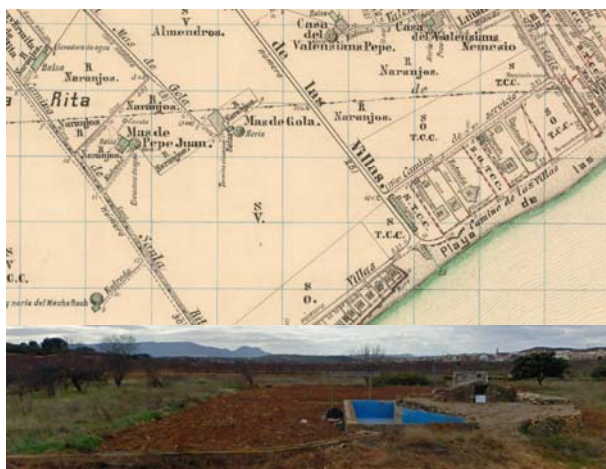


Aplicaciones de la Geomática en el estudio del patrimonio del agua

Geomatics applied to the study of the water heritage



Editores

Juan Antonio Pascual Aguilar

Juana Sanz

Irene de Bustamante



Serie: Cuadernos de Geomática

3. Aplicaciones de la Geomática en el estudio del patrimonio del agua

Series: Notes on Geomatics

3. Geomatics applied to the study of the water heritage

Instituto Madrileño de Estudios Avanzados-Agua

Fundación IMDEA-AGUA, c/ Punto net, edificio Zye, 2ª Planta, 28805 Alcalá de
Henares, Madrid

Centro para el Conocimiento del Paisaje

Calle Rocha del Cine 41, 12415 Matet, Castellón

Centro de Investigaciones sobre Desertificación (CSIC-UV-ES)

Carretera de Moncada a Náquera km 4,5

Alcalá de Henares

2015

ISBN: 978-84-606-6758-2

PREFACIO

Los recursos que provee la Geomática tienen mucho que aportar en el estudio del patrimonio del agua, tanto natural como cultural. El amplio catálogo de instrumentos de análisis espacial digital con el que podemos contar nos permite abordar una gran variedad de enfoques de manera que el patrimonio del agua puede ser perfectamente investigado. En la actualidad no se trata de un problema de falta de técnicas y aplicaciones -aunque, como ciencia, la Geomática se encuentra con sus propios desafíos-, sino más bien de saber elegir y utilizar correctamente las herramientas existentes de manera que la investigación aplicada obtenga los mejores resultados posibles.

En consecuencia, y ante el extenso abanico de posibilidades que ofrece la aplicación de la Geomática en los recursos patrimoniales del agua, el tema monográfico que presenta el número tres de Cuadernos de Geomática se centra en cuatro aspectos generales de su aplicación que son importantes:

Uno de los trabajos trata de la incorporación de información obtenida en fuentes cartográficas históricas para la construcción de Infraestructuras de Datos Espaciales Temáticas sobre el patrimonio del agua. La creación de una línea temporal pretérita es fundamental, pues a partir de ella se puede tener un momento de referencia que sirva para, además de inventariar, evaluar la calidad y cantidad de patrimonio hidráulico remanente a lo largo de la historia reciente.

Los aspectos de la divulgación y la publicación digital del patrimonio cultural y natural también se abordan en la contribución relacionada con la elaboración de vuelos virtuales. En ella queda claro que el potencial de este tipo de herramientas es ya más una cosa del presente que de una avanzadilla de futuro, constituyéndose en técnicas imprescindibles para la mayor y mejor difusión y conocimiento de nuestro patrimonio.

Sin embargo, los paisajes tradicionales son estructuras que también deben tenerse en cuenta en la valoración de su calidad. Un tercer trabajo nos presenta un análisis temporal

basado en la evaluación de la dinámica de los cambios de usos del suelo y su impacto en el régimen hídrico de los suelos en la segunda mitad del S. XX, período en el que se ha ido cambiando de los sistemas tradicionales productivos a una nueva sociedad más tecnificada.

