

## INDICE DE LOS TRABAJOS INCLUIDOS EN ESTE CD

### **Sesión 1. CRITERIOS GEOMORFOLÓGICOS EN EL REMODELADO TOPOGRÁFICO DE ESPACIOS AFECTADOS POR LA MINERÍA**

DISEÑO GEOMORFOLÓGICO PARA EL REMODELADO DE UNA ESCOMBREIRA DENTRO DE LOS TRABAJOS DE RESTAURACIÓN AMBIENTAL DE ARLANZA (MUNICIPIO DE BEMBIBRE, LEÓN)

*Cristina de Francisco, Marta Tejedor, Néstor Hernando y Sara Nyssen*

LOS SISTEMAS GNSS COMO FUENTE DE DATOS PRECISOS PARA EL REMODELADO TOPOGRÁFICO DE ÁREAS DEGRADADAS POR LA MINERÍA

*Marco Antonio Blanco-Vázquez y José Ramón Rodríguez-Pérez*

RECONSTRUCCIÓN GEOMORFOLÓGICA COMO BASE PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE UNA ZONA DEGRADADA POR MOVIMIENTOS DE TIERRAS EN LAS INSTALACIONES DE MAXXAM EUROPE S.A. (MERINDAD DEL RÍO UBIERNA, BURGOS)

*Néstor Hernando, Cristina de Francisco, Sara Nyssen y Marta Tejedor*

APLICACIONES GEOFÍSICAS PARA EL ESTUDIO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE ESCOMBREIRAS EN EL BIERZO

*Senén Sandoval, Mariano Rodríguez y Raúl Minguez*

### **Sesión 2. ECOHIDROLOGÍA Y PROCESOS EROSIVOS EN PAISAJES RESTAURADOS**

LAS ANTIGUAS EXPLOTACIONES DE PLATA DE HIENDELAENCIA (GUADALAJARA): INFLUENCIA DE LA ACTIVIDAD EXTRACTIVA EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL ENTORNO MINERO

*Oscar Jiménez Fernández, Miguel Ángel de Pablo Hernández y Rosa Vicente Lapuente*

REVISIÓN DEL PLAN DE RESTAURACIÓN DEL ESPACIO NATURAL (PREN) DE LA MINA “EL MACHORRO”, DEL GRUPO MINERO MARÍA JOSÉ (TM DE POVEDA DE LA SIERRA, GUADALAJARA)

*Sara Nyssen, Lizano Sánchez, Cristina Martín, José Francisco Martín Duque, José Manuel Nicolau,*

*Nicholas Bugosh, Miguel Ángel Sanz, Néstor Hernando e Ignacio Zapico*

**Sesión 3. EL SUELO EN LA RESTAURACIÓN. ACTIVACIÓN DE LOS PROCESOS DE EDAFOGÉNESIS**

FACTORES LIMITANTES PARA EL DESARROLLO EDÁFICO EN ESCOMBRERAS DE LA CUENCA CARBONÍFERA DE EL BIERZO. VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS Y QUÍMICAS  
*Marcos Mejuto Mendieta, Ana Isabel Cardona García y Avelino García Álvarez*

EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES FORMAS DE CARBONO EN SUELOS AFECTADOS POR LA MINERÍA DEL CARBÓN Y SOMETIDOS A PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

*Ana Isabel Cardona García, Marcos Mejuto Mendieta, Manuel Fernández García, Miguel Sánchez Sánchez y Avelino García Álvarez*

ANÁLISIS DE LA RESTAURACIÓN DE DOS ESCOMBRERAS DE CARBÓN EN TREMOR DE ARRIBA (LEÓN) UTILIZANDO ARTRÓPODOS TERRESTRES COMO BIOINDICADORES  
*E. Jorge Trizado y Eitelvina Niñez-Pérez*

ESTUDIO DE LA DISPERSIÓN DE METALES EN ÁREAS MINERAS MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS-X (XRF)

*E. Marguñ, O. González-Fernández, M. Hidalgo, G. Pardini e I. Queral*

INDICADORES DE ACTIVIDAD MICROBIOLÓGICA EN SUELOS Y ESCOMBRERAS DE LA CUENCA CARBONÍFERA DE EL BIERZO

*Fco. Javier Díaz Puente, Marcos Mejuto Mendieta, Ana Isabel Cardona García, Vergelina Rodríguez Gallego y Avelino García Álvarez*

