwich y el ecuador se toman como origen de longitudes y latitudes respectivamente.

El Datum ED50 quedó materializado por los vértices constitutivos del Marco RE50 y actualmente por el marco ROI. Tienen coordenadas elipsoidales o en proyección UTM, la altitud es ortométrica.

3.1.3 Sistema de Referencia ETRS89

La Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) y la Unión Astronómica Internacional (IAU) crearon en 1988 el Servicio de Rotación de la Tierra (IERS), con el fin de proporcionar valores de los parámetros de orientación de la Tierra y sistemas de referencia terrestres y celestes, y con la tarea de promover el Sistema de referencia Terrestre Internacional (ITRS).

La subcomisión EUREF, con el objetivo de crear un sistema que mantuviera unas coordenadas razonablemente estables para Europa, creó un sistema ligado a la placa Europea, denominado ETRS o ETRS89. Para establecer un nuevo Datum y marco se pretendió:

- *Establecer una red de estaciones permanentes GPS.*
- *Establecer una red de referencia geodésica de alta precisión.*
- *Determinar de una red vertical e integrarla en la red de referencia vertical europea GPS.*



Este sistema de referencia lleva asociado el elipsoide GRS80, que tiene leves diferencias respecto al WGS84 en la longitud de los semiejes menores y en el aplanamiento, pero que a nivel de usuario es completamente equivalente.

Es el sistema de referencia oficial en España. Todos los vértices con coordenadas ETRS89 constituyen el marco ETRF89.

3.1.4 Sistema de Referencia Altimétrico

Para la cartografía española se toma como Datum altimétrico el definido por los registros del nivel medio del mar en Alicante y las referencias mareográficas locales para cada una de las islas.

3.2 Sistema GPS

El GPS o sistema de posicionamiento global (*Global Positioning System*) es un sofisticado sistema de orientación y navegación cuyo funcionamiento está basado en la recepción y procesamiento de las informaciones emitidas por una constelación de 24 satélites conocida como NAVSTAR, orbitando en diferentes alturas a unos 20.000 km por encima de la superficie terrestre.

Las trayectorias y la velocidad orbital de cada satélite han sido calculadas de manera que un receptor GPS a cualquier hora del día o de la noche, en cualquier lugar, con independencia de las condiciones meteorológicas, pueda facilitar la posición que ocupa al captar y procesar las señales emitidas por un mínimo de tres satélites.

Como sistema de referencia emplea el WGS1984, explicado anteriormente.

El sistema GPS consta de tres sectores: los satélites, el sistema de control terrestre de los mismos, y los receptores de usuario que recogen las señales enviadas por los satélites y determinan las coordenadas del punto sobre el que se encuentran.

3.2.1 Receptores GPS

Existen dos tipos de receptores GPS, los de medida de pseudodistancias (*código*) tales como navegadores, y los de medida de pseudodistancias y fase,



llamados receptores topográficos o geodésicos, que son los empleados en este proyecto y que explicaremos a continuación.

Los receptores geodésicos son GPS de doble frecuencia. Toman observables de las dos portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de código C/A y P en L1, de código P y L2C en L2, y medidas de fase en L1 y L2.

Estos receptores trabajan en tiempo real o en postproceso alcanzando precisiones del orden de 5mm.+1ppm y disminuyendo los tiempos de observación.

3.2.2 Descripción de los receptores GPS

Los GPS empleados en aplicaciones topográficas constan de los siguientes elementos:

- *Antena GPS*: Recibe y amplifica la señal recibida de los satélites.
- *Receptor GPS*: Ordenador que decodifica la señal recibida por la antena y registra las observaciones.
- *Terminal*: Es un interface de usuario que permite conocer el estado de la recepción, proceso de cálculo, y llevar a cabo la edición de los datos del receptor.



Figura 6. GPS diferencial.



El equipo también está compuesto por trípode, cables especiales, base nivelante y diverso material auxiliar, como podemos observar en la siguiente figura.

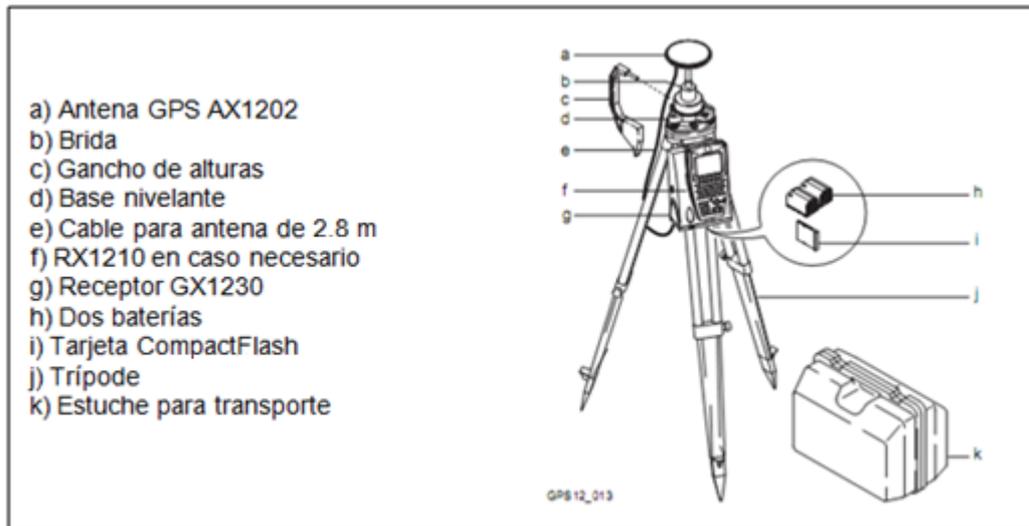


Figura 7. Esquema de un GPS diferencial montado sobre trípode con todos sus elementos.

3.2.3 Tratamiento de los datos GPS

Para el tratamiento de los datos obtenidos con el sistema GPS descrito, generalmente es necesario utilizar un programa informático específico, según la marca del instrumental, aunque cada vez es más frecuente mezclar la información registrada con diferentes receptores, y tratarla con diferentes programas. En programa de tratamiento de datos en general consta de los siguientes módulos:

- *Planificación de observaciones.*
- *Descarga de datos, incluidos los ficheros universales RINEX.*
- *Gestión de proyectos, como unidades de trabajo.*
- *Resolución de “Ambigüedades”, calculando las línea-bases.*
- *Visualizar y editar los datos GPS definitivos.*
- *Ajuste de los datos redundantes.*
- *Cálculo de la transformación del sistema WGS-84 al sistema local.*
- *Edición de las coordenadas definitivas.*



3.2.4 Observables GPS y medida de distancias a satélites

Como hemos dicho, el GPS es un sistema que permite obtener la posición de un punto midiendo las distancias existentes entre las antenas emisoras de los satélites y la antena receptora del equipo de campo.

Calculando la distancia como mínimo a tres satélites e intersectando inversamente en el espacio podremos determinar las coordenadas de la antena receptora, si el reloj del satélite y el reloj del receptor estuviesen sincronizados. En la práctica son necesarios 4 satélites para resolver la cuarta incógnita que es el estado del reloj. La precisión de las coordenadas obtenidas dependerá del tipo de observaciones realizadas y de la metodología empleada en el posicionamiento. Por otra parte la metodología empleada nos permite corregir parte de los errores que afectan a la precisión.

Las observables de tiempo (códigos) son:

- *Código C/A modulado sobre L1.*
- *Código P modulado sobre la portadora L1.*
- *Código P modulado sobre la portadora L2.*
- *Código L2C modulado sobre la portadora L2.*

Observaciones de diferencia de fase:

- *Diferencia de fase de la portadora L1.*
- *Diferencia de fase de la portadora L2.*

3.2.5 Incertidumbres en las observaciones GPS

Los parámetros que van a condicionar en gran medida las precisiones que podamos obtener con el sistema GPS pueden deberse a los satélites, al medio de propagación de la señal o a los receptores. Son los siguientes:

- *Tiempo:* Se origina debido al desfase que existe en la sincronización entre los relojes del satélite y del receptor.
- *Ionosfera:* En esta capa se produce una dispersión de las ondas electromagnéticas enviadas por el satélite que produce una deceleración



inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia. Estos errores se solucionan haciendo una comparación de la información que recibimos empleando las portadoras L1 y L2.

- *Troposfera*: Estos errores aparecen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire, que encuentra a su paso. Para eliminar estos errores se aplican modelos troposféricos ya establecidos.
- *Efecto Multypath*: Se produce cuando la onda sufre reflexiones o choques contra objetos reflectantes en su camino hacia la antena. Para reducir este efecto se requiere disponer de antenas con planos de tierra y sobre todo poner un especial cuidado en el emplazamiento de la misma.

3.2.6 Métodos y aplicaciones de posicionamiento GPS

Podemos clasificar los métodos en función de los siguientes criterios:

- *Según el sistema de referencia*
 - *Absoluto*: Interviene un solo receptor, el cual calcula la posición del punto utilizando medidas de pseudodistancias por código.
 - *Relativo Diferencial*: Se necesitan al menos dos equipos y se determina el incremento de coordenadas entre las antenas de los receptores. Es el método con el que se logran las máximas precisiones.
- *Según el movimiento del receptor*
 - *Estático*: Determina un conjunto único de coordenadas a partir de observaciones realizadas durante un intervalo de tiempo en el cuál el receptor no se desplaza.
 - *Cinemático*: Permite determinar grupos de coordenadas según varía el tiempo y la posición del receptor en el espacio, permitiendo la medición de trayectorias y objetos en movimiento.



- *Según el observable utilizado*
 - *Medida de código:* Se determina a partir de pseudodistancias entre el satélite y el receptor mediante la utilización del código de la portadora.
 - *Medida de fase de la portadora:* Se utiliza la fase de la portadora para realizar la medida de la pseudodistancia. Requiere trabajar en modo diferencial o relativo.
- *Momento de obtención de coordenadas*
 - *Tiempo real:* Las coordenadas se obtienen en el momento de la observación.
 - *Postproceso:* Las coordenadas se calculan en gabinete una vez finalizada la observación.

A partir de la combinación de estos métodos puros, surgirán los siguientes métodos de observación propiamente dichos:

- *Estático absoluto (pseudodistancias).*
- *Cinemático absoluto (pseudodistancias).*
- *Estático relativo.*
 - *Estándar.*
 - *Rápido.*
- *Cinemático relativo (pseudodistancia y fase).*
 - *Cinemático (postproceso).*
 - *RTK (fase, tiempo real, Real Time Kinematic).*
 - *RT-DGPS (código, Real Time Diferencial GPS).*

Los métodos de posicionamiento GPS aplicados en este proyecto utilizan la medida de fase para la determinación de la línea base entre el receptor fijo y el receptor móvil, los cuales se explican a continuación.

3.2.6.1 Método Estático Relativo Estándar

Este método es el empleado para determinar el punto base del levantamiento en la ladera. Se trata del clásico posicionamiento para la medida de distancias con gran precisión ($5mm + 1ppm$) en el que dos o más receptores se



estacionan y observan durante un periodo mínimo de media hora, o más tiempo, según la redundancia y precisión necesarias, y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar.

Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos. Este método es el empleado para medir distancias mayores de 20 km con toda precisión.

3.2.6.2 Posicionamiento Relativo Cinemático

Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica ($1 \text{ ó } 2 \text{ cm} + 1\text{ppm}$). Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos.

Para este levantamiento se utilizan 2 receptores con equipo de radio-modem, un trípode rígido, un bastón y un flexómetro. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil se desplazará por todos los puntos que queremos determinar sus coordenadas. Precisa de transmisión de información por algún sistema de telecomunicaciones (*vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros*) entre el receptor de referencia y el móvil.

Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente.

3.2.7 Aplicación de un Modelo del Geoide para la obtención de alturas ortométricas

Para obtener datos de altitud precisos a partir de las medidas de campo es necesario aplicar un modelo de corrección de alturas. El modelo del geoide EGM08, que es el que vamos a emplear nos permite obtener alturas ortométricas a través de observaciones GPS de forma muy precisa. Para explicar su funcionamiento, se debe conocer primero que es el geoide, el elipsoide y la relación que existe entre ellos.



3.2.7.1 Geoide

El geoide se define como la superficie equipotencial que es perpendicular en todos sus puntos a la dirección de la gravedad resultante de la atracción terrestre y la fuerza centrífuga originada por la rotación terrestre.

La superficie del Geoide coincide aproximadamente con el nivel medio de las aguas oceánicas, supuestas en calma y prolongadas imaginariamente por debajo de los continentes. Se le considera como la superficie de referencia altimétrica utilizada para la representación de las alturas y del relieve topográfico.

3.2.7.2 Elipsoide

Cuando se efectúan cálculos de posiciones, distancias, etc. sobre puntos de la tierra, se requiere que esos cálculos matemáticos se efectúe sobre la superficie de un cuerpo geométrico que responda a las leyes matemáticas. El cuerpo geométrico que más se aproxima a la forma del geoide, es el elipsoide de revolución, que es la superficie generada por una elipse que gira alrededor de su eje de simetría menor. De esta manera, sobre la superficie del elipsoide, se pueden efectuar los cálculos angulares de posicionamiento y los cálculos de distancias.

3.2.7.3 Relación entre geoide y elipsoide

La siguiente figura nos muestra el elipsoide, geoide y la superficie topográfica en un determinado terreno.

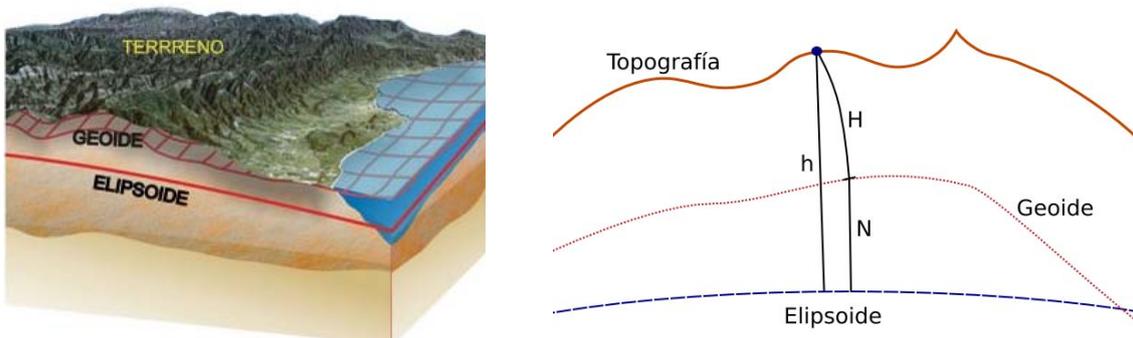


Figura 8. Relación entre el geoide y el elipsoide.



Simplificando la figura anterior, observamos que es posible relacionar matemáticamente el elipsoide y geoide mediante la expresión:

$$h = H + N$$

Donde:

- H= altura de un punto respecto al geoide (Altura Ortométrica u normal)
- h= Altura de un punto con respecto al elipsoide (Altura elipsoidal)
- N= Altura del geoide respecto al elipsoide (Ondulación del geoide)

3.2.7.4 Modelo del geoide EGM08-REDNAP

El modelo EGM08-REDNAP es una adaptación del EGM08, el modelo global más preciso obtenido hasta la fecha, al marco de referencia vertical dado por la REDNAP.

Las fuentes de datos que han utilizado para la creación de una superficie de corrección a la ondulación gravimétrica son las señales REDNAP observadas con GPS. En el proceso de observación de REDNAP, en casi todas las señales se ha realizado una observación GPS estático-rápido desde un vértice REGENTE situado, por lo general, a menos de 20 km, obteniendo altitudes elipsoidales. También se han utilizado señales de nivelación utilizadas en la campaña REGENTE para transferir altitud ortométrica a los vértices con un tiempo de seis horas de observación a menos de 5 km. Otros datos que se han usado para construir la superficie de corrección a EGM2008 han sido los datos del proyecto de densificación de European Unified Vertical Reference Network aportados por Portugal y Francia.

En resumen, se han realizado finalmente 13.231 puntos con observación estático-rápido, 164 puntos con observación estática de treinta minutos, 251 puntos con estático de seis horas y 55 puntos de Francia y Portugal.

Las diferencias entre los valores observados y los calculados por el modelo generaron una superficie de corrección y adaptación a la REDNAP del



EGM200B gravimétrico. Para generar dicha superficie se testaron diferentes algoritmos, siendo un condicionante muy importante la irregular distribución de los puntos dato, a lo largo de líneas y con zonas extensas sin datos. Finalmente se eligió el algoritmo de superficie de mínima curvatura.

En la siguiente figura se muestra una representación gráfica en tintas hipsométricas de la ondulación del geode para España.

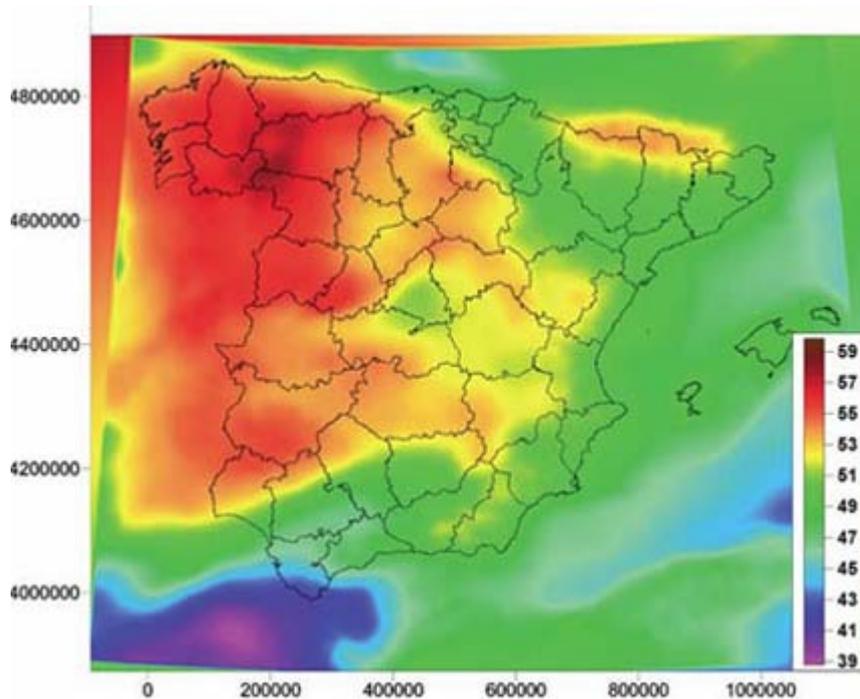


Figura 9. Gráfico en tintas hipsométricas de la ondulación geode para España.

Para evaluar la calidad y precisión final del modelo EGM08 se ha realizado un chequeo del modelo sobre un total de 188 señales de la ampliación de REDNAP con el modelo EGM08- REDNAP obtenido sin la intervención de estos datos. Con los resultados de la comparación de ondulación del geode observación-modelo se puede afirmar que la desviación estándar y la diferencia promedio (*en valor absoluto*) entre los valores observados y los valores del modelo es de 0.038 m, habiendo sido el 80% de las diferencias inferiores a 0,05 m. Esto es en lo que se refiere a la precisión absoluta del modelo. Para analizar la precisión relativa también se han analizado las diferencias en la ampliación REDNAP respecto al modelo en once líneas de ampliación de



REDNAP, comparando para ello las diferencias relativas entre las señales de cada línea, obteniendo una estimación de la precisión relativa de 2 ppm.

A medida que se vayan realizando observaciones adicionales de líneas de nivelación dentro del proyecto de ampliación de REDNAP, estos datos servirán para generar nuevas versiones de EGM2008-REDNAP.

3.3 Modelos Digitales del Terreno

3.3.1 Introducción

Un modelo se define como una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades (*Felicísimo, 1994*). Los modelos se construyen estableciendo una relación de correspondencia. Para su explicación nos basaremos en la publicación de (*Felicísimo, 1994*). Podemos distinguir tres tipos básicos de modelos.

- **Modelos icónicos:** La relación de correspondencia se establece a través de las propiedades morfológicas. Estos modelos nos ofrecen una representación pictórica del objeto.

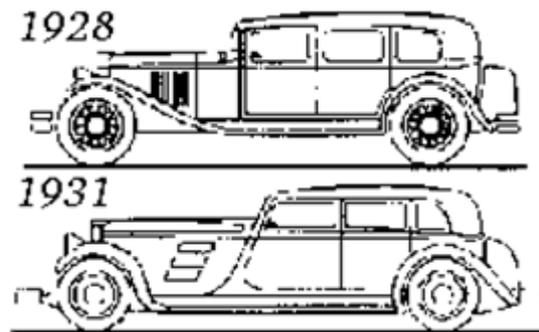


Figura 10. Ej. Modelo simbólico.

- **Modelos análogos:** Poseen algunas propiedades similares a los objetos representados pero sin ser una réplica morfológica de los mismos.



Figura 11. Ej. Modelo análogo.



- **Modelos simbólicos:** Se llega a un nivel superior de abstracción ya que el objeto queda representado mediante una simbolización matemática.



Figura 12. Ej. Modelo simbólico.

Los Modelos Digitales del Terreno (*MDT*) se incluyen en esta última categoría y, consecuentemente, las relaciones de correspondencia que se establecen con el objeto tienen la forma de algoritmos o formalismos matemáticos.

Los MDT son una categoría de modelos simbólicos que ha nacido y se ha desarrollado al amparo simultáneamente a los Sistemas de Información Geográfica. Su origen aparente se centra en los laboratorios de Fotogrametría del Instituto de Tecnología de Massachussetts en la década de los 50.

Los podríamos definir como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio.