La cuarta contribución se relaciona con la necesidad de saber el grado de precisión de las fuentes cartográficas históricas para su mejor aprovechamiento a la hora de obtener información sobre el patrimonio, en general, y del agua, en particular. Llama la atención la relación entre la calidad posicional y la complejidad topográfica que indica que la tridimensionalidad del terreno es un factor a tener en cuenta a la hora de determinar la imprecisión de ajuste posicional de un mapa antiguo.

Índice temático

Título y autores	Página
Incorporación de información histórica a la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) sobre Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid	
<u>Alberto Blanco</u>, Juan Antonio Pascual-Aguilar, Irene de Bustamante, Alba Cebrecos, Raúl Sánchez	1
Vuelo Virtual por el Patrimonio Geológico e Hidrológico en Espacios Naturales	
<u>Antonio M. Martínez Graña</u>	27
Analyzing the influence of land cover change on the soil moisture regime of two Mediterranean catchments using a water balance model	
<u>Juan Antonio Pascual-Aguilar</u>, Emilio Iranzo	45
Aplicación de la Geomática para evaluar el efecto de la pendiente en la calidad de la cartografía antigua	
<u>Alberto Blanco</u>, Juan Antonio Pascual-Aguilar, Irene de Bustamante	69
<u>Autores para correspondencia</u>	

Índice de autores

Autor	Afiliación
Blanco, Alberto	Dpto. Geología, Edificio de Ciencias. Campus Externo. Universidad de Alcalá. 28871, Alcalá de Henares, Madrid, Spain Instituto IMDEA Agua, C/ Punto Net, 4, 2º piso, edificio ZYE, 28805, Alcalá de Henares, Madrid, Spain alberto.blanco@imdea.org
Bustamante Gutiérrez, Irene de	Dpto. Geología, Edificio de Ciencias. Campus Externo. Universidad de Alcalá. 28871, Alcalá de Henares, Madrid, Spain Instituto IMDEA Agua, C/ Punto Net, 4, 2º piso, edificio ZYE, 28805, Alcalá de Henares, Madrid, Spain
Cebrecos, Alba	Universidad de Alcalá, Campus externo de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid, Spain
Gómez, Raul	Universidad de Alcalá, Campus externo de la Universidad de Alcalá. Alcalá de Henares, Madrid, Spain
Iranzo, emilio	Department de Geografia, Universitat de València, Estudi General. Avenida de Blasco Ibáñez, emilio.iranzo@uv.es
Martínez Graña, Antonio M.	Departamento de Geología, Universidad de Salamanca, Plaza de la Merced s/n., (37008)-Salamanca, Spain amgranna@usal.es
Pascual-Aguilar, Juan Antonio	Centro para el Conocimiento del Paisaje, C/ Rocha del Cine 41, 12415 Matet, Castellón, Spain Instituto IMDEA Agua, C/ Punto Net, 4, 2º piso, edificio ZYE, 28805, Alcalá de Henares, Madrid, Spain info@cpaisaje.org , juanantonio.pascual@imdea.org

Incorporación de información histórica a la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) sobre Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid

A. Blanco^{a,c}, **J.A. Pascual-Aguilar**^b, **I. de Bustamante**^{a,c},

A. Cebrecos^a, **R. Gómez**^a

^aUniversidad de Alcalá. Campus externo Universidad de Alcalá.

^bCentro para el Conocimiento del Paisaje.

^cFundación IMDEA-AGUA.

Resumen

La creación de Infraestructuras de Datos Espaciales es un fenómeno reciente a nivel mundial. En España su proliferación ha sido importante desde la trasposición de la Directiva Europea INSPIRE en el año 2010. Sin embargo, la mayoría de estas Infraestructuras se han concentrado principalmente en las administraciones públicas existiendo muy pocas desarrolladas por organismos privados o universitarios. Investigadores de la Universidad de Alcalá y el Instituto IMDEA Agua están elaborando la Infraestructura de Datos Espaciales sobre Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid. Se ha creado una base de datos utilizando cartografía histórica que ha sido analizada para comprobar su idoneidad como cartografía de referencia. Además se ha añadido más información de otras fuentes documentales históricas disponibles.