EL IMPACTO DE ESPACIOS MINEROS ABANDONADOS SOBRE SUELOS, VEGETACIÓN Y AGUAS EN UN TRANSECTO OESTE-ESTE DEL SUR EUROPEO  
*Giovanni Pardini, Joao Matos y Luca Fanfani*

RECUPERACIÓN DEL SUELO EN EXTRACCIONES DE ÁRIDOS  
*Álvaro Enriquez de Salamanca Sánchez-Cámara y María José Carrasco García*

**Sesión 4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LOS CRITERIOS DE RESTAURACIÓN APLICADOS EN ESCENARIOS MINEROS**

AZNALCÓLLAR HOY. LA RECUPERACIÓN DE LOS SUELOS 12 AÑOS DESPUÉS DEL VERTIDO

*F. Martín, C. Dorronsoro, M. Simón, J. Aguilar, y A. Romero*

RECUPERACIÓN DE LA PENÍNSULA SUR DEL LAGO DE AS PONTES  
*María Paz Sangiao y Jorge Rodríguez Álvarez*

**Sesión 5. PROCESOS Y REFERENTES EN RESTAURACIONES ECOLÓGICAS**

“LAND ART” COMO HERRAMIENTA PARA LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE ESPACIOS DEGRADADOS POR ACTIVIDADES MINERAS

*Almudena Rodríguez Vila*

POSIBILIDADES DE APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE BIOINGENIERÍA DEL SUELO EN LOS PROYECTOS DE RESTAURACIÓN DE ACTIVIDADES EXTRACTIVAS Y MINERAS  
*Pauia Sangalli*

PROTOCOLO PARA LA AUTOEVALUACIÓN DE LAS RESTAURACIONES EFECTUADAS EN ACTIVIDADES MINERAS

*Vicenc Carabassa, Esteve Serra, Montserrat Pedra, Oriol Ortiz y Josep Maria Alcañiz*

VALORACIÓN A MEDIO PLAZO DE ENSAYOS EN DIFERENTES ESCENARIOS DE RESTAURACIÓN EN CANTERAS DE ROCA CALIZA  
*Montse Torba y Josep M<sup>o</sup> Ninot*

ACCIONES PARA LA MEJORA DEL HÀBITAT OSERO EN ENTORNOS MINEROS DEGRADADOS DEL ALTO SIL (LEÓN)

*María Gómez-Manzanedo, José Luis García Lorenzo y Fernando Ballesteros*

**Sesión 6. CRITERIOS ECOLÓGICOS EN LA REVEGETACIÓN DE ESPACIOS DEGRADADOS**

REVEGETACION DE ZONAS MINERAS: RETOS Y SOLUCIONES PARA UNA REVEGETACION EFECTIVA

*Josu G. Alday, Rob H. Marrs y Carolina Martínez-Ruiz*

IMPORTANCIA DE LA BIODIVERSIDAD VEGETAL DE LOS ENTORNOS MINEROS

*O. Barrutia, M.A. Galende, A. Hernández, C. Garbisa y J.M.Becerril*

CARACTERIZACIÓN DE LA VEGETACIÓN NATURAL YESÍFERA MEDIANTE ANÁLISIS DE RASGOS FUNCIONALES EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

*José M. Castillejo y Miguel Berdugo*

CONTROL DE ESPECIES INVASORAS EN PROCESOS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA DE CANTERAS DE YESOS

*Laura Salgado, Vera Mariño, José M. Castillejo y Ricardo Caswell*

DIVERSIDAD FUNCIONAL DE ESPECIES LENOSAS Y RESTAURACIÓN DE ZONAS MINERAS: EL EJEMPLO DE LA CUENCA DEL RÍO GUADIAMAR

*María T. Domínguez, José Manuel Murillo, Paula Madejón, Alejandro Rodríguez y Teodoro Marañón*

EVALUACIÓN DE LA FITOESTABILIZACIÓN ASISTIDA DE UNA MINA DE Pb-Zn MEDIANTE INDICADORES FISCOQUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

*María Asunción Galende, Elicy Cristina Rojas, Gustavo Adolfo Estupiñán, Carlos Garbisa, José*

*María Becerril y Antonio Hernández*

ENSAYO DE PLANTACIÓN DE ESPECIES GIPSÓFITAS SOBRE DISTINTOS SUBSTRATOS PARA LA RESTAURACIÓN DE CANTERAS DE YESO

*M. Ballesteros., E.M. Cañadas, A. Foronda y J. Lorite*

TÉCNICAS DE RESTAURACIÓN DE TURBERAS EN NEW BRUNSWICK (CANADÁ). EFECTOS DEL MULCH EN LA TRAYECTORIA DE LAS COMUNIDADES DE PLANTAS.