Si lo que queremos representar es la altitud del terreno, en este caso tenemos un Modelo Digital de Elevaciones. El MDE y sus modelos derivados van a ser la base para nuestro trabajo.

3.3.2 Modelo Digital de Elevaciones

Un Modelo Digital de Elevaciones (*MDE*) se define como una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno. Lo podemos escribir de forma genérica como:

$$Z = F(x, y)$$

Que la aplicamos sobre un determinado dominio espacial:

$$D = MDE(D, F)$$

Normalmente en el MDE la función se resuelve a intervalos discretos de x e y por lo que está compuesto por un número finito de valores (*cotas*):



$$MDE = (D, Z)_{\Delta x, \Delta y}$$

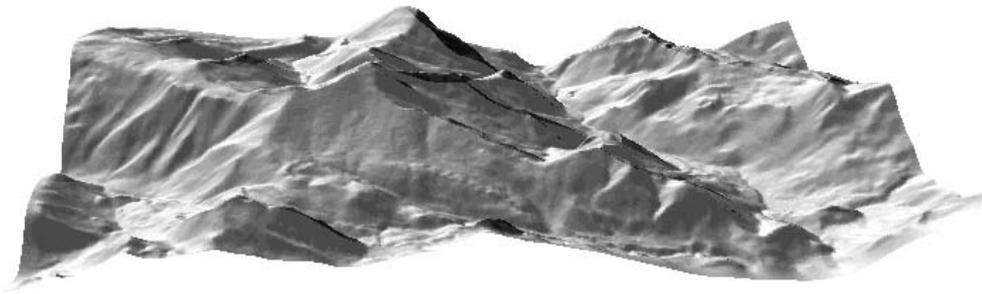


Figura 13. Representación gráfica de un MDE.

3.3.2.1 Estructura de datos en el MDE

Dentro de los modelos de datos de un MDE, distinguimos dos estructuras, las estructuras vectoriales y las estructuras raster.

- En las estructuras vectoriales distinguimos:

Contornos: La estructura básica es el vector, compuesto por un conjunto de pares de coordenadas (x,y) que describe la trayectoria de líneas hipsométricas (*coincidiendo, por tanto, con las curvas de nivel o hipsoisas del mapa topográfico*).

El relieve queda representado mediante una estructura de vectores definidos por las coordenadas de sus nodos.

TIN: Los TIN son una red de triángulos adosados al terreno definidos por las coordenadas de sus vértices. Los triángulos se construyen ajustando un plano a tres puntos cercanos no colineales, y se adosan sobre el terreno formando un mosaico que puede adaptarse a la superficie con diferente grado de detalle, en función de la complejidad del relieve.

- En las estructuras raster distinguimos:

La matriz regular: Esta estructura es el resultado de superponer una retícula sobre el terreno y extraer la altitud media de cada celda



Los quadrees: El MDE adopta la forma de un árbol jerárquico de matrices de cuatro elemento donde los diferentes niveles progresivos nos proporciona una resolución variable que nos permita adaptarnos a la complejidad del relieve

3.3.2.2 Métodos de captura para la obtención de datos

Los métodos de captura de datos se dividen en dos grupos:

- *Métodos directos o de fuentes primarias:* Captan los datos directamente del terreno. Dentro de estos métodos destacamos los altímetros, El sistema LIDAR, el sistema GPS y la topografía digital.
- *Métodos indirectos o de fuentes secundarias:* Usan documentos previos, analógicos o digitales. Dentro de este método destacamos la restitución fotogramétrica y la digitalización, que esta puede ser automática, si se emplea un escáner para transformar los elementos del mapa u manual, en el caso de utilizar un tablero digitalizador para seguir manualmente las líneas mediante un cursor.

3.3.2.3 Construcción de un MDE

La construcción de un MDE la realizaremos en tres fases:

Representación de datos: Es la fase inicial en la construcción de un modelo. Los datos normalmente representados son puntos, líneas y polígonos.

Modelización: Es el proceso que nos permite obtener una superficie que represente la superficie topográfica. Para la construcción de los MDE emplearemos dos métodos que nos ofrece "ArcGis" basados en algoritmos de interpolación distintos mediante las ordenes "TIN" y "Topo To Raster".

- **TIN (Triangular Irregular Network)**

Los Tin son una red de triángulos irregulares adosados al terreno definidos por las coordenadas de sus vértices y contruidos tratando de conseguir triángulos que maximicen la relación área/perímetro. El conjunto de todos los triángulos forma un objeto geométrico denominado conjunto convexo. Suelen utilizarse como método para representar modelos de elevaciones (*producen resultados visualmente muy buenos*), sin embargo a la hora de integrarlos con el resto de



la información raster es necesario interpolar una capa raster a partir de los triángulos. Esta interpolación se basa en que cada uno de los tres vértices de los triángulos tienen unos valores X, Y y Z a partir de los cuales puede obtenerse un modelo de regresión $Z = AX + BY + C$ que permite interpolar la variable Z en cualquier punto del rectángulo. En definitiva puede asimilarse a un método de media ponderada por inverso de la distancia ya que el resultado siempre va a estar acotado por los valores máximo y mínimo de Z en los vértices del triángulo y será más parecido al del vértice más cercano. En el resultado final de una interpolación TIN no aparecen artefactos circulares, como en los de inverso de la distancia puros, pero si aparecen artefactos triangulares.

En el entorno de ArcGis el modelo TIN se construye, a partir de la topografía vectorial, con la herramienta "Create Tin" y sobre el modelo TIN se interpola el MDE en formato matricial con la herramienta "Tin To Raster", en el que se especifica el tamaño de celda.

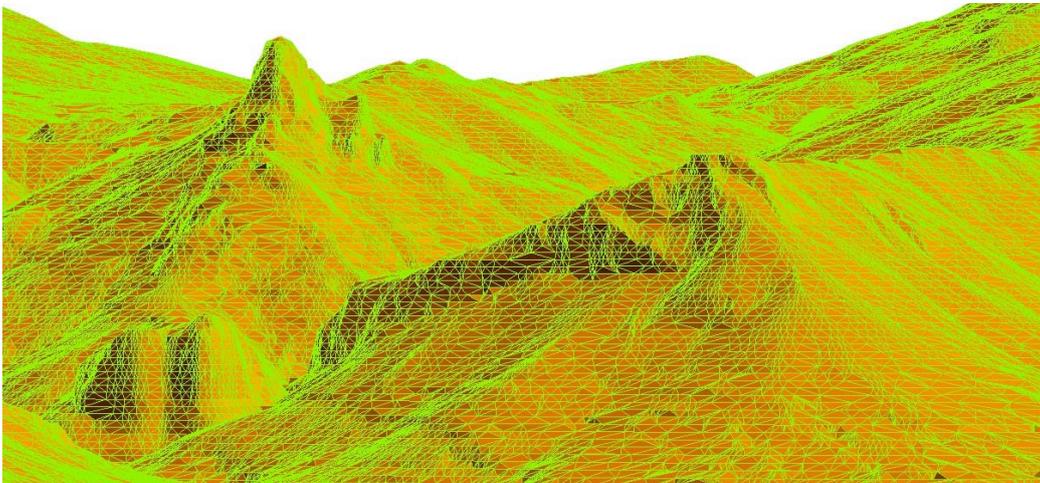


Figura 14. MDE con triangulación creada a partir de TIN.

- **Topo To Raster**

La herramienta "Topo To Raster" es un método de interpolación diseñado específicamente para crear MDE hidrológicamente correctos en el entorno de ArcGis. Está basado en el programa ANUDEM desarrollado por Michael Hutchinson (1988, 1989).



Esta interpola los valores de elevación imponiendo restricciones que aseguran:

- *Una estructura de drenaje conectada.*
- *La correcta representación de crestas y arroyos a partir de los datos de curvas de nivel de entrada.*

Ésta herramienta utiliza una técnica de interpolación de diferencia finita iterativa, optimizada para tener la eficacia computacional de los métodos de interpolación local, como la interpolación de la distancia inversa (*IDW*), pero sin perder la continuidad en la superficie de los métodos de interpolación global, como Kriging y Spline. De esta forma, permite que el DEM ajustado siga los cambios abruptos en el terreno, como arroyos y crestas.

El agua es la principal fuerza erosiva que determina la forma general de la mayoría de los paisajes. Es por esto por lo que los territorios presentan muchas cumbres y pocos sumideros. Este método, se apoya en este conocimiento de las superficies, imponiendo restricciones al proceso de interpolación para lograr una estructura de drenaje conectada y la correcta representación de crestas y arroyos, consiguiendo así superficies más precisas.

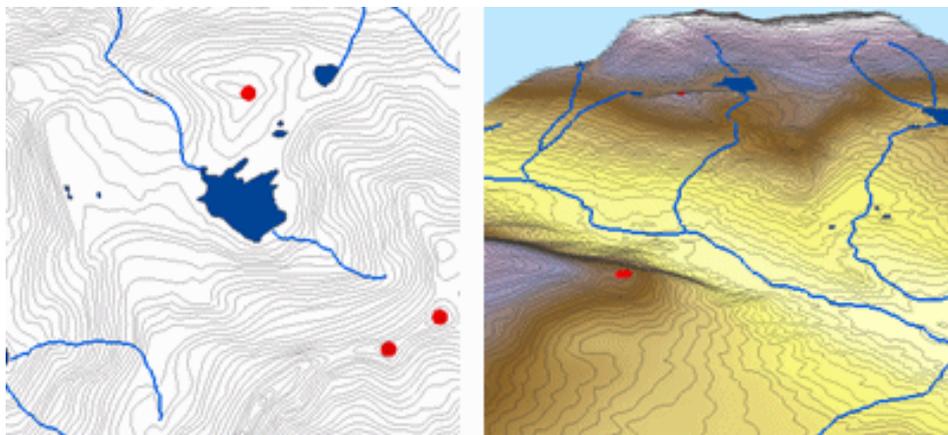


Figura 15. Modelos Digitales del terreno creados a partir de la orden "Topo To raster".

Cálculo del error: En esta última etapa en la construcción de un *MDE* comprobaremos el tipo y la cuantía de los errores observados. Para verificar la calidad de un modelo interpolado debe utilizarse un conjunto de validación formado por una serie de puntos (*de los que se conoce con precisión el valor*



real) en los que se va a hacer una estimación de dicho valor real. La diferencia entre el valor medido y el estimado es el error de estimación en ese punto. De este modo a cada punto de validación se asigna un error.

3.3.3 Modelos derivados del MDE

Los principales modelos derivados del MDE describen variables de la superficie topográfica diferentes de la altitud, por ejemplo, la pendiente, la orientación o diferentes parámetros de forma. Estos modelos se construyen a partir del MDE mediante algoritmos, que en muchos casos se basan en operadores o filtros de ámbito local. Para poder determinarlo, en primer lugar tendremos que calcular el gradiente de la altitud.

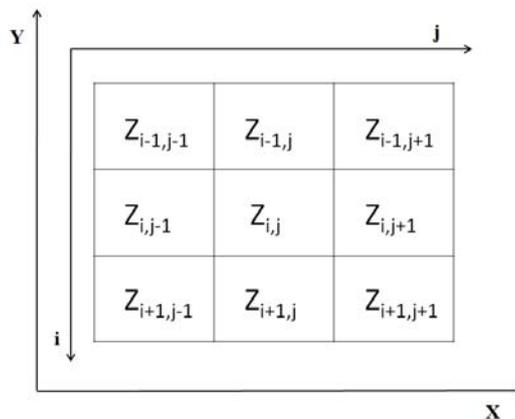


Figura 16. Representación de los ejes terreno e imagen para una estructura matricial.

Los cambios de altitud en el entorno de un punto pueden ser descritos mediante un plano de ajuste centrado en el punto:

$$Z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y = a_{00} + \frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial y}$$

Los coeficientes de la x e y representan tasas de cambio de la altitud sobre los ejes X e Y:

$$a_{10} = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_{i,j} = \frac{Z_{i,j+1} - Z_{i,j-1}}{2d}$$



$$a_{01} = \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_{i,j} = \frac{Z_{j,i+1} - Z_{j,i-1}}{2d}$$

A este par de valores le denominamos gradiente de la altitud. Su cálculo se puede expresar mediante operadores:

$$a_{10} = \frac{\partial z}{\partial x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$a_{01} = \frac{\partial z}{\partial y} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

Las componentes del gradiente son la base para el cálculo de otros modelos derivados.

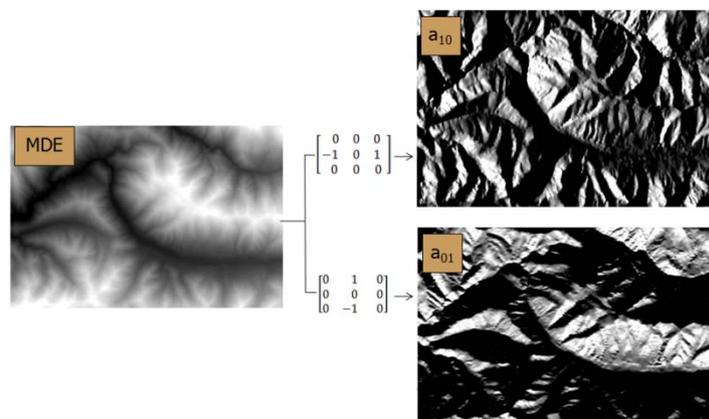


Figura 17. Representación de las componentes del gradiente (Tomado de Felicísimo, 1994).

A partir del cálculo del gradiente, podemos calcular los diferentes modelos derivados del MDE.

En el presente trabajo se han creado tres Modelos Digitales del Terreno, el Modelo Digital de Pendientes, El Modelo Digital de Curvatura y el Modelo Digital de Índice de Relieve.



3.3.3.1 Modelo Digital de Pendientes (MDP)

El MDP nos determina la inclinación del terreno. La pendiente en un punto es el ángulo que forma el vector normal a la superficie del terreno (n) con la vertical (H) en ese punto.

	<p> $n = (-a_{10}, a_{01}, 1)$; vector normal a la superficie $H = (0,0,1)$; vertical $n \cdot H = (-a_{10}, a_{01}, 1) \cdot (0,0,1) = (0,0,1) = 1$ $n \cdot H = n \cdot H \cdot \cos \alpha = \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2 + 1} \cdot 1 \cdot \cos \alpha$ Como $n \cdot H = 1$, entonces; $1 = \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2 + 1} \cdot \cos \alpha$ entonces; $\cos^2 \alpha = \frac{1}{a_{10}^2 + a_{01}^2 + 1}$ y $\frac{1}{\cos^2 \alpha} = 1 + \text{tg}^2 \alpha$ $\alpha = \text{arctg} \sqrt{a_{10}^2 + a_{01}^2}$ </p>
--	---

La pendiente en un punto viene determinada por el ángulo α , que hemos deducido como se calcula anteriormente. Aplicando lo sobre las componentes del gradiente obtendremos el MDP.

<p style="text-align: center;">Algoritmo cálculo MDP</p>	<p style="text-align: center;">Modelo Digital de Pendientes</p> <p style="text-align: center;"><i>Figura 18. MDP (Tomado de Felicísimo, 1994).</i></p>
---	---



3.3.3.2 Modelo Digital de Curvatura (MDC)

El modelo digital de curvatura nos permite calcular la concavidad-convexidad del entorno.

Sabemos que la curvatura es la tasa de cambio de la pendiente y, en consecuencia, la derivada segunda de la elevación. Para su cálculo ajustaremos el terreno a una superficie de 2º grado cuyos coeficientes se calculan sin dificultad a partir de los valores de los 8 vecinos más próximos.

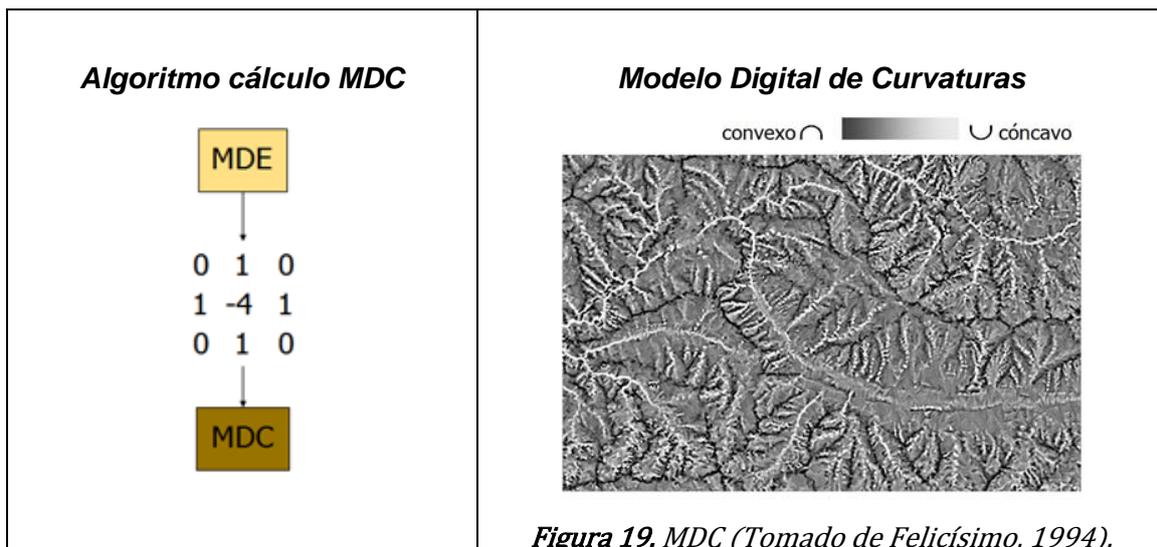
$$Z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2$$

La expresión para la curvatura media es

$$n = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 2 \cdot (a_{20} + a_{02}) = 2 \cdot \frac{Z_{i,j+1} + Z_{i,j-1} + Z_{i-1,j} - 4Z_{i,j}}{d^2}$$

En consecuencia, el operador matemático para su cálculo es:

$$n = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$





3.3.3.3 Modelo Digital de Índice de relieve

El Índice de relieve, también llamado pendiente local, se calcula como el rango (*máxima diferencia*) de cotas entre las celdas que bordean a una celda dada. Se puede calcular con diferentes entornos pero uno frecuente es el entorno de 3x3 celdas. El ráster de salida es un matricial que asigna un rango (*máxima diferencia de elevaciones*) para cada celda y un entorno cuadrado de 3x3 celdas.

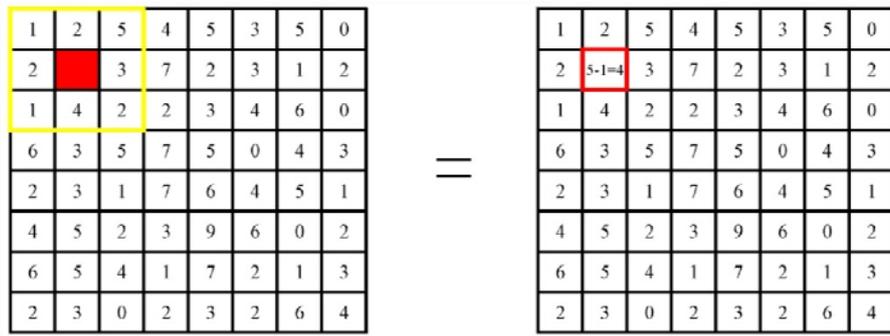


Figura 20. Esquema de procedimiento de construcción de un Modelo Digital de Índice de Relieve.

En la figura 20 se muestra el esquema del procedimiento seguido en la construcción del Modelo Digital de Índice de Relieve. En la celda considerada, la elevación máxima en el entorno sería de 5 y la mínima de 1. El índice de relieve corresponde a la diferencia entre ambas.



4. METODOLOGÍA



4.1 Trabajo de campo

El trabajo de campo se divide en tres etapas que se explican en los siguientes epígrafes. El objetivo de este trabajo de campo ha sido obtener una nube de puntos con datos lo más exactos posibles para las posiciones planimétricas y altimétricas de 589 puntos a lo largo de franja continua en la ladera sur del Monte Mocosu.

4.1.1 Equipo empleado

A continuación se detalla el equipo utilizado.

4.1.1.1 Trípode

Se utilizó un trípode Leica de versión pesada, de cierre automático, con bandolera y tornillos de bloqueo.

Está compuesto por material de gran duración, protegido contra torsión y resistente a vibraciones. Tiene un peso de 6.4kg y es extensible hasta 1,80m.

Apto para niveles, láseres, estaciones totales y GPS.



Figura 21. Trípode Leica.



4.1.1.2 Bastón

El GPS móvil se utilizó con un bastón de aluminio con burbuja circular modelo GLS13, de 2m de altura.



Figura 22. Bastón para GPS.

4.1.1.3 Cinta métrica

Para la determinación de la altura del centro de fase, se empleó una cinta métrica con graduación milimétrica incorporada dentro del siguiente estribo para garantizar la medida precisa de ésta.



Figura 23. Estribo para cinta métrica.



4.1.1.4 Receptores GPS

Se empleo dos receptores modelo “Leica GPS 1200 (GX 1230)”, cuya imagen la podemos ver en la figura 24.



Figura 24. Receptores GPS utilizados, modelo “Leica GPS 1200 (GX 2130).”