En este trabajo se presenta la metodología utilizada para la creación del banco de datos de cartografía histórica sobre el Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid. Además, constituirá una situación temporal de referencia sobre la que comparar posteriores inventarios patrimoniales. Se ha realizado una serie de análisis espaciales para determinar el grado de precisión de los mapas utilizados respecto a los actuales. La precisión calculada ha permitido establecer el grado de detalle en el que pueden usarse estos mapas históricos.

Palabras clave: Patrimonio Cultural del Agua, Cartografía Histórica, Infraestructura de Datos Espaciales (IDE), Comunidad de Madrid.

Incorporación de información histórica a la Infraestructura de Datos Espaciales (IDE) sobre Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid

Abstract

The development of Spatial Data Infrastructures is a worldwide recent and emerging phenomenon. In Spain, its proliferation has been significant due to the transposition of the European Directive INSPIRE in 2010. However, the majority of the contributions have been provided by governmental bodies and very few initiatives were developed by private or academic bodies. Researchers of the University of Alcalá (Madrid, Spain) and IMDEA Water Institute (Madrid, Spain) are developing the Spatial Data Infrastructure for Water Cultural Heritage of the Madrid Region. A database using historical maps has been created. The accuracy as base map of these cartographical documents has been evaluated. Moreover, additional information from other sources has been added to the created database.

In this paper, the methodology used to create the database of the Water Cultural Heritage of the Madrid Region is presented. In addition, a serie of spatial analysis has been carried out to determine the accuracy of the historical maps against the current cartography. The procedure is meant to define the level of trust when using such cartographical sources.

Keywords: Cultural Water Heritage, Historical Legacy Maps, Cartography, Spatial Data Infrastructure (SDI), Madrid Region.

1 Introducción

El agua es uno de los recursos que más han condicionado la adaptación de los seres humanos al territorio. Alrededor del agua se ha desarrollado una importante cultura, tanto material como inmaterial a lo largo de la Historia de la Humanidad. Una gran variedad de elementos, tecnologías y lugares salpican la geografía española y mundial, que atestiguan la importancia del aprovechamiento y utilización del agua desde hace siglos.

Aquellos elementos de mayor relevancia, belleza o rareza relacionados con la captación, almacenamiento y aprovechamiento del agua van a formar parte del Patrimonio Cultural del Agua. También pertenecerán a este patrimonio las manifestaciones culturales inmateriales que dieron lugar a la aparición de las diferentes prácticas y objetos que vinculan el agua con el hombre.

La tipología de los elementos y estructuras del patrimonio cultural del agua que aparecen en determinados territorios se deben principalmente a la disponibilidad del recurso, ya sea en forma de agua superficial o subterránea, y al momento histórico existente, que marcará las tecnologías utilizadas. Además las características climáticas y ambientales permitirán intuir el tipo de infraestructuras que pueden existir en un lugar dado.

En este estudio se ha llevado a cabo un análisis de fuentes documentales históricas para la realización del inventario del patrimonio del agua en la Comunidad Autónoma de Madrid. Se ha realizado una evaluación de la idoneidad de la utilización de las planimetrías de la Comunidad de Madrid realizadas a finales del siglo XIX y principios del XX para identificar los elementos relacionados con el patrimonio del agua. Este inventario es importante para poder evaluar posteriormente el grado de fragilidad y vulnerabilidad de este tipo de elementos debido al abandono que sufren y al deterioro propio del paso del tiempo.

Los datos obtenidos, una vez se haya realizado su análisis y evaluación, se incluirán en una Infraestructura de Datos Espaciales (IDEs) temática del Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid. Una IDE es una acumulación importante de tecnologías, normas y acuerdos institucionales que facilitan la disponibilidad y acceso a los datos espaciales (Nebert, 2004). Los recursos que

forman parte de las IDEs son accesibles desde internet permitiendo al usuario utilizarlos y combinarlos según sus necesidades. Este usuario puede ser tanto un ente público como privado o cualquier persona que tenga interés por los datos espaciales de la IDE consultada.