*T. García Bravo, E. González Sargas, S. Hugron, J. M. Rey Benayas, G. Oliván Martínez y L. Roehlfort*

PATRÓN DE RESPUESTA DE LAS ESPECIES DE PLANTAS A LA VARIABILIDAD EDÁFICA Y TOPOGRÁFICA EN ESCOMBREBAS DE CARBÓN DEL NORTE DE PALENCIA

*D. López Marcos, M.B. Turrión Nieves y C. Martínez-Ruiz*

EFFECTO DE LOS ARBUSTOS EN LA EXPANSIÓN DE *Quercus petraea* EN ESCOMBREBAS RESTAURADAS TRAS LA MINERÍA DEL CARBÓN (NORTE DE PALENCIA, ESPAÑA)

*Paloma Torroba Bahori, M<sup>e</sup> Pilar Zaldívar García, M<sup>e</sup> Belén Fernández-Santos y Carolina Martínez-Ruiz*

**Sesión 7. ÁREAS DEGRADADAS POR LA MINERÍA COMO LEGADO HISTÓRICO. EL RETO LEGAL DE SU RESTAURACIÓN**

PATRIMONIO MINERO DE HIEDELAENCIA

*Vanessa Paredes Jiménez, M.A. de Pablo y R. Vicente*

ASPECTOS JURÍDICOS PARA GARANTIZAR LA SEGURIDAD Y LA RECUPERACIÓN DE LAS "MINAS HUÉRFANAS"

*Gonzalo Martín Mordres de Castilla*

**Sesión 8. HD+i. LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN EL CONTEXTO DE LA ACTIVIDAD EMPRESARIAL**

RECONSTRUCCIÓN GEOMORFOLÓGICA Y DE HÁBITATS EN EL PLAN DE RESTAURACIÓN DE LA CANTERA 'LOS QUEBRADEROS DE LA SERRANA' (TOLEDO, ESPAÑA)

*I. Zapico, J.F. Martín Duque, N. Bugosh, L. Balleguer, J.V. Campillo, C. de Francisco, J. García, N.*

*Hernando, J.M. Nicolau, S. Nysse, J. Orta, M.A. Sanz y M. Tejedor*

# LOS SISTEMAS GNSS COMO FUENTE DE DATOS PRECISOS PARA EL REMODELADO TOPOGRÁFICO DE ÁREAS DEGRADADAS POR LA MINERÍA

Marco Antonio Blanco-Vázquez <sup>1</sup> y José Ramón Rodríguez-Pérez <sup>2</sup>

1. Universidad de León. Grupo de Investigación GI 202-GEOINCA. Avenida de Astorga s/n, 24400-Ponferrada. León. España. mblav@unileon.es
2. Universidad de León. Grupo de Investigación GI 202-GEOINCA. Avenida de Astorga s/n, 24400-Ponferrada. León. España. jrrodp@unileon.es

## 1. INTRODUCCIÓN. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La calidad de la información cartográfica es un aspecto fundamental para cualquier proceso de restauración ecológica, en especial en las fases de diseño de la remodelación del relieve y de ejecución de las obras de restauración. Para ejecutar un proyecto de restauración en un área afectada por la minería se puede partir de cartografía ya existente, o bien hacer una cartografía a escala detallada del área de interés.

En la actualidad existe cartografía digital en diversos formatos de todo el territorio nacional. La fuente oficial más accesible a todos los usuarios es el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que a través del Centro de Descarga del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), permite obtener cartografía oficial (Base Topográfica Nacional), modelos digitales del terreno, ortofotografías del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA); esta información está disponible a través de internet (<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/>). Además cada comunidad autónoma tiene departamentos específicos que se encargan de evaluar, organizar, distribuir, etc., información cartográfica. Sin embargo, esta cartografía existente no suele tener la exactitud y precisión geométrica requerida en los proyectos de restauración ecológica, por lo que hay que recurrir a hacer un levantamiento topográfico de la zona de interés.