La siguiente tabla resume las características principales de los receptores Leica GX 1200

PRECISIONES
Cinemático, precisión horizontal: 10mm + 1ppm
Cinemático, precisión vertical: 20mm + 1ppm
Estático, precisión horizontal: 0,05mm + 0,05ppm
Estático, precisión vertical: 10mm + 0,05ppm
ALMACENAMIENTO DE DATOS
32MB Y 256 MB sobre tarjetas CompactFlash
Memoria interna opcional de 32MB y 256MB
Intervalo de grabación seleccionable desde 0.05s hasta 300s
CAPACIDAD PARA 32 MB
550h de almacenamiento L1 y L2 a intervalos de 15s
2200h de almacenamiento L1 + L2 a intervalos de 60s
45500 puntos RTK con código



FORMATOS SOPORTADOS PARA LA TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN
Leica propietario, CMR, CMR+, RTCM v2,1/2,2/2,3/3,0
COMUNICACIÓN
Radio Modem, GSM, inalámbrico de alta velocidad, TDMA
INTERVALO ACTUALIZACIÓN POSICIÓN Y LATENCIA
0,05s (20Hz) hasta 60s, latencia de 0,03s. Aplicable a RTK, DGPS y posiciones de navegación
ENLACE DE DATOS
Se pueden recibir/transmitir en diferentes frecuencias y/o formatos. Soporta Slicing

4.1.2 Colocación de los instrumentos y antenas

Habiendo materializado ya el punto de base con una estaca, colocaremos un receptor GPS sobre trípode en dicho punto. Tras asegurarse que el aparato este bien nivelado y centrado, con un metro mediremos la altura al suelo. Es muy importante estacionar correctamente las plataformas de centrado mediante una plomada óptica que garantice que la toma de datos se realiza exactamente al punto objeto y también medir la altura del suelo al centro de fase de forma correcta, ya que si no se producirán errores groseros en la determinación de la altura ortométrica.

Se va a hacer un levantamiento cinemático relativo, por lo que habrá que conectar las antenas del Radio-Modem. Seguidamente, iniciamos el GPS y hacemos una configuración cinemático relativo, con la opción de que calcules las coordenadas del punto de base en postproceso, ya que en estos momentos no disponemos de ellas, y habrá que calcularlas a posteriori respecto a una estación de referencia.

El segundo GPS lo montaremos sobre bastón y le estableceremos la configuración adecuada para un levantamiento RTK.

4.1.3 Observación

Colocados y preparados los equipos, los dejamos el tiempo necesario hasta que reciban la señal necesaria para realizar la medición con precisión. A



continuación, iremos transportando el receptor móvil a todos aquellos puntos en los que queramos determinar sus coordenadas. Para que las medidas sean precisas se deben de observar a más de 4 satélites simultáneamente para que exista redundancia. Este receptor móvil lo dejaremos en cada punto el tiempo suficiente que precise el equipo para determinarlo y almacenarlo de forma automática .

4.1.4 Post-Observación

Al finalizar la fase de observación, volveremos a comprobar la antena del receptor y la posición de este. Es conveniente anotar la altura, su posición, nombre del proyecto, fecha, tiempo de inicio y tiempo final de la observación, el número de serie del receptor, de la antena, datos meteorológicos, problemas en presentados, etc. Todo esto nos facilitará el trabajo posterior y nos ayudará en el postproceso de los datos.

Además, es recomendable realizar una toma fotográfica de la señal de referencia y tomar medidas para la realización de un croquis y reseña de localización.

4.2 Procesamiento de datos

Realizado el trabajo de campo, en gabinete extraeremos los datos de la tarjeta del GPS de las observaciones realizadas. Necesitaremos también conocer la información de una estación de referencia de la red GNSS para poder procesar y determinar las coordenadas del punto base del levantamiento. De acuerdo con la situación geográfica del área de estudio la estación de referencia más cercana es la de Villablino (*Figura 25*), por lo tanto determinaremos las coordenadas de nuestra base respecto a esta.

Los datos los podemos descargar directamente desde el siguiente servidor (<ftp://ftp.itacyl.es/RINEX>) en formato Rinex .



Estaciones de Referencia



Equipo instalado	
Receptor	Leica GRX1200GGPro
Antena	LEIAX1202GG NONE
Altura de la antena	0.0 m Base del soporte de la antena

Coordenadas (ETRS89)	
Latitud	42° 56' 21,961523" N
Longitud	6° 19' 30,503052" W
Altura elipsoidal	1056,632 m
Fecha de cálculo	30-05-2008

Titular de la base	
	

Figura 25. Estación de la Red GNSS ubicada en Villablino

Toda la parte de procesado, se realizará con el software "Leica Geo Office". El primer paso será crear un proyecto en el que vamos a realizar todos los cálculos; lo haremos desde la opción de nuevo proyecto.

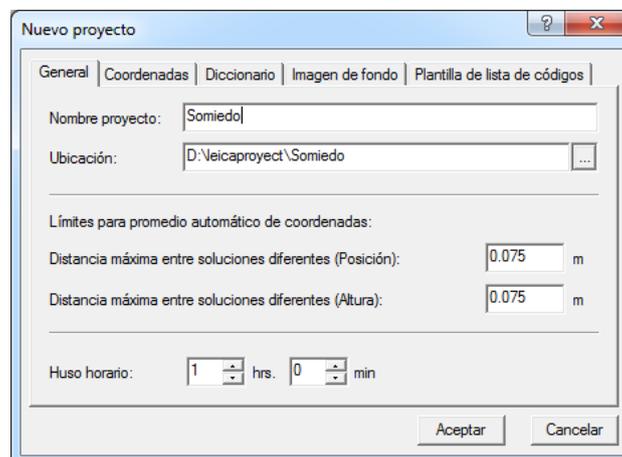


Figura 26. Captura de pantalla de la ventana "Creación nuevo proyecto", software "Leica Geo Office"

En la pestaña general se definirá la distancia máxima entre soluciones de posición y altura y la ruta de almacenamiento. El proyecto tendrá un sistema de



coordenadas WGS1984 con una proyección UTM para el huso 29 y además llevará asociado un modelo del geode, en concreto el EGM08, que lo podemos descargar directamente de la página web del Instituto Geográfico Nacional.

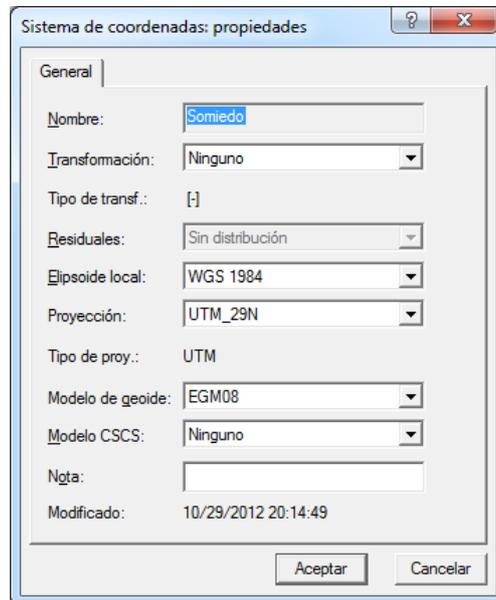


Figura 27. Captura de pantalla de la ventana "Sistema de Coordenadas", software "Leica Geo Office".

El sistema de coordenadas debemos de definirlo previamente con la herramienta "Coordinate System".

Creado ya el proyecto y configurado el sistema de coordenadas, el siguiente paso será importar las Observaciones del GPS estático y las de la estación de referencia de Villablino

Para ello vamos a la opción de "Importar Puntos", seleccionamos los archivos Rinex. A continuación sale una nueva ventana denominada "Asignar datos al proyecto", en la que designamos nuestro proyecto. En la pestaña GPS deben de estar marcadas las opciones de "Combinar intervalos" y "Conectar intervalos a cadenas mixtas"

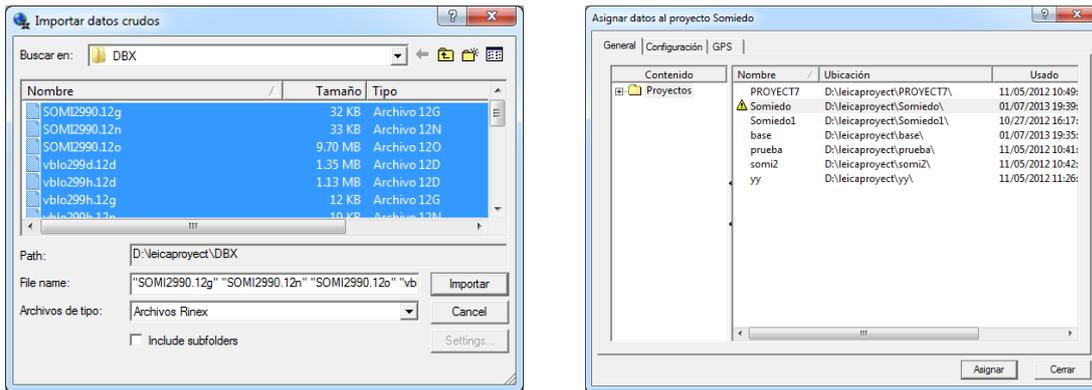


Figura 28. Captura de pantalla de la ventana "Importar datos crudos" y "Asignar datos al proyecto", software "Leica Geo Office".

En estos momentos se encuentran cargados ya los datos de la estación de referencia y del GPS estático. Seleccionamos Villablino como referencia y nuestra base como móvil y lo procesamos. Tras comprobar que se resolvieron ambigüedades, guardamos la baselínea (*línea de referencia que una la posición de la estación de referencia con la del punto base*). En la figura 29 podemos ver una captura de pantalla en la que puede apreciarse la representación gráfica en color rojo de la baselínea calculada desde la estación GNSS de Villablino a nuestro punto Base.

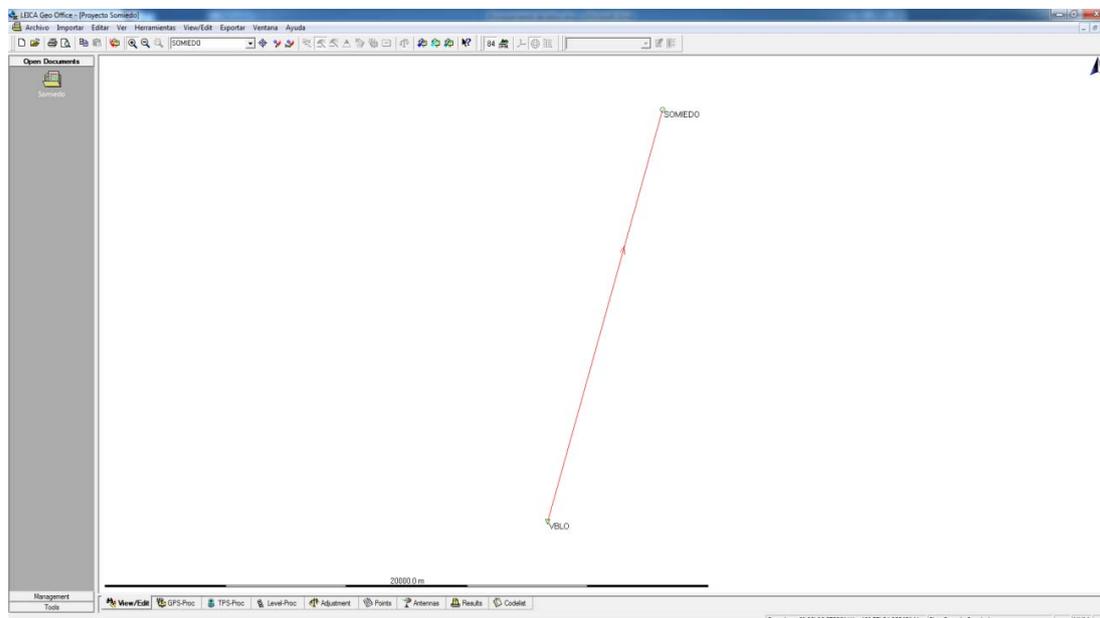


Figura 29. Captura de pantalla de la ventana gráfica del software "Leica Geo Office".



El siguiente paso es procesar todos los puntos que medimos a lo largo de la ladera del monte con el GPS móvil. Para ello, desde la opción utilizada previamente de *"Importar datos crudos"*, cargamos el archivo con los datos Somiedo-GPS4. En la siguiente imagen vemos un zoom sobre la zona en la que se realizó el levantamiento.

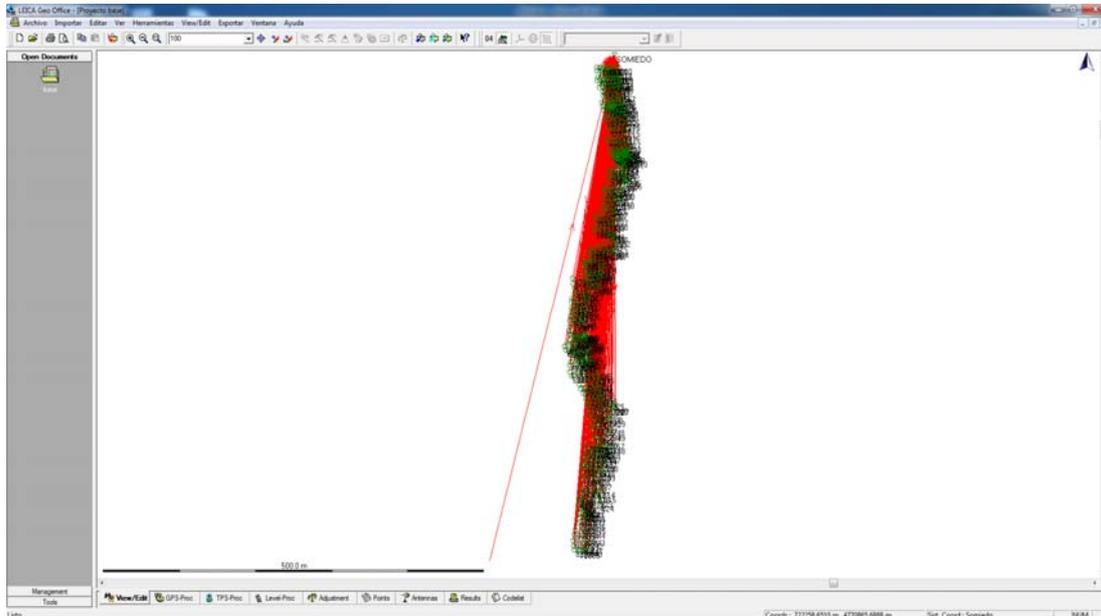


Figura 30. Captura de pantalla de la ventana gráfica del software "Leica Geo Office".

Para los puntos que tengan un error superior al permitido se corrigiera la causa de éste en el caso de conocerse o si no se eliminara, con el fin de que todos los puntos entren dentro de la tolerancia permitida y disponer de una nube de puntos lo más precisa posible.

Por último, exportaremos la nube de puntos a un fichero de extensión .txt, desde la pestaña *"Export"*, con el fin de poder utilizarlos desde otras aplicaciones informáticas. Previamente, en la pestaña de puntos, seleccionaremos los campos que queremos exportar, que serán:

- *Identificador del punto*
- *X UTM H29*
- *Y UTM H 29*
- *Altura ortométrica*



La siguiente imagen muestra una captura de pantalla de la ventana "Export". Los puntos medidos se pueden ver en el apartado de anexos.

Id de punto	X local	Y local	Alt. Ortom.
<input checked="" type="checkbox"/> 100	721635.7943	4770920.5448	1829.1739
<input checked="" type="checkbox"/> 101	721630.9530	4770920.7687	1829.2131
<input checked="" type="checkbox"/> 102	721626.9315	4770920.2329	1829.0471
<input checked="" type="checkbox"/> 103	721624.4276	4770920.1812	1828.9594
<input checked="" type="checkbox"/> 104	721621.3334	4770919.9836	1828.5705
<input checked="" type="checkbox"/> 105	721618.9255	4770919.4931	1828.4655
<input checked="" type="checkbox"/> 106	721616.2592	4770919.0788	1828.8885
<input checked="" type="checkbox"/> 107	721619.2318	4770919.1544	1828.3581
<input checked="" type="checkbox"/> 108	721614.7469	4770920.3454	1829.4906
<input checked="" type="checkbox"/> 109	721612.3186	4770920.4074	1830.0630
<input checked="" type="checkbox"/> 110	721607.6308	4770920.4752	1830.6899
<input checked="" type="checkbox"/> 111	721607.5703	4770916.0334	1829.5756
<input checked="" type="checkbox"/> 112	721611.5566	4770916.4257	1829.2502
<input checked="" type="checkbox"/> 113	721614.8121	4770916.4532	1828.6104
<input checked="" type="checkbox"/> 114	721618.4281	4770916.1822	1827.8810
<input checked="" type="checkbox"/> 115	721622.6365	4770915.9046	1827.9998
<input checked="" type="checkbox"/> 116	721626.9881	4770915.6146	1828.2745
<input checked="" type="checkbox"/> 117	721631.2123	4770915.1175	1828.1197
<input checked="" type="checkbox"/> 118	721636.3148	4770914.6890	1827.9269

Figura 31. Captura de pantalla de la pestaña puntos, software "Leica Geo Office"

4.3 Edición con ArcGIS

Abrimos el "ArcMap" y creamos un nuevo proyecto sobre el que realizaremos todo el trabajo de gabinete necesario para llevar a cabo el estudio técnico. En esta etapa de trabajo se crean MDE a partir de la topografía vectorial, se comparan estos MDE con los puntos obtenidos en el apartado anterior y se crean MDT derivados, como el de pendiente, curvatura e índice de relieve.

4.3.1 Preparación de la cartografía

Los Modelos Digitales del Terreno que crearemos, independientemente del método empleado para la interpolación de los datos, serán construidos a partir de la cartografía 1:5000 del Principado de Asturias en las correspondientes zonas de aplicación

El Indurot dispone de la cartografía de la zona de estudio en formato vectorial. Desde "Add Data" la añadimos, hallándose ésta en la hoja E05000760606. También se cargaran las hojas colindantes E05000760605, E05000760705 y



E05000760706 con el objetivo de crear un modelo más amplio del territorio, para posteriores aplicaciones .

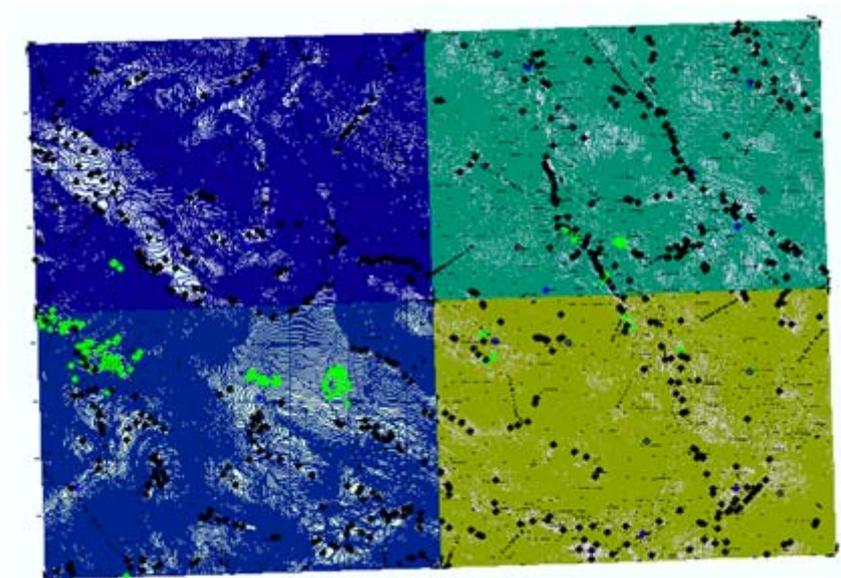


Figura 32. Captura de pantalla de "ArcMap" con las hojas de la cartografía importadas.

Cada hoja está compuesta por 5 capas:

- *DGN. Anotation*
- *DGN. Point*
- *DGN. Polyline*
- *DGN. Polygon*
- *DGN. Multipath*

De todas ellas, nos interesa la de puntos y la de polilíneas. Éstas serán los valores de entrada para la construcción de los modelos. Las exportaremos a ficheros Shape, para poder editarlas y trabajar con ellas. Para exportar, con el botón derecho sobre el objeto de exportación, pulsar “*Export Data*”. En la ventana seleccionamos la ruta de almacenamiento

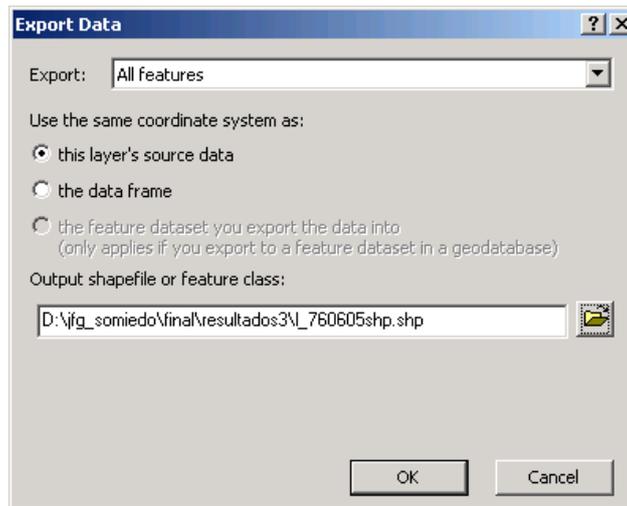


Figura 33. Captura de pantalla de la herramienta "Export Data", software "ArcGis"

Con la orden "Merge", juntamos los ficheros Shape de puntos con el fin facilitar el trabajo posterior. Esta orden se aplica también para juntar los ficheros con las polilíneas. El resultado serán dos capas, una que contenga todos los puntos y la otra todas las polilíneas de la zona.