La IDE provee una base para el descubrimiento de datos espaciales, con evaluación y aplicación para usuarios y proveedores a todos los niveles gubernamentales, para el sector comercial, instituciones no lucrativas, sector académico y público en general. Por otra parte, una IDE tiene que ser más que una serie única de datos o una base de datos; una IDE incluye datos y atributos geográficos, documentación suficiente (metadatos), un medio para descubrir, visualizar y valorar los datos (catálogos y cartografía en red) y algún método para proporcionar acceso a los datos geográficos. Además, debe haber servicios adicionales o software para permitir aplicaciones de los datos. Para hacer funcional una IDE, también debe incluir los acuerdos organizativos necesarios para coordinarla y administrarla a escala regional, nacional y transnacional (Nebert, 2004).

Las IDEs nacieron en Europa ante la necesidad de la normalización de la información geográfica disponible al público. En el año 2007 se creó la Directiva Europea INSPIRE (Directiva 2007/2/CE), que establece las reglas generales para el establecimiento de una Infraestructura de Información Espacial en la Comunidad Europea basada en las Infraestructuras de los Estados miembros. La creación de esta directiva resulta crucial, ya que muchos de los datos espaciales ambientales afecta a cuestiones relacionados con la salud y la seguridad de las personas, por tanto es necesario que la información posea buena calidad y proceda de fuentes controladas (Latre et al., 2013).

En España, la trasposición de la Directiva INSPIRE se llevó a cabo por la Ley 14/2010 (LISIGE), dónde se disponen las bases para la construcción de la Infraestructura de Datos de España (IDEE). Tal y como dictamina la citada ley española, "La Infraestructura de Información Geográfica de España está constituida por el conjunto de infraestructuras y servicios interoperables de información geográfica disponible sobre el territorio nacional, el mar territorial, la zona contigua, la

plataforma continental y la zona económica exclusiva, generada o bajo responsabilidad de las Administraciones públicas”.

Estas infraestructuras se organizan en tres niveles (Figura 1): productores (de datos e información), integradores y usuarios (público). Los productores son los que aportan los datos de la información espacial que va a formar parte de la IDE. Los integradores, basándose en los estándares y protocolos establecidos por la legislación, se encargan de tener esta información dentro de un servidor para que el público pueda acceder a ella y realizar las consultas y análisis pertinentes.

Las IDEs existentes se concentran en su mayoría en administraciones públicas como la del Ministerio de Medio Ambiente o las de algunas autonomías (Madrid o Andalucía entre otras) así como otros organismos públicos como son las confederaciones hidrográficas. Con esto se podría afirmar que las IDEs están demasiado “institucionalizadas”, pudiendo encontrar algunas barreras de difícil solución como son los límites ambientales, que en muchos casos no se corresponden con los límites administrativos (Latre et. al, 2013).

Se considera necesario, por tanto, la proliferación de IDEs temáticas, centradas en un elemento en concreto como puede ser la geología, los usos del suelo o el agua. De la misma manera, Rajabifard (2008) afirma que es necesario, desde todos los niveles de gobierno, así como el sector privado y el académico, realizar nuevos modelos para la participación conjunta en la aplicación de las IDEs. De esta necesidad nace el proyecto que se está desarrollando en la Fundación IMDEA, y que es la Elaboración de la Infraestructura de Datos Espaciales sobre el Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid (IDEagua).

Uno de los aspectos más importantes de las IDEs es su perspectiva de futuro ya que son sistemas que deben actualizarse periódicamente tal y como afirman Delgado Fernández y Cromptoets (2007), en consecuencia, la creación de una IDE es un proceso dinámico, pues deben ser mantenidas y actualizadas en el tiempo.

Por tanto, las IDEs tal y como afirman del Bosque y Vincent (2011), se han convertido en importantes sistemas telemáticos para el desarrollo de la sociedad de la información, además de ser herramientas estratégicas en la formulación de un amplio abanico de políticas comunitarias, relacionadas fundamentalmente con el

medio ambiente, el desarrollo sostenible, la protección y la conservación del patrimonio natural y cultural, entre otras.