Para hacer un levantamiento topográfico se pueden utilizar diversas técnicas. Los métodos de topografía clásica emplean estaciones topográficas para la medición de ángulo, distancias y coordenadas de los puntos relevantes; es el método más preciso, pero exige un enorme esfuerzo en la toma de datos en campo. Los métodos topográficos basados en receptores de posicionamiento por satélite son mucho más eficientes en la toma de datos de campo, aunque no son tan precisos; el trabajo aquí presentado se centra en este último tipo de métodos topográficos.

### 1.1. Posicionamiento GNSS (Global Navigation Satellite Systems)

Los receptores GNSS permiten determinar las coordenadas de un punto de la superficie terrestre procesando la información enviada por satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Existen varios sistemas GNSS plenamente operativos. Los dos más conocidos son el sistema GPS (Global Positioning System) de EE.UU. y el

GLONASS (GLObal'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema; GLObal NAVigation Satellite System) de Rusia: las bases teóricas y el funcionamiento de ambos es muy similar. Entre los sistemas en desarrollo cabe destacar el sistema europeo (GALILEO) y el chino (COMPASS).

Existen dos métodos de posicionamiento GNSS: el autónomo (absoluto) y el diferencial (relativo). El primero utiliza la señal captada por un sólo receptor y es poco exacto y preciso. El posicionamiento relativo utiliza los datos capturados por dos receptores, uno situado en el punto de interés (móvil o rover) y otro en un punto de coordenadas conocidas (base). Los datos de la base se utilizan para corregir el posicionamiento calculado en el punto de interés y se puede hacer en el momento (corrección en tiempo real) o después de hacer la observación (corrección en post-proceso).

Lo más habitual es hacer el levantamiento topográfico en tiempo real utilizando la técnica Real Time Kinematic (RTK), que permite obtener una precisión centimétrica gracias a las correcciones de la base de referencia. El usuario puede acceder a las correcciones en tiempo real haciendo conexiones con la base mediante conexión a Internet a través de modem (GSM, GPRS, etc.) (González-Matesanz et al., 2004) o a través de Radio-Modem. La base de referencia puede ser propia o estar integrada en una red de estaciones GNSS.

## 1.2. Las redes GNSS

En la actualidad existen numerosas redes de estaciones de posicionamiento por satélite GNSS gestionadas por entidades públicas o privadas. En realidad se trata de redes de medición continua de datos GNSS con el objetivo de proveer de datos de posicionamiento por satélite a los usuarios que necesiten tener alta precisión y exactitud en la determinación de coordenadas.

Casi todas las comunidades autónomas cuentan con una red GNSS y las que no lo tienen, lo están desarrollando o cuentan con la red del IGN, o bien utilizan los datos de estaciones ubicadas en otros organismos públicos. Gracias al impulso del IGN y a la competencia de los administradores de estas redes, los datos están a disposición de todos los usuarios de forma gratuita y en formatos normalizados, con lo cual los datos de diferentes redes son compatibles entre sí. Además, para facilitar la transferencia de datos, éstos se facilitan a través de Internet.

Las ventajas que ofrece el sistema son enormes. Una de las principales es la homogeneidad en las correcciones, permitiendo trabajar a diferentes usuarios en distintos días usando un mismo sistema de referencia, con unas prestaciones similares durante todo el periodo de observación. Además, estas redes proporcionan datos en el sistema geodésico oficial (ETRS89), facilitando al usuario puntos precisos para calcular parámetros de transformación entre sistemas de referencia, implantación de microrredes locales en ETRS89, etc. De esta forma se facilita que los usuarios puedan trabajar directamente en el sistema de referencia oficial. La otra gran ventaja es que el usuario sólo necesita un receptor, con la consiguiente reducción

en la inversión económica, permitiendo un máximo rendimiento en la utilización de los receptores.

La principal limitación de estos sistemas es la dependencia de los sistemas de telecomunicación, puesto que se precisa tener cobertura de algún operador de telefonía móvil para acceder a la transmisión de datos. El inconveniente se puede salvar usando un repetidor de radio y un ordenador conectado a Internet. Otro problema es la capacidad de las líneas: en determinados momentos hay muchos usuarios conectados a la red, dificultando la transmisión de datos y la conexión de nuevos usuarios.

### 1.3. Servicios de las redes GNSS

Estas redes regionales o nacionales proporcionan a los usuarios distintos productos para correcciones diferenciales en postproceso o en tiempo real. Las opciones y configuración de equipos para acceder a los datos se especifican en los sitios web de cada red GNSS.