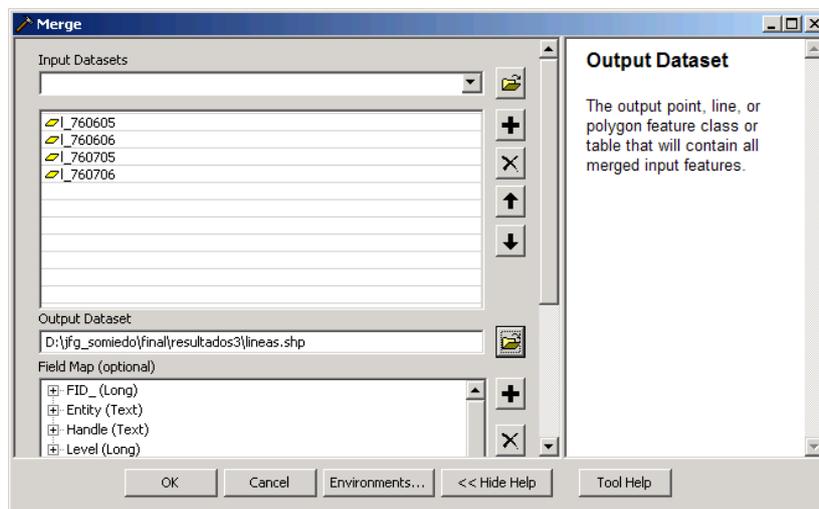


Figura 34. Captura de pantalla de la orden "Merge", software "ArcGis"

Los modelos digitales de elevaciones los crearemos a partir de estos ficheros Shape y por lo tanto su calidad final estará influenciada por la precisión de los datos de entrada.



Para evitar errores groseros en la creación de los modelos, habrá que ver los elementos de los que están compuestas las entradas y a continuación realizar una edición y depuración de la cartografía que elimine todo aquello que no está correcto o puede influenciar errores.

Para ello, pinchamos sobre los Shape y abrimos sus tablas de atributos. Tras observar la descripción de los elementos, iniciamos el editor y eliminamos todo aquello erróneo o susceptible de perjudicar la calidad final del modelo.

FID	Shape *	FID	Elevation	LvlDesc	Entity	Handle	Level	Layer	LyrFrzn	LyrLock	LyrOn	LvlPlot	Color	EntColor	LyrColor
2439	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	Closed Shape	57c	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2603	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	620	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2610	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	627	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
2658	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	657	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2660	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	659	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2665	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	65f	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2689	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	676	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
2700	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	681	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
4055	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	677	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
4274	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	752	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
4275	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	753	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
4276	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	754	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
4594	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	892	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
4595	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	893	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
5601	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	c81	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
6627	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	1083	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
8763	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	61a	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
8914	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	6b1	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
8915	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	6b2	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
8916	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	6b3	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2
8917	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	6b4	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
8918	Polyline ZM	0	1550	Curva directora con baja calidad asimétrica.	LineString	6b5	88	040106	0	0	32	64	2	-1	2
10209	Polyline ZM	0	1550	Curva directora.	LineString	bc0	86	040102	0	0	32	64	2	-1	2

Figura 35. Captura de pantalla de la tabla de atributos, software "ArcGis"

4.3.2 Creación de los MDE

La primera fase, de adquisición, edición y depuración de resultados ya está realizada. Continuaremos ahora con la fase de creación de los MDE. Para ello vamos a emplear dos métodos de interpolación distintos, "TIN" y "Topo To Raster", descritos ambos en los antecedentes.

4.3.2.1 Interpolación mediante TIN

En primer lugar, creamos el modelo desde "3D Analyst tools\Tin Creation\Create TIN." Nos aparecerá una pestaña en la que seleccionamos la ubicación de almacenamiento y la referencia espacial.

En "3D Analyst tools\Tin creation>Edit TIN", editamos el modelo. Aquí seleccionamos los valores de entrada, que serán el Shape de Puntos y el de Polilíneas. En la figura 36 podemos ver el resultado gráfico del modelo creado en formato vectorial.

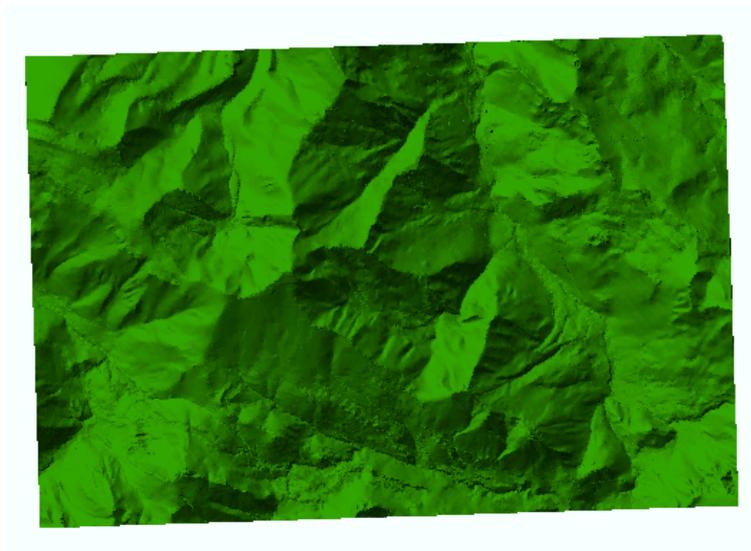


Figura 36. MDE en formato vectorial" creado con la orden "TIN"

Con estos comandos creamos un modelo TIN sobre el cual se interpola los valores del MDE matricial. La herramienta utilizada para esto es "Tin To Raster" que se encuentra dentro de "3D Analyst Tools\Conversion\From TIN". Nos aparecerá una ventana en la cual tenemos seleccionamos el TIN de entrada y el tamaño de celda del raster.

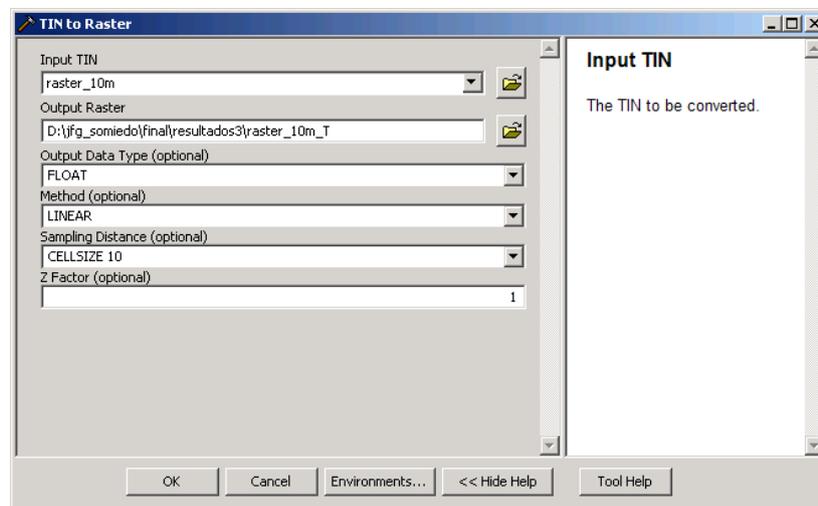


Figura 37. Captura de pantalla de la orden "Tin To Raster", software "ArcGis".

La interpolación en formato matricial se ha hecho con 3 tamaños de celda, 10m, 20m y 30m. A continuación se muestra el MDE con celda de 10m

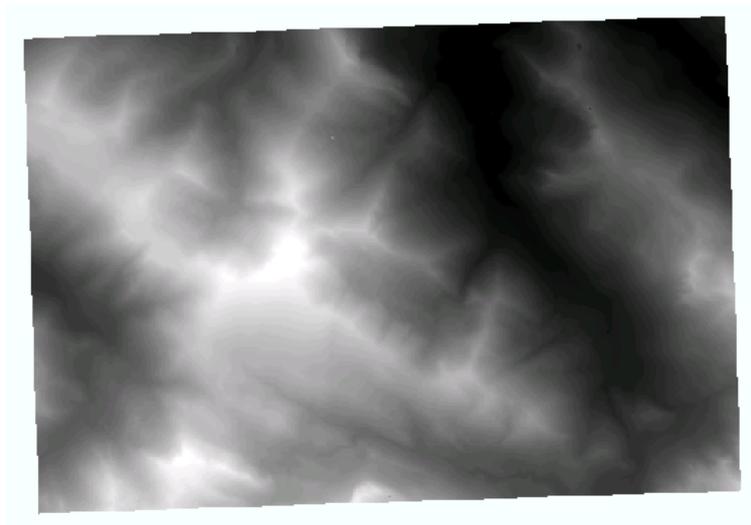


Figura 38. MDE en formato raster creado con la orden "Tin".

4.3.2.2 Interpolación mediante Topo To Raster

El segundo método de interpolación utilizado ha sido a través de la herramienta "Topo To Raster" que se encuentra dentro de "3D Analyst Tools\Raster Interpolation". Con esta herramienta la interpolación del modelo matricial se realiza directamente sobre los ficheros Shape de polilíneas y puntos (*mapa topográfico vectorial*). En la columna campo hay que seleccionar "Elevation" y en tipo, en el caso de los puntos "Point Elevation" y para las líneas "Contour".

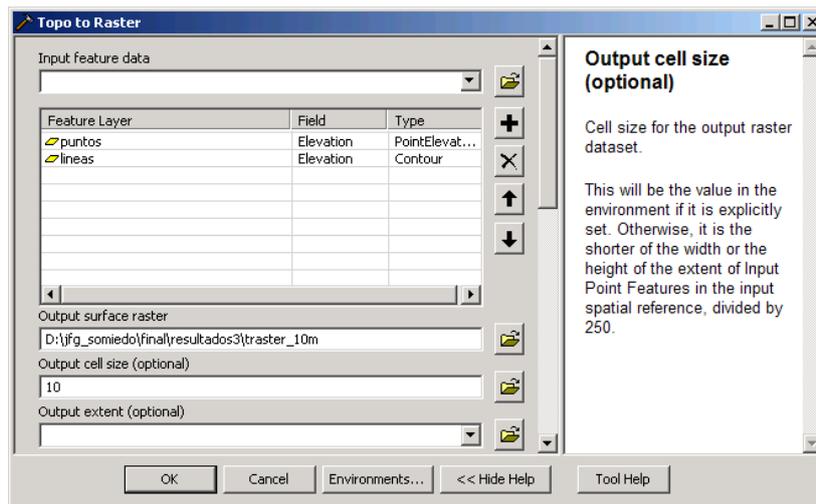


Figura 39. Captura de pantalla de la orden "Topo To Raster", software "ArcGis".



Como en la interpolación con TIN se crearon 3 modelos matriciales, con tamaños de celda de 10, 20 y 30m. En la figura 40 se muestra el TIN de tamaño de celda de 10m

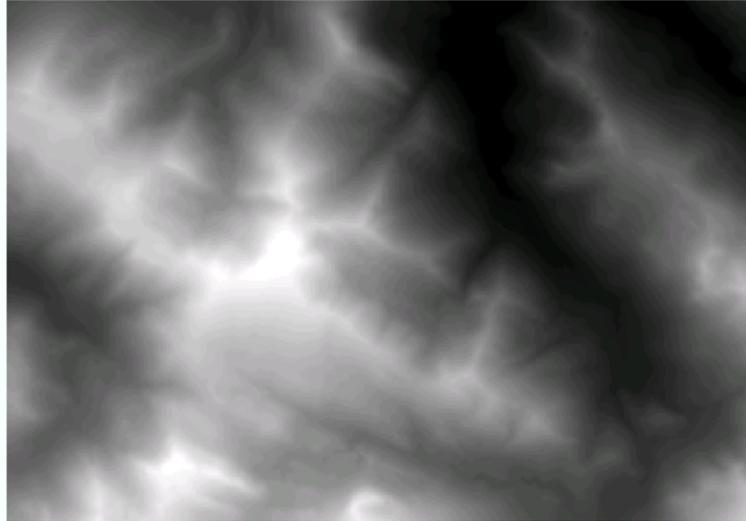


Figura 40. MDE en formato raster creado con la orden "Topo To Raster".

De forma idéntica. Creamos los modelos para pasos de celda 20m y 30m respectivamente

4.3.3 Lectura de los puntos medidos con GPS diferencial y cálculo de los valores en los MDE

La última fase consistirá en comparar el grado de ajuste de los modelos en función del algoritmo de interpolación empleado y del paso de malla seleccionado, haciendo una comparación entre el valor de elevación verdadero del punto (*el medido en campo*) y la proyección de ese punto para el modelo.

El primer paso será importar todos los puntos GPS. Previamente tendremos que configurar una tabla de Excel con 4 campos (*ID, X, Y, Z*) ya que es el formato de tabla que nos exige "ArcMap".



	A	B	C	D
1	ID	X	Y	Z
2	100	721635,794	4770920,545	1829,174
3	101	721630,953	4770920,769	1829,213
4	102	721626,931	4770920,233	1829,047
5	103	721624,428	4770920,181	1828,959
6	104	721621,333	4770919,984	1828,57
7	106	721616,259	4770919,079	1828,888
8	107	721619,232	4770919,154	1828,358
9	108	721614,747	4770920,345	1829,491

Figura 41. Captura de pantalla de una hoja de Excel con los puntos a importar.

La importación se realizará desde la herramienta “Add X Y Data”. Seleccionando el fichero, la correspondencia entre campos y el sistema de coordenadas. Automáticamente nos creará una tabla con los puntos, y como anteriormente, para poder editarla y trabajar con ella se exportará a un fichero Shape.

El objetivo final de esta segunda fase es hacer un estudio sobre el grado de exactitud de los modelos respecto a la realidad y este análisis los obtendremos a través de la diferencia que existe entre la elevación de los puntos medidos en el campo y la cota obtenida para sus proyecciones sobre cada modelo.

La herramienta “Extract Values To Point” que se encuentra dentro de las “Spatial Analyst Tools\Extraction”, nos permite obtener los valores de las cotas proyectadas.

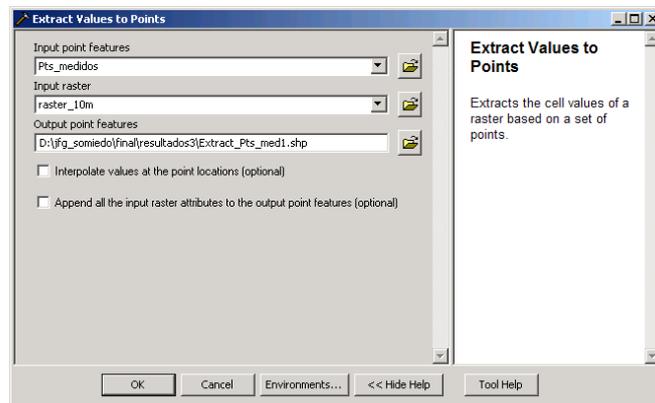


Figura 42. Captura de pantalla de la orden “Extract Values To Point”, software “ArcGis”.



El resultado será la tabla de los puntos con un nuevo campo, la altura de esos puntos sobre cada raster.

FID	Shape*	ID	X	Y	Z	RASTERVALU
0	Point ZM	100	721635,794	4770920,545	1829,174	1826,153198
1	Point ZM	101	721630,953	4770920,769	1829,213	1826,876221
2	Point ZM	102	721626,931	4770920,233	1829,047	1826,876221
3	Point ZM	103	721624,428	4770920,181	1828,959	1827,578979
4	Point ZM	104	721621,333	4770919,984	1828,57	1827,578979
5	Point ZM	106	721616,259	4770919,079	1828,888	1827,578979
6	Point ZM	107	721619,232	4770919,154	1828,358	1827,578979
7	Point ZM	108	721614,747	4770920,345	1829,491	1828,471558
8	Point ZM	109	721612,319	4770920,407	1830,063	1828,471558
9	Point ZM	110	721607,631	4770920,475	1830,69	1828,471558
10	Point ZM	111	721607,57	4770916,033	1829,576	1828,471558
11	Point ZM	112	721611,557	4770916,426	1829,25	1828,471558
12	Point ZM	113	721614,812	4770916,453	1828,61	1828,471558
13	Point ZM	114	721618,428	4770916,182	1827,881	1827,578979
14	Point ZM	115	721622,637	4770915,905	1828	1827,578979
15	Point ZM	116	721626,988	4770915,615	1828,275	1826,876221
16	Point ZM	117	721631,212	4770915,117	1828,12	1826,876221
17	Point ZM	118	721636,315	4770914,689	1827,927	1826,153198
18	Point ZM	119	721637,009	4770910,323	1826,834	1823,442505
19	Point ZM	120	721632,745	4770909,597	1826,743	1823,940796
20	Point ZM	121	721628,029	4770909,924	1826,934	1823,940796
21	Point ZM	122	721622,845	4770909,093	1826,457	1824,395996
22	Point ZM	123	721619,09	4770908,58	1826,334	1824,395996
23	Point ZM	124	721615,33	4770908,102	1826,604	1824,395996

Figura 43. Captura de pantalla de la tabla de atributos con los valores de elevación de los puntos para el MDE, software "ArcGis".

Para calcular la diferencia añadimos un nuevo campo a la tabla de tipo "Float" que nos permite almacenar números decimales. Iniciamos el editor y en el "Field Calculator" hacemos la resta en valor absoluto.

FID	Shape*	ID	X	Y	Z	RASTERVALU	dif
0	Point ZM	100	721635,794	4770920,545	1829,174	1826,153198	3,020802
1	Point ZM	101	721630,953	4770920,769	1829,213	1826,876221	2,336779
2	Point ZM	102	721626,931	4770920,233	1829,047	1826,876221	2,170779
3	Point ZM	103	721624,428	4770920,181	1828,959	1827,578979	1,380021
4	Point ZM	104	721621,333	4770919,984	1828,57	1827,578979	0,991021
5	Point ZM	106	721616,259	4770919,079	1828,888	1827,578979	1,309021
6	Point ZM	107	721619,232	4770919,154	1828,358	1827,578979	0,77902
7	Point ZM	108	721614,747	4770920,345	1829,491	1828,471558	1,019442
8	Point ZM	109	721612,319	4770920,407	1830,063	1828,471558	1,591442
9	Point ZM	110	721607,631	4770920,475	1830,69	1828,471558	2,218442
10	Point ZM	111	721607,57	4770916,033	1829,576	1828,471558	1,104442
11	Point ZM	112	721611,557	4770916,426	1829,25	1828,471558	0,778442
12	Point ZM	113	721614,812	4770916,453	1828,61	1828,471558	0,138442
13	Point ZM	114	721618,428	4770916,182	1827,881	1827,578979	0,302021
14	Point ZM	115	721622,637	4770915,905	1828	1827,578979	0,421021
15	Point ZM	116	721626,988	4770915,615	1828,275	1826,876221	1,398779
16	Point ZM	117	721631,212	4770915,117	1828,12	1826,876221	1,243779
17	Point ZM	118	721636,315	4770914,689	1827,927	1826,153198	1,773802
18	Point ZM	119	721637,009	4770910,323	1826,834	1823,442505	3,391495
19	Point ZM	120	721632,745	4770909,597	1826,743	1823,940796	2,802204
20	Point ZM	121	721628,029	4770909,924	1826,934	1823,940796	2,993204
21	Point ZM	122	721622,845	4770909,093	1826,457	1824,395996	2,061004
22	Point ZM	123	721619,09	4770908,58	1826,334	1824,395996	1,938004
23	Point ZM	124	721615,33	4770908,102	1826,604	1824,395996	2,208004

Figura 44. Captura de pantalla de la tabla de atributos con los valores de la diferencia en valor absoluto, software "ArcGis".



Por último, exportaremos estos datos en fichero .txt para poder abrirlos y trabajar con ellos desde otras aplicaciones, en concreto, con el Excel. En el apartado de resultados podemos ver todos los valores obtenidos y en función de las diferencias entre valores de altitud real y los valores de altitud sobre el modelo se selecciona el MDE considerado más exacto.

4.3.4 Lectura de los puntos de muestreo y cálculo de valores en los MDT

Para cada punto en el que se ha tomado una muestra de suelo queremos conocer su pendiente, curvatura y valor de índice de relieve. Existen diversas ordenes en ArcGis que nos permiten calcularlo de forma rápida y sencilla, a través de modelos digítateles del terreno derivados del MDE.

En primer lugar, es necesario crear los ficheros Shape con la localización de los puntos muestreados. Para estos puntos se dispuso de la localización GPS (*GPS no diferencial*). La lectura de estas coordenadas se realizó con la herramienta "*Add X Y Data*" y se crearon los ficheros Shape. De forma idéntica a la explicada anteriormente, tendremos que preparar la cartografía de las zonas de estudio. Las zonas formadas por Cuarcita-Brezal y Cuarcita-Bosque se encuentran en la misma hoja 1:5000 siendo esta la E05000760402 , mientras que la zona cuyo sustrato está formado por el grupo La-Vid y recubierta por vegetación boscosa se halla en las hojas E05000760504 y E05000760604. Análogamente al caso anterior preparamos y depuramos la cartografía para a posteriori crear los MDE de esas zonas mediante la orden "*Topo To Raster*", con paso de celda de 10m. El motivo de empleo de este algoritmo lo podemos ver en el apartado de resultados.

Para calcular los valores de muestreo necesitamos conocer el Modelo Digital de Pendientes (*MDP*) , el Modelo Digital de Curvatura (*MDC*), y el Modelo Digital de Índice de Relieve.



4.3.4.1 Cálculo del Modelo Digital de Pendientes

El modelo digital de pendientes lo calculamos con la orden "Slope", que la encontramos dentro de las herramientas "3D Analyst" en la categoría de "Raster Surface".

Como dato de entrada usamos el MDE y especificamos en qué medida queremos obtener el modelo digital de pendientes (*grados sexagesimales*).