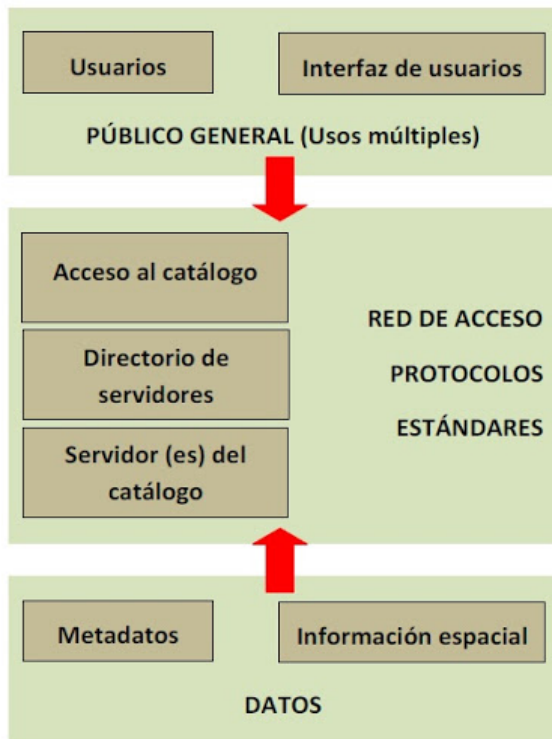


Figura 1. Estructura de las IDEs. Fuente: Crompvoets et. al (2008)

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Establecer las bases para la elaboración de la Infraestructura de Datos Espaciales sobre el Patrimonio Cultural del Agua de la Comunidad de Madrid (IDEagua). La base de datos constituirá un punto de partida para la realización de múltiples análisis como la evaluación de la precisión espacial o la vulnerabilidad o pérdida del patrimonio de la Comunidad de Madrid.

2.2 Objetivos Específicos

-Selección de los criterios de extracción de la información espacial relacionada con el patrimonio cultural del agua de la Comunidad de Madrid. Seguir una metodología bien establecida de extracción de información es vital para no introducir errores, tanto espaciales como tipográficos, en la base de datos.

-Realización de la base de datos del patrimonio cultural del agua de la Comunidad de Madrid. Una vez establecidos los criterios se llevó a cabo la extracción de la información espacial presente en la cartografía histórica empleada. La información se recopiló en cuatro capas vectoriales: puntos, líneas, áreas y topónimos.

-Análisis espacial de los datos obtenidos de la cartografía histórica comparándolos con la cartografía actual (considerada de mejor calidad que los datos históricos). Se realizaron distintos análisis espaciales de la información recopilada con la intención de poder establecer la precisión de las planimetrías empleadas en el desarrollo de esta base de datos.

3 Área de estudio

La Comunidad de Madrid, debido a su estratégica situación geográfica, posee unos territorios tan diferentes como las elevaciones del Sistema Central, la depresión del Tajo y la zona de transición entre ambas (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, 2004).

El clima depende principalmente de la latitud a la que se encuentra la Comunidad de Madrid (40° - 41° Norte) y de su marcada continentalidad pese a tratarse de un clima mediterráneo al encontrarse entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Sus rasgos principales por tanto son la estacionalidad de las temperaturas, la irregularidad en las precipitaciones y la sequía estival.

El relieve viene marcado por dos grandes unidades: La Sierra (perteneciente al Sistema Central) y la depresión del Tajo, pudiéndose añadir una tercera, considerada la zona de transición entre ambas. El Pico de Peñalara es la altitud mayor de la Comunidad (2.429 msnm) y la mínima se corresponde al río Alberche en el municipio de Villa del Prado (430 msnm).

Geológicamente, en La Sierra predominan el granito y el gneis (excepto en Somosierra dónde existen rocas metamórficas: pizarras y cuarcitas). En la depresión del Tajo se encuentran tres zonas diferenciadas por su composición litológica: los páramos (calizas, arcillas, yesos, etc.) las campiñas (arenas, margas arenosas, margas yesíferas y arcillas) y las vegas (arenas, gravas y limos). La zona de transición se compone de arcillas, arenas, margas y otros materiales detríticos.