Servicios de postproceso. Para trabajar en postproceso, las redes GNSS guardan los datos de medición continua de cada base de referencia en bases de datos con archivos en formato estándar (RINEX). Los usuarios pueden acceder libremente a los datos de cualquier estación y personalizar la descarga de datos según sus necesidades (fecha, hora, intervalo de grabación, etc.). Este servicio permitirá conseguir posicionamiento preciso (centimétrico).

Servicios en tiempo real. Los servicios para trabajos en tiempo real proporcionan datos para el posicionamiento diferencial (posicionamiento diferencial de código C/A) o relativo mediante dos sistemas: posicionamiento relativo de fase a partir de una única estación de referencia, o posicionamiento relativo a partir de solución de red.

Mediante la utilización de una estación simple, el usuario recibe las correcciones diferenciales a partir de una sola base de la red. Es el modo de conexión más simple y compatible (en especial con los receptores GNSS más antiguos).

Con la utilización de una solución de red, el usuario recibe las correcciones a partir de información proveniente de todas las estaciones de la red. Con este tipo de corrección, la precisión no es tan dependiente de la distancia a una única base de referencia, puesto que disminuyen notablemente los errores sistemáticos de una única estación. Se puede acceder a correcciones de solución de red mediante varios sistemas. Los más utilizados son: VRS (Virtual Referente Station) y MAC (Master Auxiliary Concept).

En la conexión VRS, el usuario, al concertarse con la red, indica su posición y el centro de control calcula las coordenadas de una “base virtual” (de ahí su nombre), a partir de la cual se generarán las correcciones diferenciales. Es un sistema que requiere transmitir “pocos” datos y es relativamente simple, pero requiere una

comunicación continua entre el usuario y el centro de control del sistema (sobre el que se carga la mayor parte del cálculo).

El sistema MAC ofrece directamente la solución de red y las correcciones diferenciales en función de la ubicación del usuario. Es un sistema desarrollado con protocolos estandarizados (no dependen de ninguna marca comercial), que proporciona al usuario más control e independencia sobre el procesado de los datos, pero el volumen de transmisión de datos es mucho mayor que en el VRS, por lo que exige mayor fluidez en las comunicaciones (esto dificulta la utilización de los receptores más antiguos).

#### 1.4. Calidad de los posicionamientos en las redes GNSS

Hay numerosos artículos publicados sobre evaluaciones de precisión, exactitud, latencia, etc., en las redes GNSS para servicios en tiempo real. Los objetivos suelen ser el control de las propias estaciones de la red (como el estudio expuesto por Gárate (2008) sobre la red GNSS de Castilla y León) o la evaluación de toda la red en conjunto como los trabajos llevados a cabo en la red de Castilla y León (Martínez et al., 2004) y de la Comunidad Valenciana (Capilla et al., 2006). La metodología utilizada es muy similar: para evaluar una estación individual, se analizan los datos tomados durante un largo periodo de tiempo (24 horas) mediante *software* especializados; para evaluar la red completa se marcan puntos de chequeo sobre los que se hacen mediciones durante largos periodos de tiempo, para estimar precisiones y exactitudes en la medida de cada punto (Retscher, 2002).

Las precisiones alcanzadas dependen de diversos factores (características del receptor, horizonte, constelación disponible, cobertura de redes de telefonía, número de usuarios conectados al sistema, etc.) y es necesario chequearlas en cada sesión de trabajo. Generalizando, la precisión con un equipo de doble frecuencia (fase) podría establecerse en 1-2 cm en cualquier punto del interior de la red o a una distancia inferior a 15 km de cualquier estación de la red; con un equipo monofrecuencia se llega a obtener una precisión submétrica.

#### 1.5. Objetivo

El objetivo de este trabajo consiste en explicar la metodología utilizada para hacer un levantamiento topográfico mediante receptores GNSS; este levantamiento servirá de base para el remodelado topográfico de un área degradada. Los resultados del levantamiento serán comparados con los del modelo digital de elevaciones (MDE) producido para el PNOA.

## **2. MATERIALES y MÉTODOS**

Zona de estudio. La zona de estudio comprende unas 20 ha y está situada en la localidad de Hontomín (municipio de Merindad de Río Ubierna, provincia de Bur-

gos). Se trata de una altiplanicie con ligeras pendientes en el terreno natural, pero con fuertes desniveles en las zonas degradadas por la acción del hombre.