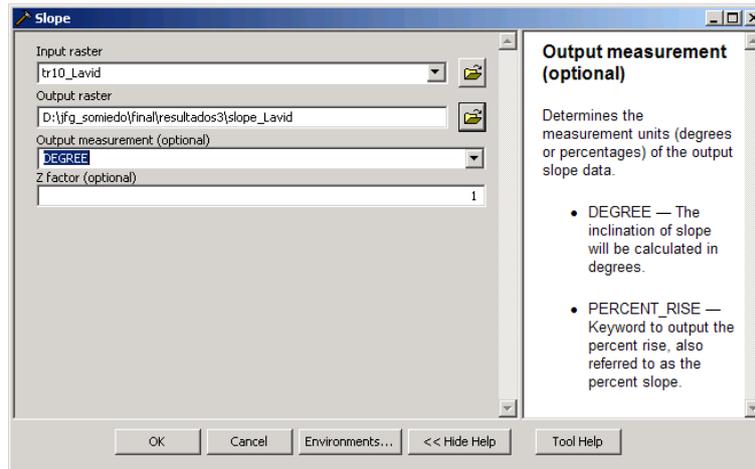


Figura 45. Captura de pantalla de la orden "Slope", software "ArcGis"

4.3.4.2 Cálculo del Modelo Digital de Curvatura

La orden para crear el MDC en "ArcGis" es "Curvature", que forma parte de la categoría de "Raster Surface" en las herramientas "3D Analyst".

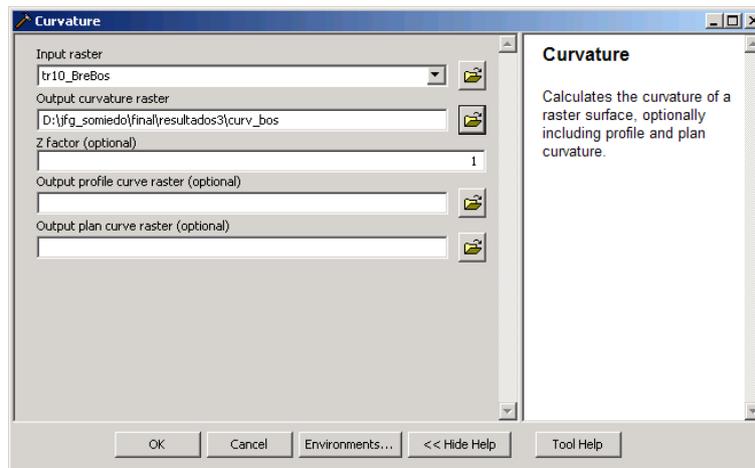


Figura 46. Captura de pantalla de la orden "Curvature", software "ArcGis"



4.3.4.3 Cálculo del Modelo Digital de Índice del Relieve

Como todos los anteriores, también deriva del *MDE*. A diferencia de los demás, este modelo se crea desde las herramientas "*Spatial Analyst*" en categoría de "*Neighborhood*", con la orden "*Focal Statistics*". Como método estadístico se ha seleccionado la opción "*Range*" (*Diferencia entre el valor máximo menos el valor mínimo*) con un tamaño de celda de 3x3.

Lo único que tendremos que hacer es utilizar el *MDE* como valor de entrada y en el modelo resultante cada celda tomará un valor en metros: la máxima diferencia de cota entre las 8 celdas de su entorno.

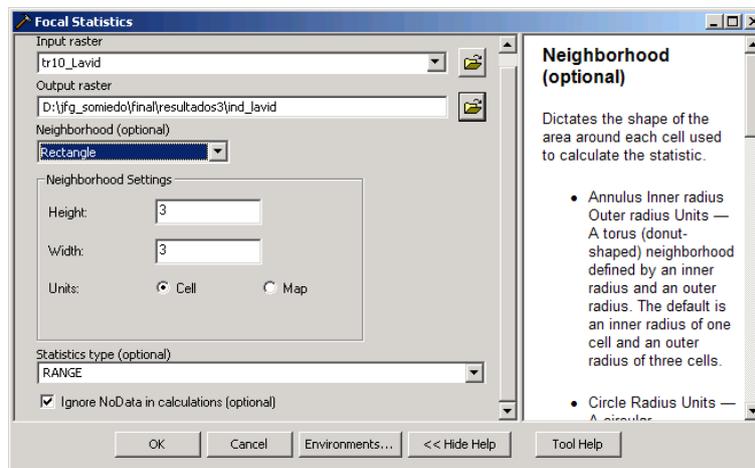


Figura 47. Captura de pantalla de la orden "*Focal Statistics*", software "*ArcGis*"

Los resultados de la lectura de los puntos de muestreo para todos estos modelos los podemos ver en el apartado siguiente.



5. RESULTADOS



5.1 Localizaciones GPS: Datos de altitud

Tras la lectura y depuración de los datos GPS se obtuvieron un total de 589 puntos, distribuidos siguiendo un transecto a lo largo de la ladera Sur del Mocosu. En el plano (*Situación de los puntos medidos*) se muestra la distribución de puntos. Los valores de altitud de los mismos van desde 1830m en la zona de cresta hasta los 1677m en la zona llana localizada en la base de la ladera. Estos valores de altitud serán utilizados como "*valores reales*" con los que se comparan los MDE construidos.

5.2 Representación gráfica de los MDE para la zona del Mocosu

Se muestran las representaciones gráficas en tintas hipsométricas de los distintos MDE construidos mediante "*TIN*" y también de forma hidrológicamente correcta (*Topo To Raster*) rasterizados a 10m, 20m y 30m.

5.2.1 MDE creados mediante "TIN"

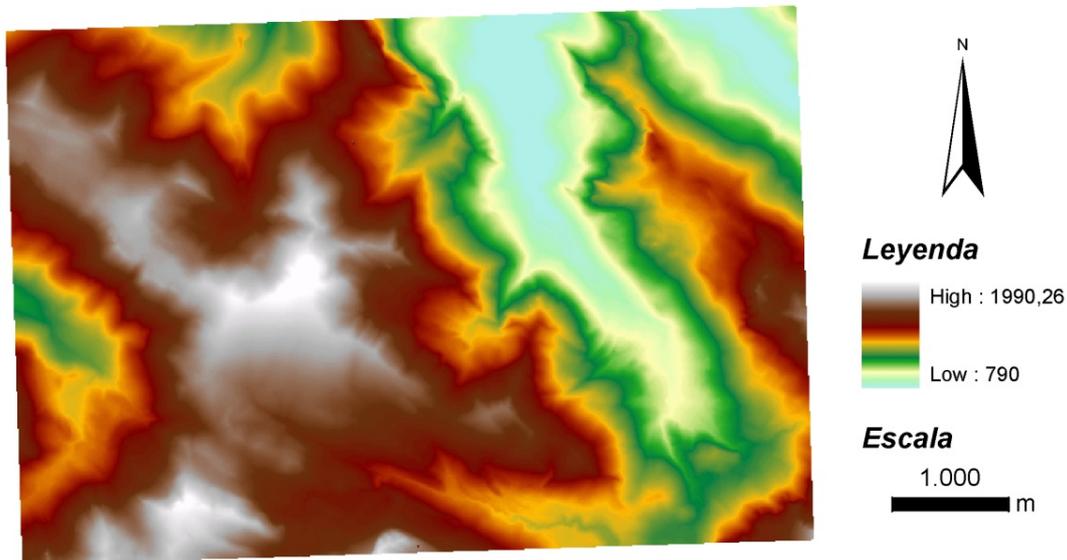


Figura 48. MDE creado mediante TIN, tamaño de celda de 10m.

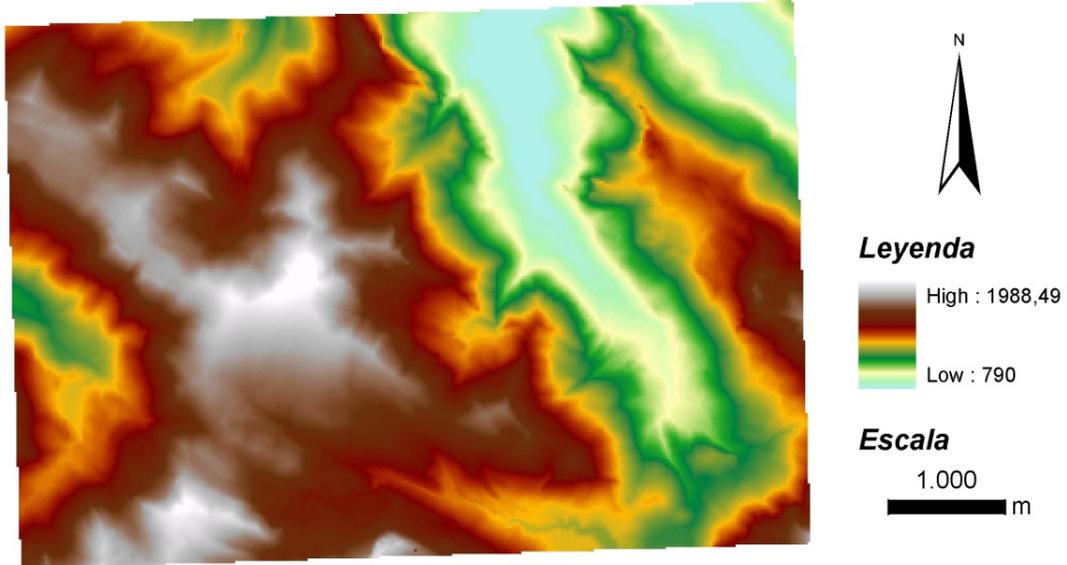


Figura 49. MDE creado mediante TIN, tamaño de celda de 20m.

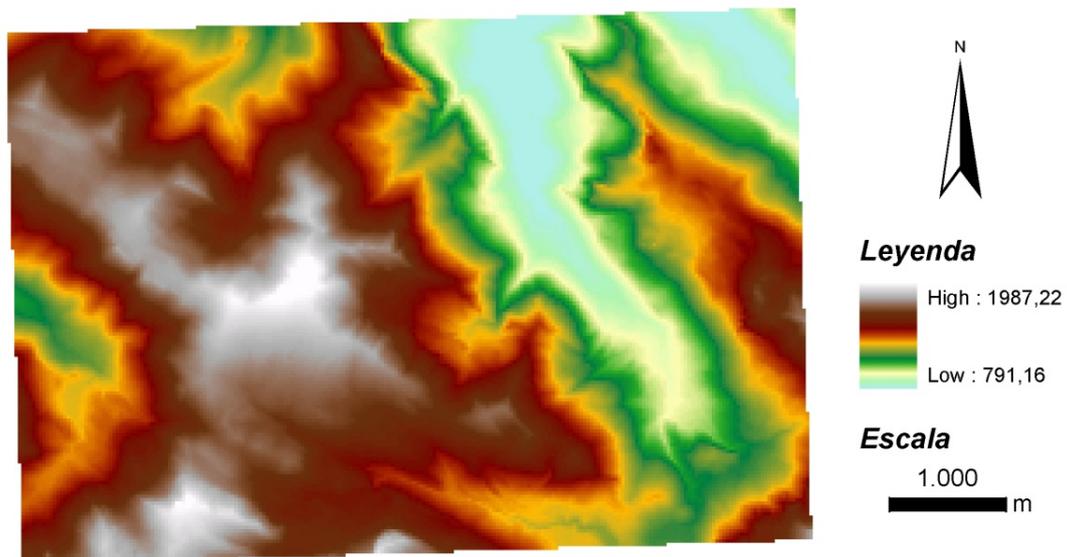


Figura 50. MDE creado mediante TIN, tamaño de celda de 30m.



5.2.2 MDE creados mediante "Topo To Raster"

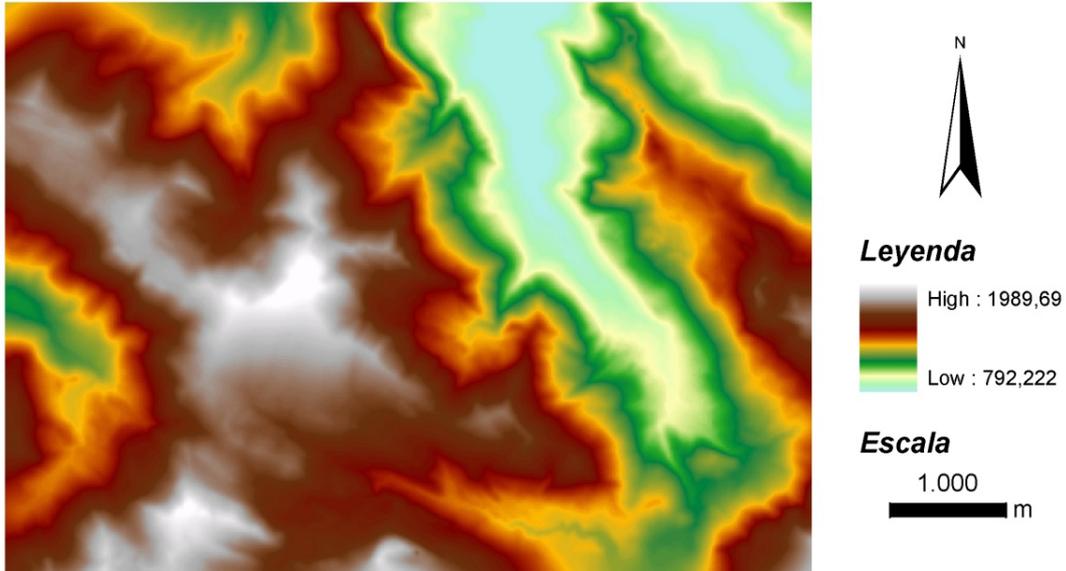


Figura 51. MDE creado mediante "Topo To Raster", tamaño de celda de 10m.

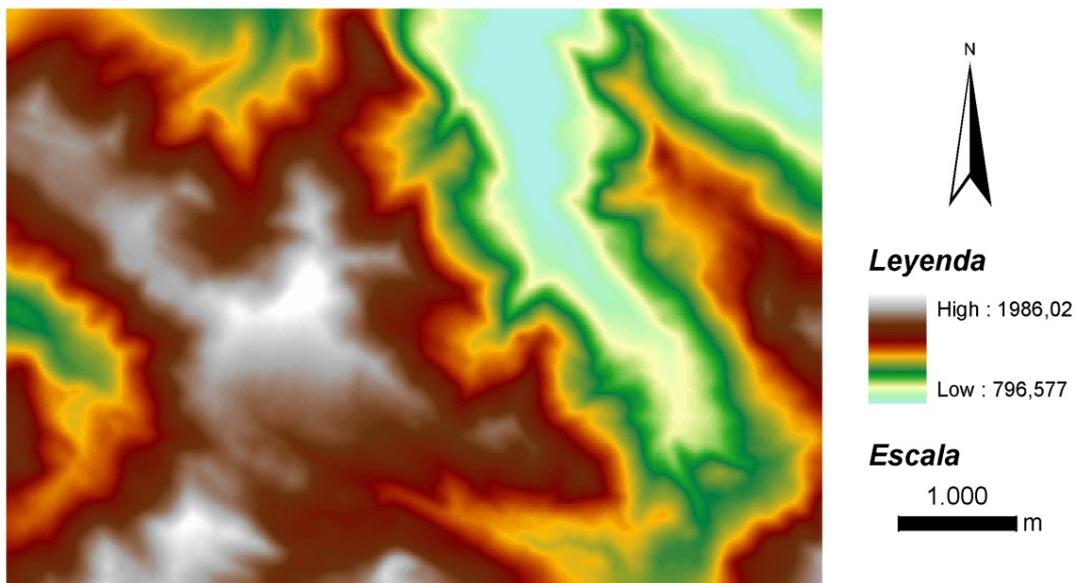


Figura 52. MDE creado mediante "Topo To Raster", tamaño de celda de 20m.

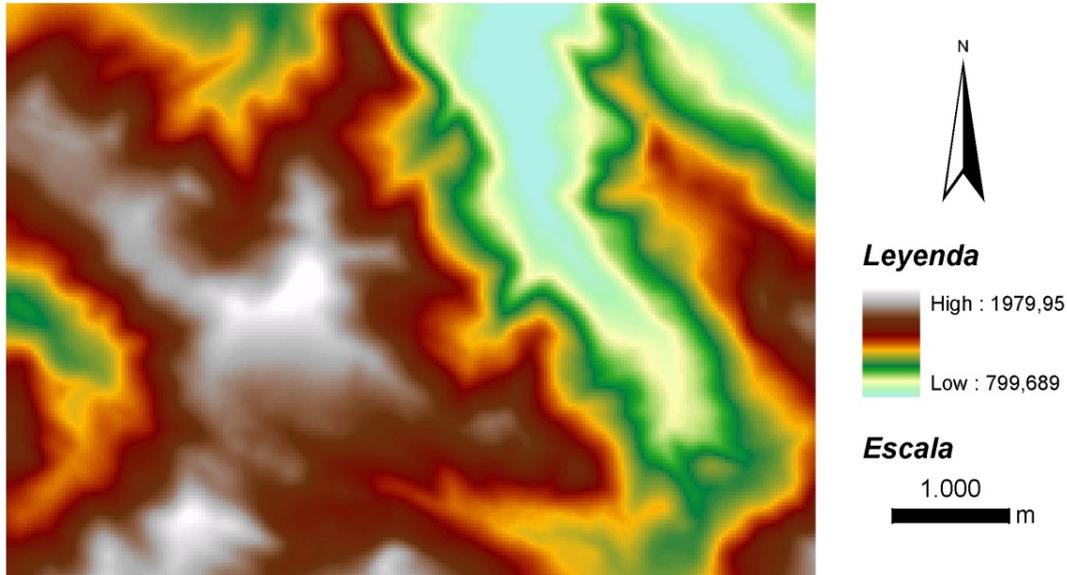


Figura 53. MDE creado mediante "Topo To Raster", tamaño de celda de 10m.

5.3 Resultados obtenidos para el ajuste de los MDE en la zona del Mocosu

Para valorar la bondad de cada uno de los 6 modelos construidos, para cada una de las posiciones (589 puntos) con valor de altitud GPS, se calcula el dato de altitud sobre los MDE. Esta altitud sobre el modelo se compara con el valor de "altitud real" y la diferencia entre estos dos valores puede ser considerada como una medida del error del MDE. Utilizando esta medida del error podemos valorar de forma cuantitativa la bondad de los modelos construidos.

A continuación se presentan estos datos para los 6 modelos construidos. En cada caso se dan los valores de diferencia máxima, mínima y media entre las altitudes y se calcularon los percentiles de error que nos dan una medida del porcentaje de diferencias de altitud que son inferiores o superiores a un valor dado.