Materiales. Para la toma de datos en campo se usaron tres receptores GNSS de doble frecuencia (TOPCON Hiper +), dos con constelación GPS y uno con constelaciones GPS y GLONASS. Para poder operar con estos receptores se utilizaron dos colectores de datos (TOPCON FC100) con el *software* Topview (BETOP topografía S.L.). En la fase de procesado de datos, los *software* que se emplearon fueron el TOPCON Tools (TOPCON Corporation), ArcGIS (ESRI), Autocad 2006 (Autodesk) y el ISTRAM/ISPOL (Buhodra Ingeniería S.A.).

El sistema de referencia empleado fue el ETRS 89 (European Terrestrial Reference System 1989) y el sistema de proyección fue el UTM (Universal Transverse Mercator) para el Huso 30 Norte. Los valores de las coordenadas verticales se refirieron al nivel medio del mar en el mareógrafo de Alicante.

La información georreferenciada utilizada fue la ortofotografía del PNOA (PNOA\_CYL\_NE\_2009\_25cm\_OF\_rgb\_etr\_hu30\_h05\_0167\_5-4.ecw) y el modelo digital de elevaciones (MDE) de malla de 5 x 5 metros, generado a partir del vuelo del 2009 (PNOA\_CyL\_NE\_2009\_25cm\_EL\_mdt\_hu30\_h25\_0167-2\_EGM08.tif). Esta información fue descargada del servicio FTP del ITACYL (<http://ftp.itacyl.es/>). La ortofotografía se usó para comprobar la correcta posición y el MDE se utilizó para comparar con los datos del levantamiento topográfico.

Levantamiento topográfico. La primera operación que se realizó fue la implantación y la toma de las bases. Las bases son puntos de los que se requiere calcular sus coordenadas de forma muy precisa y que servirán como referencias para el levantamiento de los puntos de detalle del terreno. En este caso se implantaron cinco bases, cuyas coordenadas se determinaron con receptores GNSS trabajando en estático relativo para su solución en post-proceso. Se observaron las bases con dos receptores en campo y se descargaron los ficheros observables (formato RINEX) de dos estaciones de la red del GNSS del ITACYL: Burgos y Villadiego. Tras el postproceso con el *software* TOPCON Tools, se obtuvieron las coordenadas de las bases con precisiones superiores a 3 cm.

A continuación se procedió a la toma de los puntos de detalle del levantamiento o levantamiento taquimétrico. Se empleó el método RTK trabajando con un receptor como base propia, situado en una de las bases calculadas previamente (receptor que emite las correcciones vía Radio-Modem) y los otros dos receptores fueron usados por dos operarios para la toma de los puntos de detalle. El receptor base, al encontrarse situado en unas coordenadas conocidas, le transmite a los otros las correcciones necesarias para que las coordenadas que calculen en tiempo real sean más precisas. Los puntos de detalle que se tomaron fueron los situados en las posiciones a representar en la cartografía y las líneas de rotura que definen cambios de pendiente. Con los puntos de detalle adquiridos se obtiene un fichero de texto donde aparecen las coordenadas de cada punto tomado con un código identificativo.

Generación del MDE y cartografía. Empleando el *software* ISTRAM, partiendo de los puntos tomados en campo y de las líneas de rotura, se creó un MDE a partir del cual se dibujaron las curvas de nivel con una equidistancia de 0,5 m. La cartografía final se hizo con AutoCAD y contiene la posición de postes y líneas eléctricas, áreas arboladas, caminos, linderos, etc., y las curvas de nivel.

Comparación entre el MDE del PNOA y el MDE generado con datos de campo. Finalmente, se calculó en cada punto de interés la diferencia entre la altitud que proviene del MDE del PNOA y la altitud real obtenida mediante el trabajo de campo. Así se obtuvo para cada punto la diferencia en altitud entre ambas fuentes.

### 3. RESULTADOS y DISCUSIÓN

En la cartografía resultante se aprecia que la zona a restaurar tiene una parte muy accidentada, con numerosas acumulaciones de piedras y gravas, montículos y cambios bruscos de pendiente; esta área está rodeada por otra zona de relieve más suave, con vegetación herbácea y arbórea.

La Figura 1 muestra la diferencia entre el MDE del PNOA y el MDE generado con datos de campo y la ubicación de los perfiles (1, 2, 3 y 4). En ella se puede observar como los mayores errores se acumulan en torno a líneas de rotura y elementos con cambios de pendientes bruscos.