5.3.1 MDE tamaño de celda de 10m

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "TIN"

Percentil	Valor (m)
10	0,516
20	0,891
30	1,193
40	1,523
50	1,910
60	2,248
70	2,601
80	2,915
90	3,359

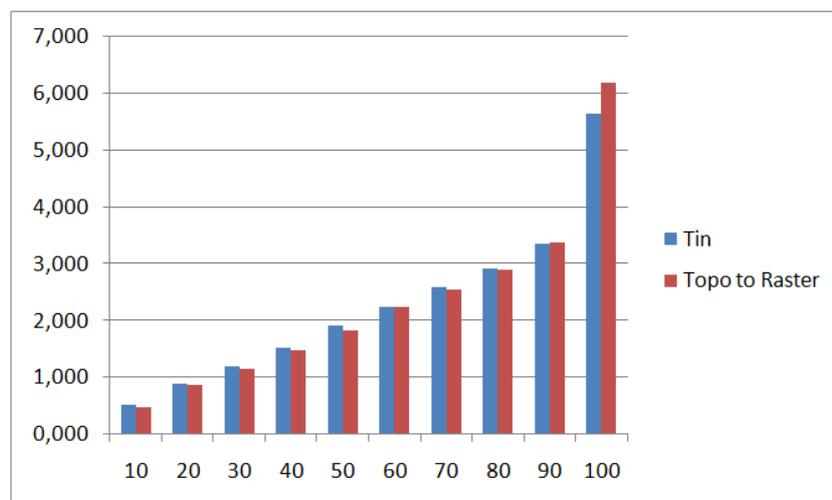
Información adicional	
Media	1,932 m
Valor más alto	5,653m
Valor más bajo	0,003

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "Topo To Raster"

Percentil	Valor (m)
10	0,485
20	0,879
30	1,165
40	1,492
50	1,838
60	2,253
70	2,553
80	2,890
90	3,382

Información adicional	
Media	1,915 m
Valor más alto	6,185m
Valor más bajo	0,005

Gráfica comparativa, en azul valores de "Tin" y en rojo de "Topo To Raster"





5.3.2 MDE tamaño de celda de 20m

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "TIN"

Percentil	Valor (m)
10	0,286
20	0,585
30	0,931
40	1,327
50	1,856
60	2,410
70	3,102
80	3,633
90	4,395

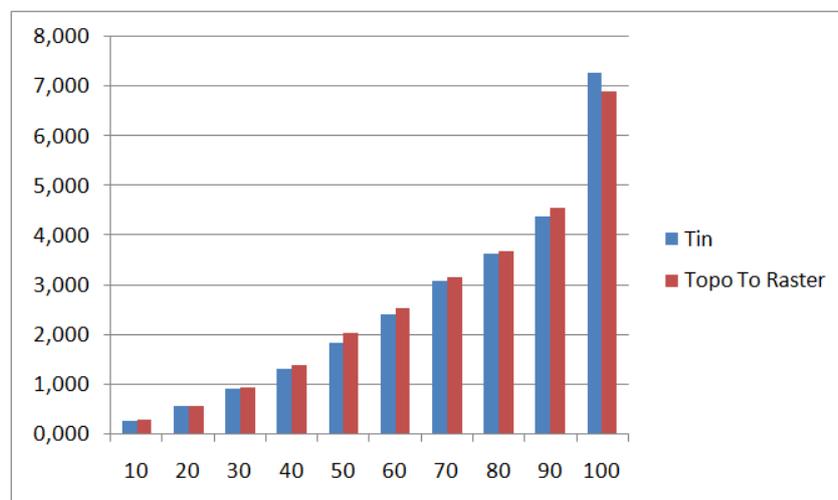
Información adicional	
Media	2,159 m
Valor más alto	7,285 m
Valor más bajo	0,002

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "Topo To Raster"

Percentil	Valor (m)
10	0,288
20	0,573
30	0,958
40	1,405
50	2,036
60	2,537
70	3,164
80	3,699
90	4,569

Información adicional	
Media	2,211 m
Valor mas alto	6,896 m
Valor mas bajo	0,005 m

Gráfica comparativa, en azul valores de "Tin" y en rojo de "Topo To Raster"





5.3.3 MDE tamaño de celda de 30m

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "TIN"

Percentil	Valor (m)
10	0,297
20	0,722
30	1,091
40	1,504
50	2,030
60	2,650
70	3,299
80	4,244
90	5,353

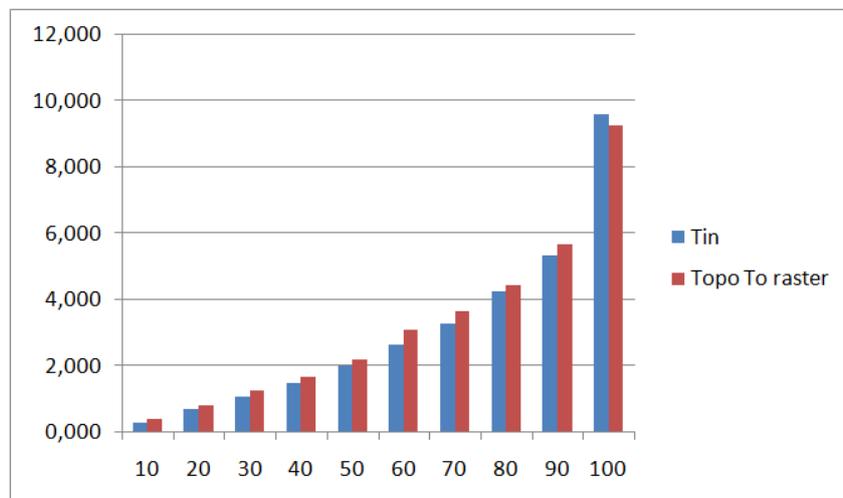
Información adicional	
Media	2,472 m
Valor más alto	5,653m
Valor más bajo	0,005

- Percentiles ajuste MDE creado mediante "Topo To Raster"

Percentil	Valor (m)
10	0,404
20	0,826
30	1,266
40	1,687
50	2,188
60	3,093
70	3,676
80	4,457
90	5,686

Información adicional	
Media	2,690 m
Valor más alto	9,275m
Valor más bajo	0,011

Gráfica comparativa, en azul valores de "Tin" y en rojo de "Topo To Raster"





5.4 Análisis de los resultados obtenidos para el ajuste de los MDE zona del Mocosu

El comportamiento de "TIN" y "Topo To Raster" es bastante similar y en todos los casos el error puede ser considerado bajo, con valores medios entre 1,915m y 2,690m. Recordemos que estos valores corresponden a la diferencia en valor absoluto entre el valor de "altitud real" determinado con GPS diferencial y el valor de altitud que anota el MDE para el mismo punto. El error tanto máximo y mínimo como medio aumenta al aumentar el tamaño de celda, el valor máximo detectado es de 9,275m para el MDE creado con "Topo To Raster" de 30m de celda. Con tamaños de celda de 10m y 20m los errores medios de "TIN" y "Topo To Raster" son muy similares, mientras que el error máximo en un caso es mayor con "TIN" y en el otro con "Topo To Raster".

Analizando los percentiles de error para todos los modelos, los que mejor se ajustan son el Topo To Raster con tamaño de celda de 10m y el Tin de 20m, por lo tanto, descartamos los otros 4 y vamos a analizar estos, intentando determinar el algoritmo de creación que mejor se adapte al terreno.

El Tin con celda de 20m presente un mejor ajuste para el 50% de los valores con menor error pero un peor ajuste en los restantes con respecto al Topo To Raster de 10m. Analizando la ubicación de los puntos con mejor y peor ajuste de ambos modelos sobre el terreno, con los datos de los que disponemos, se observa una ligera mejoría del Modelo Tin de 20m en terrenos llanos y contrariamente una mejoría del Topo To Raster de 10m cuando las condiciones son mas abruptas.

Comparando las media del error, este último, presenta un error medio ligeramente inferior, y esto, junto que todas las laderas que se quieren caracterizar tienen una pendiente considerable, nos ha hecho decantarnos por el algoritmo de creación "Topo To Raster" con tamaño de celda de 10m para la creación del MDE lo más preciso posible, ya que los modelos derivados y en consecuencia los resultados que se van a obtener para el muestreo dependen de la calidad de éste.



5.5 Representación gráfica de Modelos Digitales del Terreno derivados

En este apartado se muestran los resultados gráficos de los distintos modelos derivados del MDE necesarios para caracterizar el muestreo de montaña

5.5.1 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Pendientes

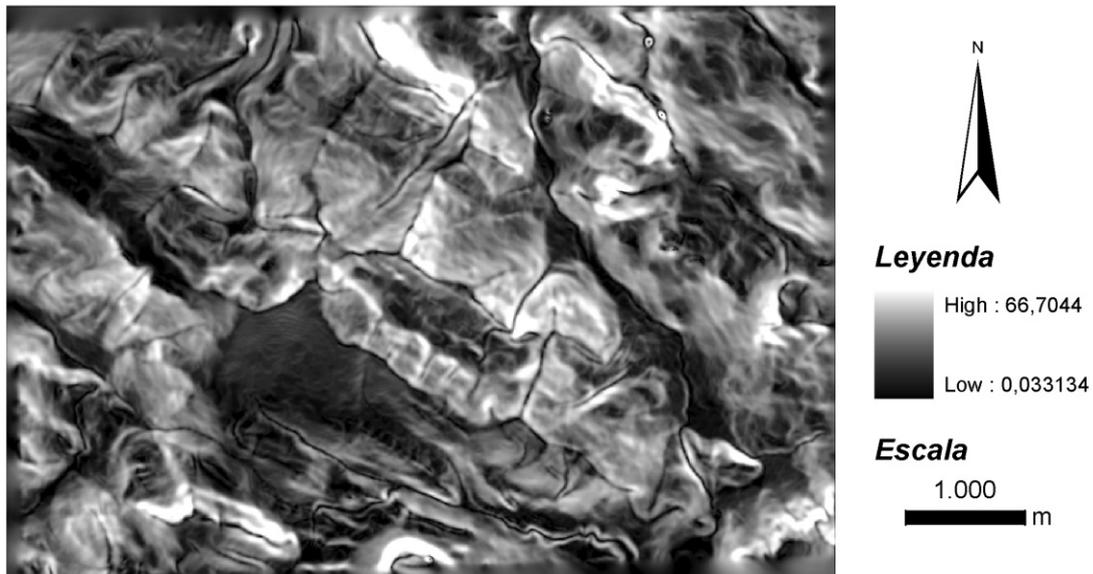


Figura 54. Representación gráfica MDP para la zona del Mocosu. Leyenda en grados sexagesimales.

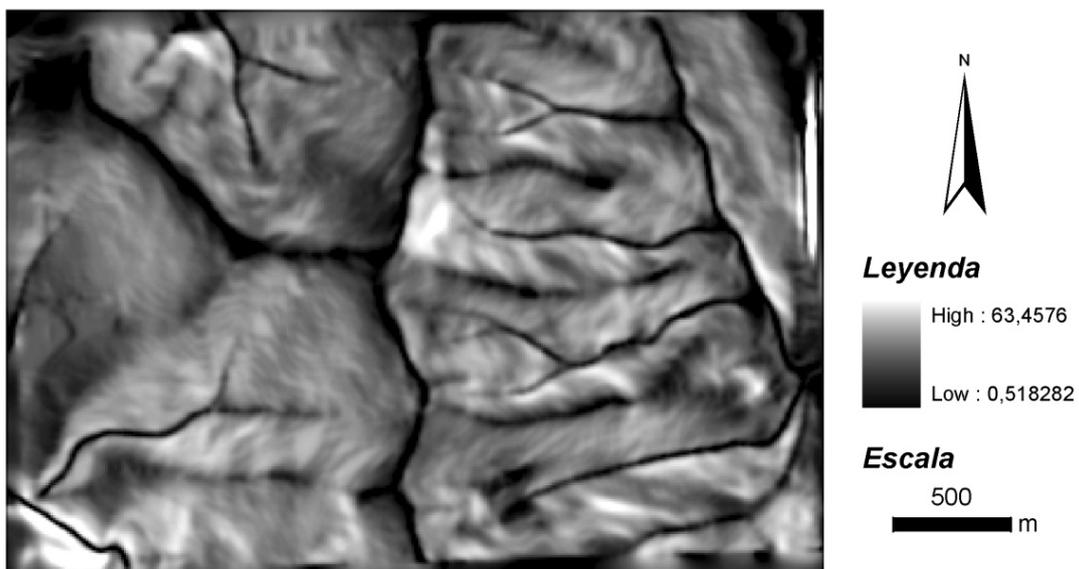


Figura 55. Representación gráfica MDP para las zonas de Cuarcita-Brezal y Cuarcita-Bosque. Leyenda en grados sexagesimales.

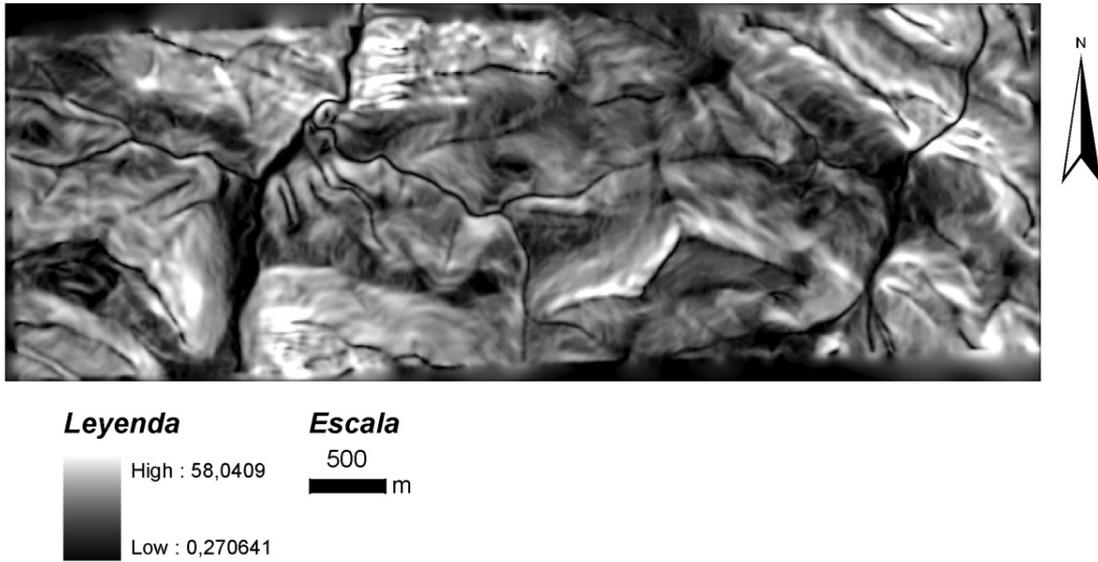


Figura 56. Representación gráfica MDP para la zona de La Vid-Bosque. Leyenda en grados sexagesimales.

5.5.2 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Curvatura

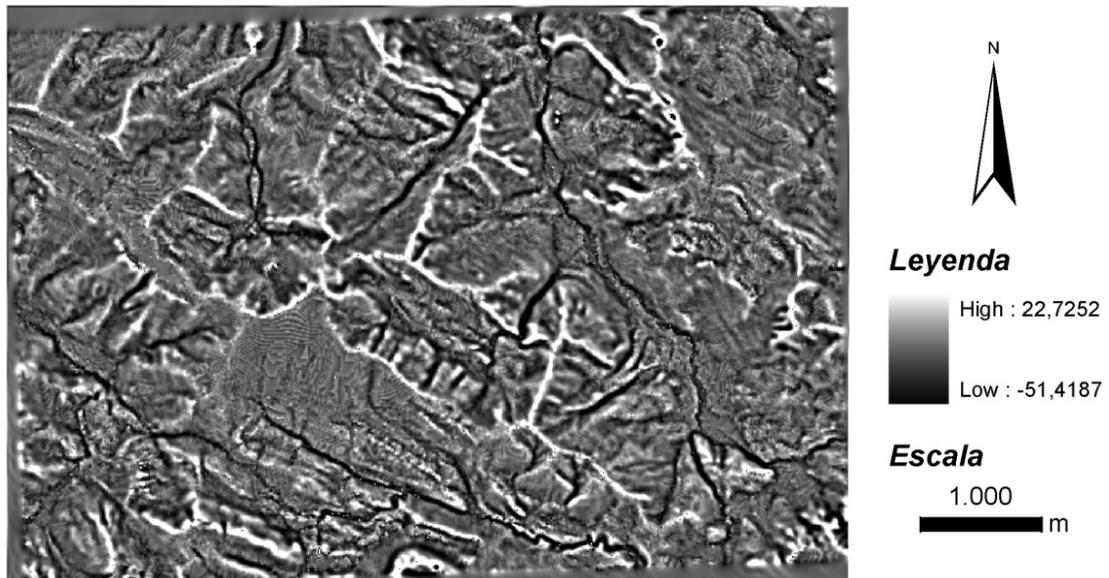


Figura 57. Representación gráfica Modelo Digital de Curvatura para la zona del Mocosu.

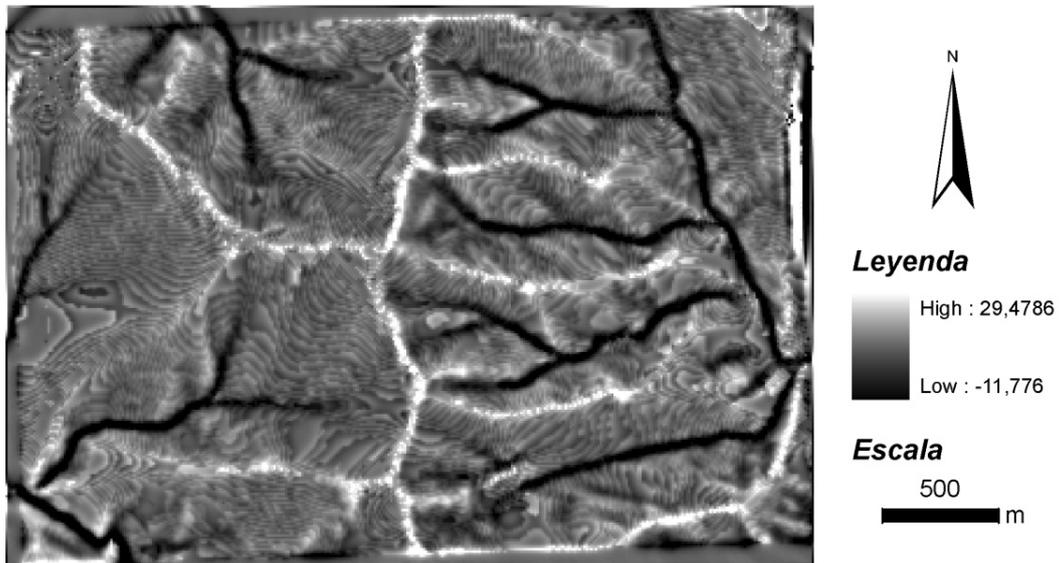


Figura 58. Representación gráfica Modelo Digital de Curvatura, zonas de Cuarcita-Brezal y de Cuarcita-Bosque.

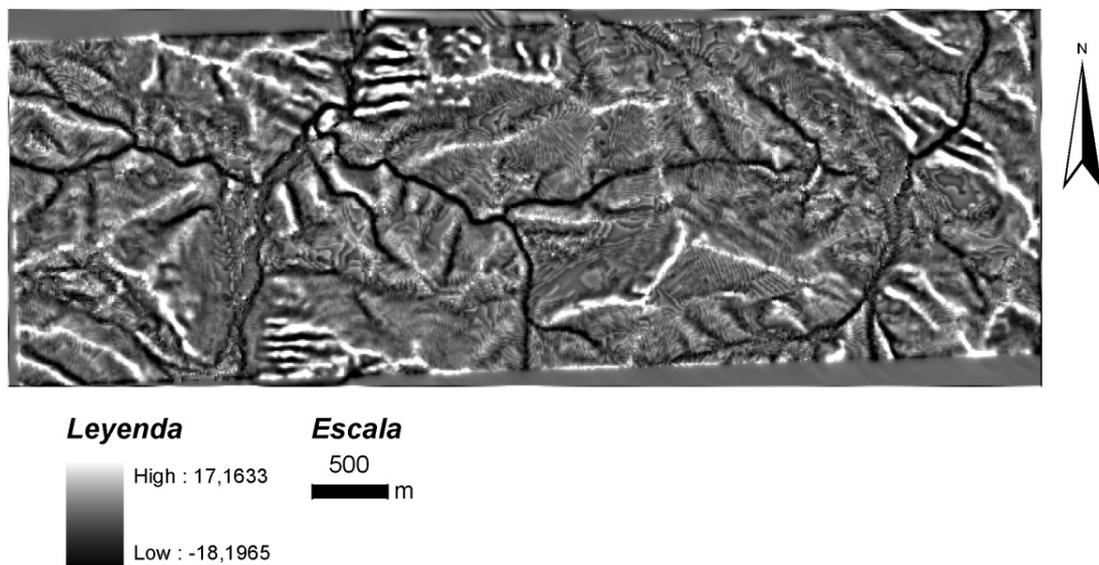


Figura 59. Representación gráfica Modelo Digital de Curvatura para la zona de La Vid-Bosque.



5.5.3 Representación gráfica de los Modelos Digitales de Índice de Relieve

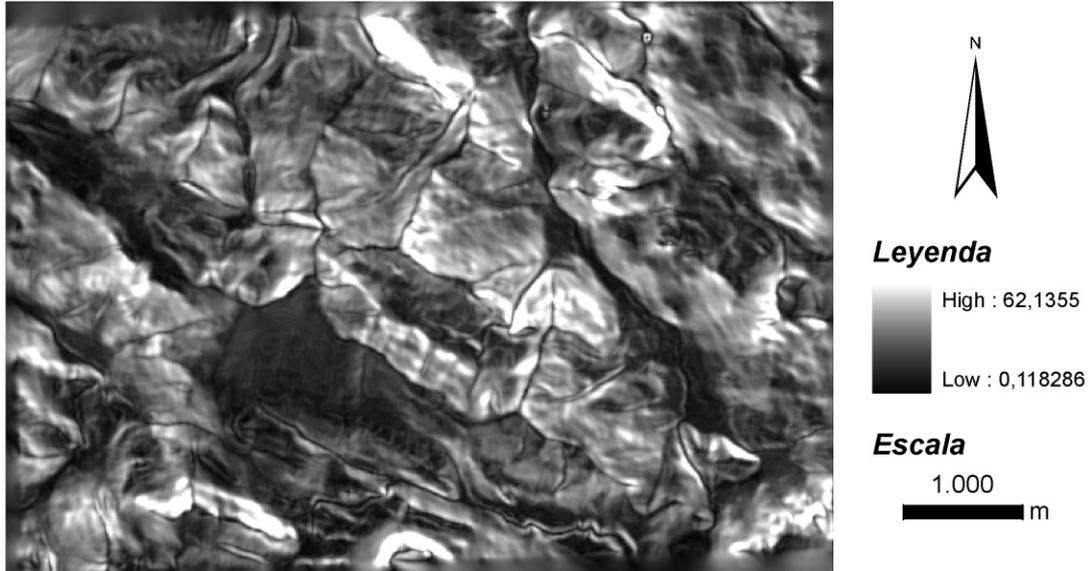


Figura 60. Representación gráfica Modelo Digital de Índice de Relieve para la zona del Mocosu. Leyenda en metros.

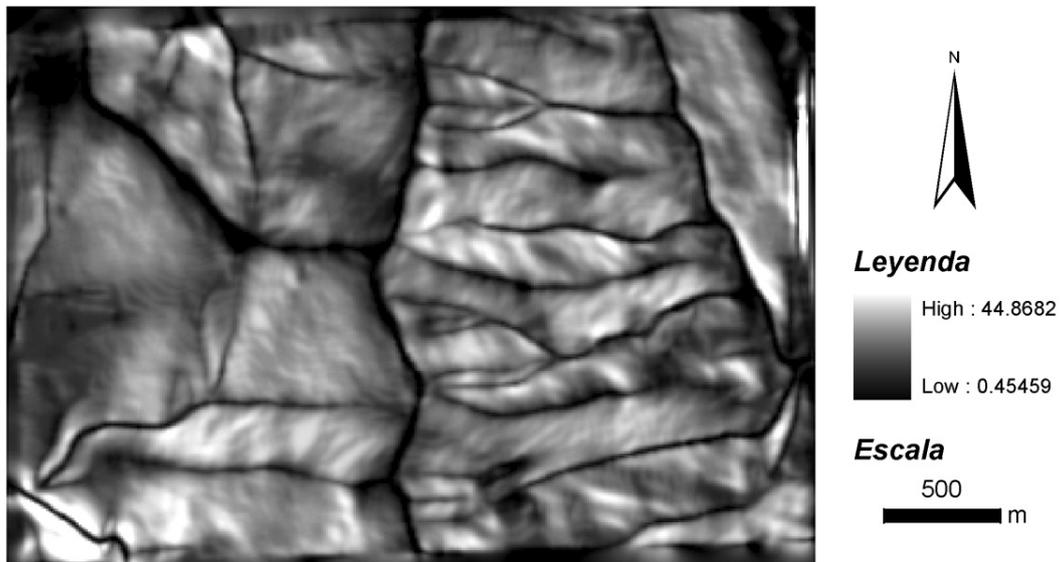


Figura 61. Representación gráfica Modelo Digital de Índice de Relieve, zonas de Cuarcita-Brezal y de Cuarcita-Bosque. Leyenda en metros.

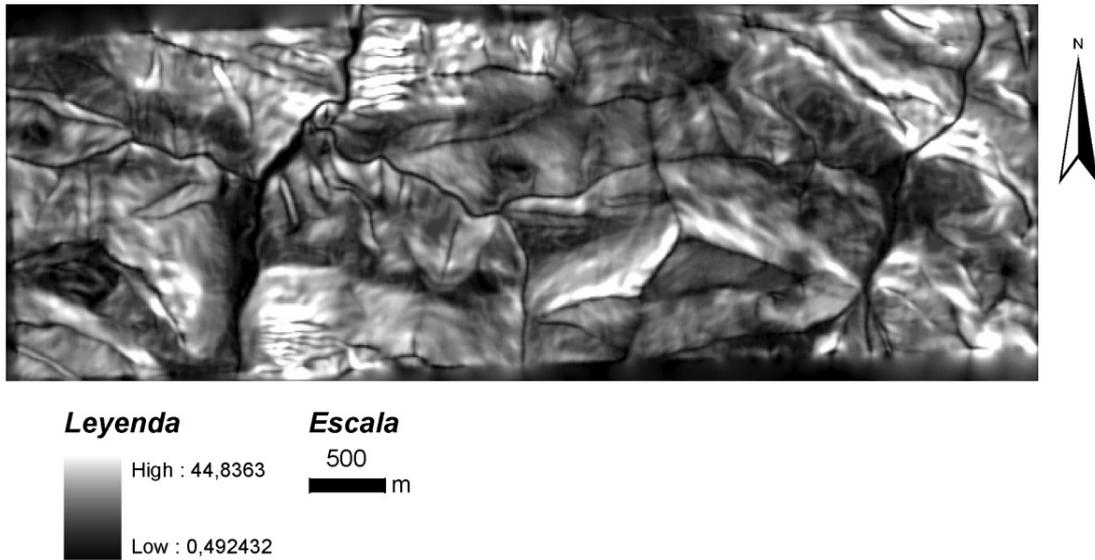


Figura 62. Representación gráfica Modelo Digital de Índice de Relieve para la zona de La Vid-Bosque. leyenda en metros.

5.6 Caracterización del muestreo

En las siguientes tablas podemos apreciar el valor de pendiente, de curvatura y de Índice de relieve para los puntos en los que se han tomado muestras de suelo en las 4 laderas presentadas.



5.6.1 Resultados de la caracterización para la zona del Mocosu

ID	X (m)	Y (m)	H (m)	VALOR PENDIENTE (°)	VALOR CURVATURA	VALOR I.R (m)
M1	721588,000	4770934,000	1830,872	8,730	1,832	4,758
M2	721588,000	4770924,000	1831,064	4,964	1,732	2,535
M3	721584,000	4770910,000	1825,999	18,046	-0,342	6,608
M4	721583,000	4770901,000	1822,909	16,376	-0,319	5,923
M5	721581,000	4770888,000	1820,120	14,939	-0,265	5,379
M6	721580,000	4770877,000	1817,574	14,243	-0,037	5,100
M7	721578,000	4770864,000	1815,049	14,607	0,152	5,259
M8	721576,000	4770853,000	1809,334	18,275	0,547	6,634
M9	721577,000	4770841,000	1805,760	18,256	-0,557	6,635
M10	721569,000	4770830,000	1802,703	16,018	-0,377	5,764
M11	721568,000	4770816,000	1800,007	14,664	-0,175	5,281
M12	721564,000	4770807,000	1797,458	14,058	-0,089	5,025
M13	721551,000	4770801,000	1794,982	13,910	-0,023	4,978
M14	721554,000	4770784,000	1792,506	13,936	-0,015	4,980
M15	721543,000	4770774,000	1790,018	13,970	-0,035	5,002
M16	721536,000	4770752,000	1782,590	14,120	0,100	5,084
M17	721531,000	4770728,000	1777,364	15,871	0,327	5,783
M18	721526,000	4770705,000	1770,839	18,019	-0,625	6,742
M19	721522,000	4770682,000	1762,485	14,654	-0,151	5,371
M20	721514,000	4770649,000	1754,768	14,327	-0,174	5,359
M21	721510,000	4770629,000	1749,879	13,767	0,253	5,269
M22	721514,000	4770599,000	1742,495	13,938	0,151	5,033
M23	721506,000	4770565,000	1735,008	13,974	-0,017	5,040
M24	721502,000	4770535,000	1727,483	14,069	-0,184	5,162
M25	721494,000	4770504,000	1720,136	13,645	-0,598	5,674
M26	721488,000	4770473,000	1711,584	13,050	-0,073	6,006
M27	721487,000	4770477,000	1713,743	12,481	-0,031	5,805
M28	721484,000	4770424,000	1704,186	13,633	0,757	6,414
M29	721502,000	4770402,000	1696,089	10,934	0,108	5,401
M30	721595,000	4770304,000	1675,565	5,979	-1,206	2,371



5.6.2 Resultados de la caracterización para la zona de Cuarcita-Bosque

ID	X (m)	Y (m)	H (m)	VALOR PENDIENTE (°)	VALOR CURVATURA	VALOR I.R (m)
QBos1	714805,000	4778273,000	1228,871	20,797	0,472	9,544
QBos2	714808,000	4778273,000	1227,605	20,544	0,246	9,635
QBos3	714820,000	4778272,000	1226,253	20,390	-0,064	9,601
QBos4	714807,000	4778310,000	1213,720	20,125	0,585	9,192
QBos5	714821,000	4778321,000	1208,929	21,728	0,664	10,076
QBos6	714813,000	4778337,000	1201,741	26,178	0,693	12,375
QBos7	714802,000	4778332,000	1207,351	22,824	0,459	10,583
QBos8	714794,000	4778327,000	1208,586	22,605	0,829	10,262
QBos9	714809,000	4778354,000	1196,752	29,796	1,160	14,372
QBos10	714813,000	4778376,000	1178,032	32,976	-0,446	16,390
QBos11	714807,000	4778376,000	1178,032	32,976	-0,446	16,390
QBos12	714810,000	4778404,000	1166,420	30,903	-0,084	15,217
QBos13	714822,000	4778421,000	1153,123	32,040	0,558	15,729
QBos14	714808,000	4778413,000	1160,765	31,204	0,190	15,244
QBos15	714819,000	4778452,000	1134,338	33,405	0,216	16,113
QBos16	714812,000	4778464,000	1129,447	33,515	0,196	15,732
QBos17	714813,000	4778468,000	1123,002	33,308	0,317	15,271
QBos18	714809,000	4778494,000	1110,086	32,877	0,188	14,231
QBos19	714835,000	4778526,000	1084,073	29,873	0,194	12,872
QBos20	714825,000	4778478,000	1115,449	32,218	0,130	14,787
QBos21	714816,000	4778554,000	1074,295	19,203	-2,423	8,023
QBos22	714811,000	4778538,000	1079,203	25,752	-1,139	10,413
QBos23	714818,000	4778548,000	1074,295	19,203	-2,423	8,023
QBos24	714813,000	4778555,000	1072,922	10,121	-5,995	6,344



5.6.3 Resultados de la caracterización para la zona de Cuarcita-Brezal

ID	X (m)	Y (m)	H (m)	VALOR PENDIENTE (°)	VALOR CURVATURA	VALOR I.R (m)
QBre1	714423,000	4778741,000	1292,599	27,083	2,200	11,975
QBre2	714430,000	4778730,000	1285,661	30,047	1,160	15,038
QBre3	714441,000	4778724,000	1277,561	31,337	1,010	16,769
QBre4	714455,000	4778718,000	1272,410	30,449	0,598	16,170
QBre5	714462,000	4778712,000	1264,125	30,847	0,494	16,768
QBre6	714473,000	4778701,000	1255,642	30,703	0,190	16,730
QBre7	714477,000	4778687,000	1247,395	30,736	0,732	16,922
QBre8	714486,000	4778688,000	1243,060	30,975	0,708	16,999
QBre9	714505,000	4778688,000	1238,580	31,147	0,554	17,085
QBre10	714508,000	4778679,000	1229,751	32,430	0,270	17,965
QBre11	714521,000	4778672,000	1220,616	32,924	-0,030	18,265
QBre12	714532,000	4778660,000	1211,486	32,950	-0,062	18,217
QBre13	714547,000	4778644,000	1193,889	30,869	0,047	16,779
QBre14	714556,000	4778632,000	1185,620	30,651	0,194	16,634
QBre15	714569,000	4778628,000	1182,056	30,775	0,299	16,748
QBre16	714571,000	4778602,000	1166,977	32,513	0,113	17,674
QBre17	714578,000	4778611,000	1168,512	32,489	0,379	17,730
QBre18	714586,000	4778621,000	1169,571	32,263	0,205	17,708
QBre19	714610,000	4778587,000	1147,383	30,394	-0,121	16,286
QBre20	714633,000	4778564,000	1126,896	29,980	0,172	15,932

5.6.4 Resultados de la caracterización para la zona de La Vid- Bosque

ID	X (m)	Y (m)	H (m)	VALOR PENDIENTE (°)	VALOR CURVATURA	VALOR I.R (m)
LBos1	718730,000	4774619,000	1115,144	29,501	1,467	12,825
LBos2	718717,000	4774622,000	1108,176	29,957	1,750	15,356
LBos3	718712,000	4774621,000	1108,176	29,957	1,750	15,356
LBos4	718685,000	4774625,000	1092,952	27,636	1,968	13,338
LBos5	718667,000	4774629,000	1083,150	27,228	2,170	12,018
LBos6	718673,000	4774631,000	1085,664	28,105	1,005	14,831
LBos7	718666,000	4774634,000	1081,239	27,952	1,568	14,535
LBos8	718645,000	4774647,000	1068,404	31,034	1,377	16,318
LBos10	718628,000	4774650,000	1057,666	28,400	0,050	13,828
LBos11	718610,000	4774662,000	1046,435	15,066	-2,903	7,681
LBos12	718620,000	4774652,000	1051,118	23,856	-0,527	11,231



6. CONCLUSIONES



Los objetivos planteados al inicio del trabajo, que son los siguientes, han sido alcanzados:

- *Realización de una toma de datos de elevaciones detallada con trabajo de campo y utilización de GPS diferencial para un total de 589 puntos.*
- *Lectura de la topografía 1:5000 del área de estudio y a partir de ella en el entorno "ArcGIS" generar los MDE.*
- *Ensayo de los dos algoritmos disponibles en el software GIS para la elaboración del MDE: interpolación intermedia en formato TIN e interpolación directa del formato matricial (herramienta "Topo To Raster"). En ambos casos se crearon MDE con diferente resolución.*
- *Comparación de los modelos creados con los datos obtenidos en el campo y a partir de esta comparación, selección del MDE con mejor ajuste.*
- *Crear los MDT derivados para realizar la caracterización del muestreo.*

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que los modelos creados con ambos métodos presentan un grado de ajuste muy similar. Los valores de error medidos (*diferencias de altitud entre la altitud medida en el campo y la dada por el modelo*) se pueden considerar muy bajos. La media de error está entre 1,9 y 2,6 m y solo en un caso el error máximo se aproxima a los 10 m de diferencia. Con carácter general el grado de error, tanto la media como los valores máximos y mínimos, aumentan al aumentar el tamaño de celda del modelo.

Aunque las diferencias son muy pequeñas, el estudio de los percentiles de error parece indicar que el modelo más preciso es el construido con la herramienta "*Topo to Raster*" con celda de 10 m. En este modelo la diferencia de altitudes en los 589 puntos medidos toma un valor medio de 1,915m, máximo de 6,185m y mínimo de 0,005m. El segundo modelo con mejor ajuste, de acuerdo con los percentiles de error, es el realizado a través de TIN con celda de 20m. En este caso la diferencia de altitudes en los 589 puntos medidos toma un valor medio de 2,159 m, máximo de 7,285 m y mínimo de 0,002 m.



La comparación visual de los puntos con mayores diferencias en las cotas para estos dos modelos parece indicar que el primero de ellos (*Topo to Raster con celda de 10 m*) tiene un mejor ajuste en las zonas de fuerte pendiente, mientras que la interpolación con "TIN" se desvía algo menos en las zonas con pendiente más suave. Teniendo en cuenta que los puntos de muestreo para los que se quiere caracterizar el relieve se encuentran en laderas con una pendiente importante (*en muchos casos superior a 25°*) se ha seleccionado el MDE construido con la herramienta "Topo to Raster" con celda de 10 m. A partir de este MDE se han elaborado los Modelos de Pendientes, Curvatura e Índice de Relieve y los valores de estas variables han sido calculados para cada uno de los puntos con toma de muestra de suelos. Como se ha indicado en la introducción estos valores serán utilizados para interpretar los valores de erosión del suelo que se esperan obtener a partir del contenido de ^{137}Cs en el suelo.



7. BIBLIOGRAFÍA



ESRI® (2008) Software ArcGis 9.3.

FARJAS, M. "Redes Topográficas", [en línea]. Disponible en la web:

http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Tema_10_Teoria.pdf [Consulta: 10 de diciembre de 2012]

FARJAS, M. "Aplicaciones topográficas del GPS", [en línea]. Disponible en la web:

http://ocw.upm.es/ingenieria-cartografica-geodesica-y-fotogrametria/topografia-ii/Teoria_GPS_Tema_12.pdf [Consulta: 19 de diciembre de 2012]

FELICÍSIMO, A.M. (1994) Modelos digitales del terreno. Introducción y aplicaciones en ciencias ambientales. Pentalfa Ediciones. 220 pp.

Instituto Geográfico Nacional <http://www.geo.ign.es>

KRAUS, K. et al., (2006). Local accuracy measures for digital terrain models. *Photogrammetric Record*, 21 (116): 342-354.

LI, Z. (1998). On the measure of digital terrain accuracy, *Photogrammetric Record*, 12 (72):873-877.

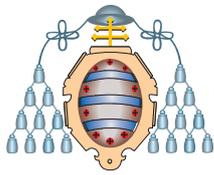
PÉREZ MARTÍN, E. (2008) Estudio histórico-tecnológico y representación gráfica de los molinos de viento de la mancha, en la España de los siglos XVI al XIX, mediante técnicas de dibujo asistido por ordenador (DAO). Tesis (Doctoral), E.T.S.I Agrónomos (UPM)

RACOVITEANU, A. E. (2007) Evaluating digital elevation models for glaciologic applications: An example from NevadoCoropuna, Peruvian Andes. *Global and Planetary Change*. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.036.

YANG, X. AND DOLER, T. (2000) Visual and statistical comparisons of surface modelling techniques for point-based environmental data. *Cartography and Geographic Information Science*, 27 (2): 165 – 175.



RESEÑA



ANÁLISIS DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS DEL TERRENO



C O O R D E N A D A S P U N T O : B A S E

ETRS-89

Λ : 43° 3' 31,57999" N
 ϕ : 6° 16' 42,09775" W
Altura elipsoidal: 1888,730m

X_{UTM} : 721630,575m
 Y_{UTM} : 4770936,710m
Huso: 29

LOCALES ED-50

Λ : 43° 3' 35,58896" N
 ϕ : 6° 16' 36,91884" W

Altura ortométrica: 1831,830m

INFORMACIÓN

Nombre: Base.

Fecha de señalización: 25-10-2012

Tipo de señal: Estaca de madera.
con clavo de acero en el centro.

Planimetría: GPS estático relativo.

Cota: Observación GPS estático
relativo. Aplicación del modelo del geoide
EGM08 en postproceso.

Situación: Situado en la parte alta de
la ladera sur del Monte mocoso , en la
zona Este.

SITUACIÓN



FOTOGRAFÍA DEL PUNTO



ANEXOS

Coordenadas de los puntos medidos

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
100	721635,794	4770920,545	1829,174
101	721630,953	4770920,769	1829,213
102	721626,931	4770920,233	1829,047
103	721624,428	4770920,181	1828,959
104	721621,333	4770919,984	1828,57
106	721616,259	4770919,079	1828,888
107	721619,232	4770919,154	1828,358
108	721614,747	4770920,345	1829,491
109	721612,319	4770920,407	1830,063
110	721607,631	4770920,475	1830,69
111	721607,57	4770916,033	1829,576
112	721611,557	4770916,426	1829,25
113	721614,812	4770916,453	1828,61
114	721618,428	4770916,182	1827,881
115	721622,637	4770915,905	1828
116	721626,988	4770915,615	1828,275
117	721631,212	4770915,117	1828,12
118	721636,315	4770914,689	1827,927
119	721637,009	4770910,323	1826,834
120	721632,745	4770909,597	1826,743
121	721628,029	4770909,924	1826,934
122	721622,845	4770909,093	1826,457
123	721619,09	4770908,58	1826,334
124	721615,33	4770908,102	1826,604
125	721609,124	4770907,913	1827,326
126	721608,413	4770904,395	1826,334
127	721612,109	4770904,876	1826,185
128	721616,684	4770905,916	1825,999
129	721620,329	4770906,587	1825,871
130	721624,939	4770907,333	1826,155
131	721629,797	4770907,734	1826,363
132	721633,851	4770907,987	1826,316
133	721637,75	4770907,729	1826,057
134	721637,747	4770902,397	1824,706
135	721633,699	4770901,803	1824,65
136	721628,954	4770901,967	1824,8
137	721623,944	4770901,496	1824,625
138	721617,878	4770901,097	1824,801
139	721611,735	4770900,142	1824,95

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
140	721611,367	4770895,471	1823,704
141	721616,013	4770896,389	1823,739
142	721620,713	4770897,404	1823,618
143	721625,872	4770897,788	1823,642
144	721630,752	4770898,38	1823,731
145	721634,481	4770898,558	1823,661
146	721638,475	4770898,751	1823,582
147	721638,678	4770894,726	1822,448
148	721633,769	4770893,427	1822,258
149	721628,161	4770892,265	1822,309
150	721621,023	4770891,425	1822,386
151	721615,63	4770889,956	1822,315
152	721615,627	4770884,457	1821,005
153	721619,74	4770885,291	1820,913
154	721625,019	4770885,414	1820,363
155	721631,407	4770885,924	1820,442
156	721636,281	4770885,513	1820,075
157	721640,626	4770885,472	1819,736
158	721640,479	4770880,625	1818,112
159	721636,27	4770879,706	1818,052
160	721630,711	4770880,058	1818,358
161	721626,045	4770879,383	1818,069
162	721622,335	4770878,451	1818,295
163	721617,747	4770877,034	1818,727
164	721614,616	4770876,222	1818,686
165	721614,734	4770871,923	1817,539
166	721617,936	4770872,165	1817,288
169	721621,398	4770872,802	1816,712
170	721625,221	4770874,147	1815,983
171	721627,837	4770874,851	1815,925
172	721631,243	4770874,804	1816,065
173	721634,035	4770875,05	1816,417
174	721637,754	4770875,478	1816,531
175	721641,525	4770875,801	1816,23
176	721642,783	4770872,076	1814,946
177	721639,193	4770870,627	1814,974
178	721634,288	4770869,198	1814,833
179	721629,893	4770867,633	1814,728
180	721626,192	4770866,893	1815,119

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
181	721621,846	4770865,994	1815,378
182	721617,089	4770865,523	1815,575
183	721622,333	4770869,989	1815,945
184	721625,119	4770870,878	1815,184
185	721626,489	4770873,352	1815,456
186	721629,208	4770872,778	1815,125
187	721629,104	4770870,575	1814,776
188	721625,925	4770869,68	1815,03
189	721623,276	4770867,778	1815,545
190	721627,11	4770866,379	1814,99
191	721631,701	4770866,385	1814,422
192	721636,703	4770866,358	1814,32
193	721641,071	4770866,566	1814,171
194	721644,613	4770866,204	1813,727
195	721644,77	4770861,72	1812,58
196	721640,821	4770861,412	1812,99
197	721635,743	4770860,495	1813,106
198	721630,923	4770859,795	1813,193
199	721625,433	4770859,403	1813,493
200	721619,054	4770858,385	1813,441
201	721619,413	4770854,103	1812,143
202	721624,364	4770854,81	1812,185
203	721630,315	4770854,663	1811,877
204	721636,427	4770854,667	1811,448
205	721646,042	4770855,325	1810,842
206	721646,359	4770850,661	1809,32
207	721640,389	4770849,54	1809,519
208	721635,233	4770848,556	1809,689
209	721628,647	4770847,102	1809,648
210	721623,596	4770846,023	1809,539
211	721624,092	4770841,288	1807,999
212	721628,797	4770841,503	1807,86
213	721634,008	4770841,771	1807,538
214	721639,757	4770842,077	1807,007
215	721646,866	4770842,52	1806,516
216	721646,877	4770835,351	1804,022
217	721642,208	4770834,249	1803,996
218	721636,25	4770833,188	1804,392
219	721631,201	4770832,085	1804,463
220	721625,793	4770830,664	1804,385