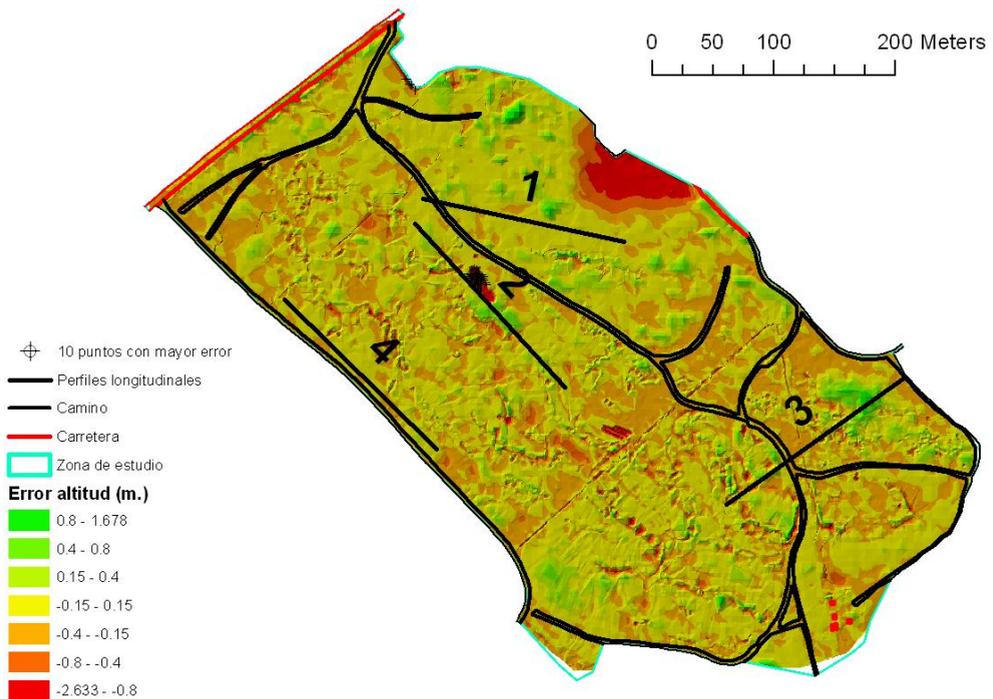


Figura 1: Diferencia entre el MDE del PNOA y el MDE generado con datos de campo.

La Tabla 1 muestra los estadísticos básicos de las diferencias entre ambos MDEs. El error medio en las coordenadas verticales es  $-0.096$  m y valor absoluto es  $0.227$  m. Estos valores pueden parecer pequeños, pero suponen una gran diferencia cuando se estiman volúmenes para movimientos de tierras.

Tabla 1. Diferencias entre altitudes medidas con el MDE del PNOA y las de datos GNSS (n=9380)

Estadístico	Error (m)	Error en valor absoluto (m)
Mínimo	-2.580	0.000
Máximo	1.559	2.580
Media	-0.096	0.227
Mediana	-0.084	0.160
Desviación típica	0.314	0.238

Los perfiles 1, 2, 3 y 4 (Figura 2) permiten ver claramente las diferencias entre los dos MDEs. En los perfiles 1 y 3 los modelos se aproximan más, ya que corresponden a zonas donde los cambios de pendiente son reducidos. En cambio los perfiles 2 y 4 muestran unas diferencias superiores, debido a que ambos se encuentran en zonas con líneas de rotura.

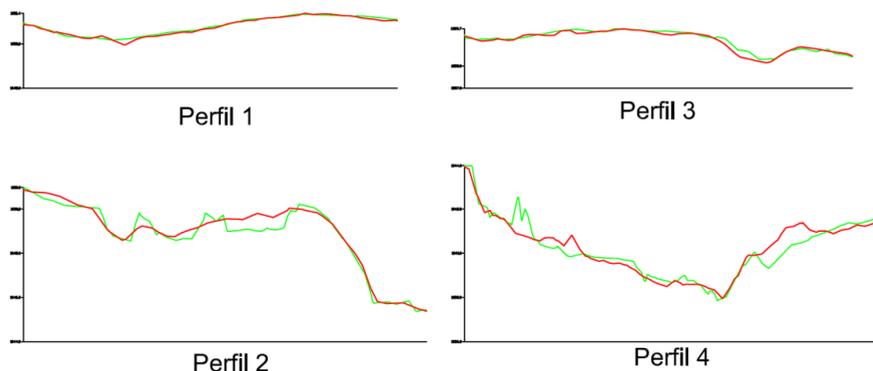


Figura 2: Perfiles longitudinales a partir del MDE del PNOA (rojo) y el MDE generado con datos de campo (verde).