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
221	721622,117	4770829,852	1804,513
222	721622,274	4770825,399	1802,988
223	721626,727	4770825,619	1802,791
224	721631,213	4770825,596	1802,422
225	721636,23	4770825,821	1802,099
226	721640,869	4770826,311	1801,795
227	721647,823	4770826,458	1801,027
228	721647,984	4770820,91	1799,497
229	721642,75	4770819,354	1799,688
230	721637,746	4770818,507	1799,931
231	721632,182	4770817,603	1800,041
232	721625,778	4770816,972	1800,337
233	721625,593	4770813,38	1799,573
234	721630,127	4770814,071	1799,269
235	721634,734	4770814,606	1798,978
236	721638,768	4770815,001	1798,911
237	721646,522	4770815,657	1798,31
238	721646,459	4770814,032	1797,652
239	721642,806	4770813,059	1797,782
240	721638,719	4770812,51	1798,113
241	721631,664	4770811,613	1798,42
242	721628,134	4770810,35	1798,515
243	721628,333	4770808,418	1798,081
244	721631,766	4770807,92	1797,211
245	721636,098	4770809,028	1797,313
246	721639,939	4770810,922	1797,359
247	721644,099	4770813,128	1797,675
248	721646,302	4770813,421	1797,469
249	721646,759	4770811,51	1796,332
250	721643,804	4770810,571	1796,351
251	721639,919	4770809,394	1796,754
252	721635,327	4770808,544	1797,256
253	721631,232	4770807,621	1797,198
254	721632,065	4770805,81	1796,379
255	721635,234	4770805,451	1795,956
256	721639,229	4770806,533	1795,598
257	721644,159	4770808,175	1795,177
258	721647,142	4770809,731	1795,259
259	721648,798	4770805,485	1793,608
260	721644,604	4770804,082	1793,835

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
261	721640,123	4770802,131	1793,985
262	721635,333	4770799,957	1794,106
263	721632,918	4770800,288	1794,436
264	721632,54	4770802,992	1795,305
265	721635,864	4770804,494	1795,528
266	721640,167	4770806,087	1795,214
267	721644,628	4770808,119	1795,051
268	721649,462	4770808,436	1794,387
269	721653,01	4770807,619	1793,506
270	721656,182	4770803,088	1792,42
271	721652,008	4770800,363	1792,867
272	721646,806	4770797,46	1793,03
273	721643,448	4770795,8	1792,716
274	721638,926	4770794,097	1792,435
275	721638,16	4770797,849	1793,281
276	721642,375	4770800,212	1793,656
277	721643,994	4770802,94	1793,795
278	721628,436	4770791,903	1793,154
279	721625,355	4770790,791	1793,186
280	721623,904	4770787,533	1792,503
281	721628,293	4770788,565	1792,418
282	721633,604	4770789,932	1792,01
283	721639,397	4770791,719	1791,91
284	721644,31	4770793,038	1792,054
285	721646,226	4770788,707	1790,387
286	721642,172	4770786,82	1790,241
287	721637,248	4770785,224	1790,213
288	721630,271	4770783,056	1790,639
289	721624,546	4770782,022	1790,731
290	721623,669	4770778,585	1789,716
291	721628,914	4770779,702	1789,684
292	721634,245	4770781,063	1789,36
293	721641,628	4770781,609	1788,57
294	721643,359	4770777,783	1787,401
295	721647,514	4770778,936	1787,122
296	721649,144	4770775,208	1785,742
297	721645,244	4770773,087	1785,693
298	721640,688	4770772,226	1786,01
299	721634,255	4770770,606	1786,462
300	721627,352	4770769,534	1786,687

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
301	721621,633	4770768,963	1786,978
302	721618,106	4770767,626	1786,749
303	721615,751	4770763,083	1785,511
304	721620,941	4770762,973	1785,033
305	721625,687	4770763,623	1784,947
306	721631,873	4770764,542	1784,508
307	721638,326	4770766,383	1784,356
308	721639,856	4770762,315	1782,826
309	721635,65	4770761,113	1783,063
310	721630,397	4770759,879	1783,364
311	721623,576	4770758,244	1783,508
312	721616,929	4770757,453	1783,762
313	721614,954	4770752,413	1782,598
314	721619,894	4770752,377	1782,185
315	721626,047	4770752,798	1781,685
316	721631,873	4770753,864	1781,341
317	721638,54	4770755,402	1780,855
318	721638,87	4770750,263	1779,311
319	721634,418	4770749,486	1779,716
320	721628,592	4770748,158	1780,04
321	721622,497	4770746,817	1780,232
322	721617,422	4770745,19	1780,198
323	721614,296	4770740,614	1778,972
324	721618,8	4770740,757	1778,661
325	721623,482	4770741,87	1778,679
326	721630,465	4770742,428	1778,255
327	721631,239	4770737,465	1776,772
328	721626,851	4770735,932	1776,815
329	721621,751	4770734,595	1776,79
330	721613,978	4770733,471	1776,962
331	721608,835	4770731,722	1776,855
332	721606,038	4770731,734	1776,941
333	721604,176	4770726,794	1775,903
334	721609,072	4770726,532	1775,537
335	721614,792	4770727,538	1775,486
336	721623,523	4770728,303	1775,082
337	721630,543	4770728,466	1774,283
338	721631,201	4770722,795	1772,583
339	721626,554	4770721,503	1772,834
340	721621,546	4770720,433	1773,155

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
341	721616,534	4770719,649	1773,298
342	721609,975	4770718,432	1773,391
343	721604,408	4770717,447	1773,476
344	721603,453	4770712,665	1772,256
345	721608,161	4770712,383	1771,896
346	721614,222	4770712,399	1771,576
347	721621,319	4770712,738	1771,011
348	721621,784	4770708,559	1769,866
349	721626,13	4770709,706	1769,736
350	721627,721	4770705,924	1768,448
351	721631,973	4770707,205	1768,121
352	721633,606	4770701,948	1766,306
353	721629,46	4770700,202	1766,51
354	721624,726	4770698,841	1767,696
355	721619,798	4770696,982	1767,328
356	721614,524	4770695,184	1766,916
357	721609,349	4770693,453	1766,93
358	721602,462	4770691,372	1766,898
359	721604,593	4770684,995	1764,983
360	721610,481	4770686,306	1764,832
361	721615,883	4770687,438	1764,698
362	721622,736	4770690,133	1764,457
363	721630,298	4770691,901	1763,953
364	721631,9	4770687,435	1762,202
365	721628,936	4770685,946	1762,211
366	721624,977	4770684,989	1762,639
367	721618,647	4770683,295	1762,977
368	721612,529	4770681,176	1763,141
369	721605,863	4770679,12	1762,97
370	721603,088	4770676,681	1762,364
371	721598,261	4770675,968	1762,548
372	721597,721	4770680,352	1763,999
373	721597,626	4770683,799	1764,942
374	721597,749	4770688,641	1766,283
375	721602,895	4770685,591	1765,35
376	721592,335	4770672,021	1761,511
377	721596,613	4770672,233	1761,394
378	721600,911	4770672,002	1761,02
379	721608,686	4770673,037	1760,64
380	721615,082	4770673,054	1760,004

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
381	721617,406	4770667,797	1758,105
382	721613,298	4770665,808	1758,029
383	721608,219	4770664,262	1757,939
384	721602,834	4770662,723	1757,867
385	721598,23	4770661,941	1758,027
386	721592,656	4770660,709	1758,003
387	721592,235	4770663,25	1758,776
388	721592,106	4770666,722	1759,85
389	721592,023	4770670,185	1760,931
390	721591,808	4770674,019	1762,094
391	721591,638	4770657,221	1756,794
392	721595,352	4770657,824	1756,81
393	721600,233	4770657,874	1756,448
394	721606,42	4770658,521	1756,222
395	721613,194	4770659,532	1755,871
396	721615,371	4770656,208	1754,652
398	721611,469	4770654,93	1754,624
399	721604,972	4770653,601	1754,699
400	721599,448	4770652,551	1754,688
401	721593,108	4770651,376	1754,531
402	721587,382	4770649,97	1754,163
403	721586,71	4770646,288	1752,848
404	721592,03	4770646,219	1752,638
405	721596,866	4770646,298	1752,642
406	721602,135	4770647,044	1752,788
407	721609,495	4770647,331	1752,487
408	721610,993	4770641,372	1750,8
409	721606,488	4770640,229	1750,566
410	721600,846	4770639,464	1750,311
411	721593,026	4770637,815	1750,336
412	721593,247	4770632,685	1749,202
413	721597,773	4770633,31	1749,066
414	721590,897	4770632,653	1749,375
415	721587,091	4770631,86	1749,408
416	721580,52	4770630,382	1749,493
417	721578,838	4770634,772	1750,749
418	721577,983	4770639,822	1752,055
419	721576,448	4770645,946	1753,935
420	721575,824	4770652,653	1756,008
421	721574,787	4770627,146	1749,074

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
422	721574,423	4770622,06	1747,917
423	721578,685	4770623,057	1748,01
424	721583,536	4770624,301	1747,969
425	721590,052	4770625,838	1748,047
426	721595,572	4770627	1748,066
427	721596,254	4770620,136	1746,585
428	721591,945	4770618,624	1746,342
429	721585,461	4770616,84	1746,201
430	721578,296	4770615,617	1746,087
431	721574,139	4770614,853	1746,017
432	721573,854	4770610,618	1745,017
433	721578,489	4770611,238	1745,028
434	721584,636	4770611,624	1744,883
435	721592,491	4770612,354	1744,815
436	721594,612	4770607,584	1743,594
437	721589,736	4770606,193	1743,474
438	721584,823	4770605,479	1743,412
439	721577,267	4770604,052	1743,366
440	721572,404	4770603,663	1743,47
441	721572,058	4770598,292	1742,068
442	721577,207	4770599,032	1742,094
443	721583,505	4770599,636	1742,082
444	721588,262	4770599,793	1742,003
445	721590,554	4770595,194	1740,753
446	721586,457	4770593,74	1740,69
447	721581,401	4770592,682	1740,535
448	721574,351	4770591,552	1740,316
449	721574,128	4770585,551	1739,036
450	721571,147	4770584,305	1738,728
451	721572,052	4770579,134	1737,631
452	721576,185	4770579,298	1737,607
453	721582,595	4770580,341	1737,822
454	721589,569	4770581,175	1737,696
456	721591,617	4770580,8	1737,385
457	721593,823	4770577,291	1736,347
458	721589,974	4770575,421	1736,218
459	721585,299	4770574,326	1736,299
460	721579,391	4770572,791	1736,158
461	721579,617	4770567,399	1735,066
462	721583,628	4770568,263	1734,984

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
463	721589,076	4770568,992	1734,744
464	721593,493	4770569,957	1734,658
465	721598,105	4770570,321	1734,34
466	721600,043	4770565,584	1732,979
467	721600,084	4770565,605	1732,98
468	721598,485	4770570,091	1734,238
469	721598,437	4770570,107	1734,238
470	721600,274	4770565,323	1732,923
471	721596,498	4770563,54	1732,956
472	721591,701	4770562,011	1733,028
473	721586,332	4770560,725	1733,015
474	721584,076	4770556,211	1731,901
475	721582,333	4770559,668	1733,026
476	721575,66	4770558,488	1733,068
477	721576,115	4770558,551	1733,176
478	721581,926	4770560,436	1733,321
479	721573,901	4770558,523	1733,166
496	721590,684	4770547,474	1729,521
497	721587,815	4770546,839	1729,527
498	721586,798	4770546,735	1729,277
499	721583,842	4770545,445	1729,517
500	721588,069	4770546,923	1729,576
650	721566,866	4770560,593	1733,871
651	721565,384	4770564,85	1735,048
652	721569,412	4770567,017	1735,418
653	721573,379	4770567,416	1735,418
654	721579,596	4770569,572	1735,476
655	721585,585	4770571,531	1735,513
656	721592,575	4770573,705	1735,539
657	721594,11	4770579,435	1736,809
658	721586,765	4770577,535	1737,097
659	721580,51	4770576,582	1737,026
660	721571,096	4770573,276	1736,606
661	721574,457	4770558,844	1733,21
670	721575,461	4770553,962	1732,036
671	721580,383	4770555,154	1732,065
672	721585,943	4770556,799	1732,087
673	721594,391	4770558,538	1731,975
674	721596,621	4770552,871	1730,332
675	721592,382	4770550,788	1730,163

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
676	721588,299	4770548,741	1729,942
677	721582,185	4770547,59	1730,045
678	721573,26	4770545,525	1730,018
679	721572,004	4770540,535	1728,805
680	721577,72	4770541,981	1728,9
681	721584,508	4770544,18	1729,2
682	721590,732	4770546,219	1729,187
683	721598,471	4770548,849	1729,158
684	721601,462	4770543,787	1727,586
685	721595,654	4770540,799	1727,287
686	721589,181	4770538,585	1727,362
687	721583,386	4770536,652	1727,347
688	721572,214	4770532,53	1726,735
689	721574,392	4770527,286	1725,309
690	721579,414	4770528,204	1725,246
691	721584,93	4770528,604	1724,93
692	721590,114	4770529,456	1724,605
693	721596,392	4770530,325	1723,96
694	721604,339	4770531,3	1723,319
695	721610,078	4770531,884	1723,222
696	721612,535	4770526,459	1721,693
697	721607,463	4770524,382	1721,192
698	721601,06	4770523,37	1721,082
699	721593,927	4770521,217	1721,663
700	721584,097	4770516,574	1721,636
701	721586,434	4770510,585	1719,692
702	721592,073	4770512,125	1719,675
703	721598,135	4770513,984	1719,197
704	721604,903	4770516,057	1718,621
705	721611,263	4770517,575	1719,102
706	721612,094	4770512,133	1717,617
707	721607,903	4770510,925	1717,299
708	721602,425	4770509,17	1717,581
709	721596,704	4770507,356	1718,078
710	721589,767	4770504,691	1718,019
711	721592,912	4770498,104	1715,789
712	721598,735	4770499,425	1715,782
713	721605,191	4770501,605	1715,545
714	721609,869	4770503,397	1715,423
715	721614,167	4770504,643	1715,463

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
716	721617,339	4770499,407	1713,951
717	721612,825	4770497,547	1713,703
718	721607,366	4770496,167	1713,815
719	721602,461	4770495,207	1714,132
720	721595,066	4770492,675	1713,858
721	721596,387	4770488,439	1712,24
722	721602,174	4770489,295	1712,412
723	721609,467	4770490,868	1712,04
724	721616,812	4770491,867	1711,91
725	721626,463	4770493,203	1711,598
726	721628,15	4770486,49	1709,71
727	721632,292	4770486,331	1709,337
728	721631,21	4770486,874	1709,538
729	721625,206	4770485,854	1709,743
730	721616,596	4770484,122	1709,641
731	721609,902	4770483,087	1709,634
732	721601,426	4770481,388	1709,451
733	721598,251	4770480,288	1709,024
734	721598,55	4770476,583	1707,619
735	721604,125	4770476,274	1707,528
736	721610,75	4770475,765	1707,292
737	721620,718	4770475,684	1706,847
738	721624,324	4770476,244	1706,988
739	721626,855	4770471,3	1705,332
740	721621,852	4770470,624	1705,371
741	721614,218	4770469,773	1705,295
742	721607,754	4770468,997	1704,81
743	721601,24	4770468,209	1704,43
744	721599,971	4770461,82	1702,259
745	721605,461	4770461,661	1702,356
746	721610,698	4770461,588	1704,047
747	721616,944	4770461,501	1702,939
748	721626,4	4770459,745	1702,529
749	721626,834	4770453,068	1701,063
750	721621,024	4770453,518	1701,161
751	721613,812	4770453,806	1700,788
752	721603,525	4770454,295	1700,343
753	721602,016	4770448,926	1699,186
754	721606,861	4770447,907	1699,168
755	721612,58	4770446,256	1699,146

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
756	721617,235	4770443,924	1699,909
757	721626,611	4770442,588	1697,912
758	721626,869	4770436,699	1698,345
759	721621,749	4770436,624	1698,393
760	721613,887	4770436,679	1697,929
761	721607,399	4770437,121	1697,547
762	721601,632	4770436,99	1697,297
763	721601,475	4770431,83	1696,428
764	721606,223	4770431,856	1696,656
765	721612,051	4770431,409	1697,056
766	721621,062	4770431,048	1696,815
767	721621,262	4770424,866	1696,247
768	721616,173	4770425,377	1696,283
769	721609,841	4770425,881	1695,993
770	721601,989	4770426,577	1695,472
771	721598,835	4770425,362	1695,132
772	721593,925	4770425,037	1695,141
773	721594,051	4770428,719	1696,019
774	721599,778	4770428,98	1695,832
775	721607,7	4770429,346	1696,336
776	721613,722	4770430,877	1697,448
777	721616,435	4770436,867	1698,137
778	721610,85	4770437,88	1697,813
779	721605,213	4770437,41	1697,458
780	721595,135	4770438,594	1697,656
781	721591,075	4770434,134	1697,274
782	721589,211	4770419,533	1694,17
783	721593,47	4770419,918	1693,847
784	721599,147	4770420,451	1694,004
785	721603,762	4770420,684	1694,491
786	721611,078	4770420,085	1694,977
787	721616,478	4770419,08	1695,048
788	721617,89	4770413,934	1693,921
789	721613,561	4770413,71	1693,774
790	721604,519	4770413,712	1693,114
791	721596,355	4770413,853	1692,268
792	721588,338	4770413,259	1692,585
793	721587,646	4770409,585	1691,645
794	721591,797	4770409,1	1691,576
795	721596,876	4770408,306	1691,492

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
796	721602,496	4770408,057	1691,849
797	721608,503	4770407,74	1691,992
798	721613,362	4770408,041	1692,369
799	721614,017	4770402,396	1690,857
800	721607,881	4770401,833	1690,855
801	721601,647	4770401,902	1690,702
802	721589,915	4770402,653	1690,259
803	721589,134	4770396,136	1688,791
804	721594,127	4770396,354	1689,167
805	721599,782	4770396,64	1689,577
806	721607,583	4770396,761	1689,928
807	721609,805	4770390,164	1688,061
808	721602,376	4770388,593	1687,563
809	721589,352	4770388,154	1687,06
810	721588,839	4770381,65	1685,489
811	721593,985	4770381,182	1685,718
812	721601,745	4770380,793	1685,764
813	721607,042	4770380,665	1685,64
814	721613,538	4770380,633	1685,259
815	721614,822	4770374,821	1683,626
816	721607,45	4770373,881	1684,251
817	721595,175	4770374,631	1684,722
818	721588,148	4770371,391	1683,795
819	721586,662	4770378,522	1684,776
820	721584,443	4770370,33	1683,262
821	721590,865	4770368,638	1683,648
822	721599,524	4770367,563	1683,683
823	721610,198	4770368,449	1683,206
824	721611,649	4770363,413	1682,326
825	721600,513	4770360,678	1682,754
826	721589,951	4770360,971	1682,677
827	721586,708	4770358,002	1681,957
828	721586,623	4770357,963	1681,975
829	721585,067	4770352,755	1681,514
830	721583,518	4770345,764	1680,865
831	721582,1	4770338,883	1680,24
832	721579,642	4770330,595	1679,744
833	721577,882	4770324,456	1679,767
834	721576,45	4770317,196	1679,869
835	721577,209	4770310,436	1679,265

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
836	721578,347	4770305,239	1679,024
837	721583,169	4770304,063	1678,338
838	721588,252	4770303,523	1677,786
839	721594,023	4770302,43	1677,088
840	721596,518	4770305,153	1677,068
841	721597,509	4770308,964	1677,146
842	721598,546	4770314,619	1677,497
843	721600,472	4770319,204	1677,728
844	721601,012	4770328,708	1678,273
845	721601,29	4770334,483	1678,813
846	721601,17	4770339,757	1679,635
847	721601,109	4770345,047	1680,58
848	721600,406	4770350,074	1681,404
849	721598,984	4770354,633	1682,051
850	721593,028	4770355,084	1682,096
851	721592,799	4770350,649	1681,619
852	721593,009	4770346,168	1680,864
853	721592,649	4770336,743	1679,26
854	721592,224	4770327,6	1678,552
855	721592,371	4770318,587	1677,97
856	721592,44	4770306,729	1677,322
857	721587,2	4770310,038	1677,955
858	721587,487	4770318,931	1678,262
859	721587,767	4770327,587	1678,811
860	721587,85	4770335,205	1679,359
861	721588,2	4770343,868	1680,507
862	721589,339	4770350,841	1681,573
863	721592,237	4770355,28	1682,158
864	721588,722	4770360,08	1682,423
865	721584,362	4770364,573	1682,529
866	721584,399	4770369,102	1683,081

Coordenadas Punto Base

ID	X (m)	Y (m)	H (m)
BASE	721630,575	4770936,710	1831,830

PLANO



 <p>Universidad de Oviedo</p>	<p>Autor <i>Jaime Fariñas García</i></p>	<p>Título <i>Situación de los puntos medidos</i></p>	<p>Leyenda ▲ Punto Base ● Puntos medidos</p>
 <p>Escuela Politécnica de Mieres</p>	<p>Dirección <i>Rosana Menéndez Duarte</i> <i>Elena Fernández Iglesias</i></p>	<p>Escala 1:2000</p> 