En la Tabla 2 se observan los puntos con mayor error. Todos pertenecen a líneas de rotura donde se dan cambios de pendiente (ver Figura 1).

Tabla 2. Errores en altitud (m) para los diez puntos con mayor diferencia entre MDE del PNOA ( $Z_{PNOA}$ ) y el MDE generado con datos de campo ( $Z_{Campo}$ ).

Punto	$Z_{Campo}$	$Z_{PNOA}$	Error	Punto	$Z_{Campo}$	$Z_{PNOA}$	Error
6484	1051.323	1048.743	-2.580	6463	1051.216	1048.813	-2.403
6458	1051.190	1048.649	-2.541	5195	1056.973	1054.649	-2.324
6485	1051.156	1048.617	-2.539	6460	1051.086	1048.791	-2.295
6459	1051.132	1048.665	-2.467	5194	1057.174	1054.931	-2.243
6457	1051.065	1048.629	-2.436	6462	1051.043	1048.825	-2.218

#### **4. CONCLUSIONES**

En este trabajo se han descrito las diferentes fuentes de datos para el remodelado topográfico de áreas degradadas. Además se hace un estudio comparativo entre un MDE del PNOA y otro MDE generado con datos de campo tomados con receptores GNSS. Con este análisis comparativo se ha puesto de manifiesto que, para el remodelado de áreas degradadas, los MDEs del PNOA no tienen la precisión suficiente. El remodelado del terreno de un proyecto de restauración ecológica exige el diseño de la nueva morfología del terreno, cálculos superficiales y volumétricos y otra serie de procesos, que requieren de una mayor precisión en el cálculo de las coordenadas verticales. El levantamiento topográfico con técnicas GNSS tiene grandes ventajas como alta precisión y exactitud (para las coordenadas XYZ), rapidez en la toma de datos de campo para el levantamiento y también para el posterior replanteo de las obras proyectadas.

## BIBLIOGRAFÍA

Capilla, R.M.; Blat, E., Súa, J.M., Bretos., J.J, (2006). *Red ERVA: arquitectura y servicios de la Red de Estaciones de referencia GPS/GNSS de Valencia*. 5ª asamblea Hispanoportuguesa de Geodesia y Geofísica, Sevilla 2006.

Gárate, J. (2008). *Aplicaciones Geodésicas: El Proyecto TopoIberia*. Jornada de presentación de la red GNSS de Castilla y León (2008) [http://www.itacyl.es/opencms\\_wf/opencms/system/modules/es.jcyl.ita.extranet/elements/galleries/galeria\\_downloads/infraestructuras/09\\_Jorge\\_Garate\\_TOPOIBERIA\\_gps.pdf](http://www.itacyl.es/opencms_wf/opencms/system/modules/es.jcyl.ita.extranet/elements/galleries/galeria_downloads/infraestructuras/09_Jorge_Garate_TOPOIBERIA_gps.pdf) (acceso en 12-04-2012)

González-Matesanz, F.J., Weber, G., Celada, J., Dalda, A. y Quiros, R. (2004). *EUREF-IP. Transmisión de datos GNSS bajo Internet*. Mapping Interactivo: [http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=519](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=519) (acceso en 12-12-2008)

Martínez, G., Nafría, D.A., Lorenzo, E. (2004). *Red GNSS de Castilla y León. Evaluación y rendimiento del servicio RTK en red. Documentación técnica del ITACyL*. [http://gnss.itacyl.es/opencms/opencms/system/modules/es.jcyl.ita.site.gnss/resources/documentos\\_gnss/Evaluacion\\_red\\_RTK.pdf](http://gnss.itacyl.es/opencms/opencms/system/modules/es.jcyl.ita.site.gnss/resources/documentos_gnss/Evaluacion_red_RTK.pdf) (12-04-2012).

Retscher, G. (2002). Accuracy performance of Virtual reference Station Networks. *Journal of Global Positioning Systems*, 1 (1): 40-47.

*Agradecimientos: Este trabajo ha sido posible gracias a la FUNDACIÓN CIUDAD DE LA ENERGÍA, que ha financiado el proyecto "Cartografía topográfica de terrenos degradados para su restauración en Hontomín (Merindad de Río Ubierna-Burgos)".*