La Comunidad de Madrid forma parte de la cuenca hidrográfica del Tajo. Esta depresión se encuentra rellena de materiales terciarios de los tres márgenes rocosos que la rodean: Sistema Central por el Norte, Montes de Toledo al Sur y la Cordillera Ibérica al Este (Bustamante et al., 2008). La red hidrográfica madrileña es tributaria del Tajo por su margen derecha, con una serie de afluentes con dirección N-S. Los principales afluentes son los ríos Jarama, Guadarrama y Alberche.

Las aguas subterráneas de la Comunidad se consideran un recurso estratégico de gran importancia, ya que pueden aportar aproximadamente un tercio de los recursos hídricos totales de la misma (Conserjería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, 2004).

4 Metodología

Debido a las dimensiones y variedad de la zona de estudio, se debía dividir en “subzonas”, existiendo varias posibilidades:

- Municipalmente
- Comarcalmente
- Por cuencas hidrográficas

Finalmente, como consecuencia de que la cartografía de mayor detalle utilizada se construyó sobre la división de término municipal, se optó por organizar la extracción de información siguiendo la jerarquía administrativa, dividiendo el conjunto autonómico en las comarcas existentes dentro de la Comunidad de Madrid, con sus correspondientes municipios como unidades mínimas de incorporación de datos. Los municipios de cada comarca poseen características comunes entre sí, que serán útiles a la hora de realizar análisis de los elementos del patrimonio cultural del agua

que se encuentren en cada una de ellas. Por lo tanto, los 179 municipios de la Comunidad de Madrid quedan englobados en 9 comarcas, incluyendo el Área Metropolitana de la Ciudad de Madrid tal y como muestra la figura 2.

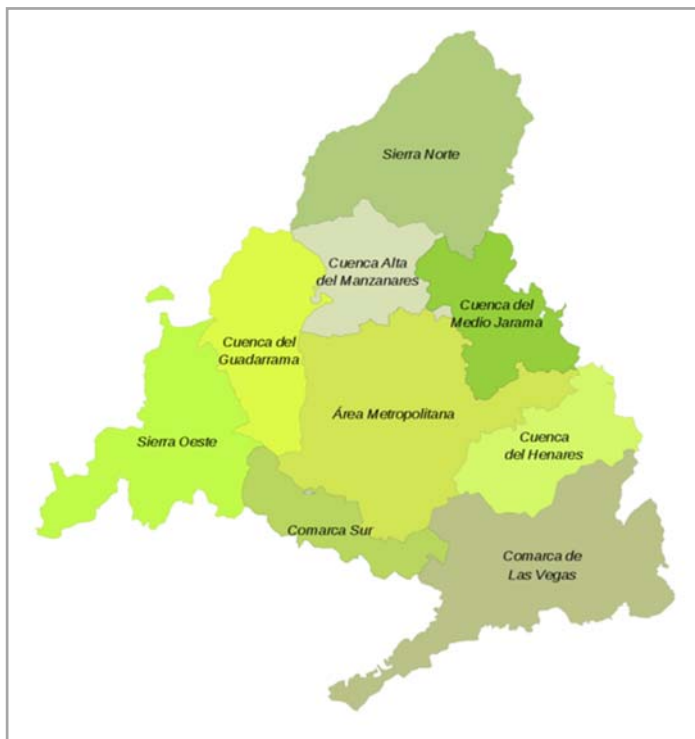


Figura 2. División organizativa del área de estudio.

4.1 Información de partida

Fuente principal

Para la creación de un nivel con información de referencia histórica de la IDE del patrimonio cultural del agua de la Comunidad de Madrid se han utilizado las planimetrías realizadas por el Instituto Geográfico y Estadístico de España (el actual Instituto Geográfico Nacional) a escala 1:25.000 (Figura 3). Estas planimetrías fueron elaboradas en dos periodos (a finales del siglo XIX el primero y mediados del siglo XX el segundo) con diversas modificaciones o actualizaciones realizadas con posterioridad a su año de elaboración (Figura 4).

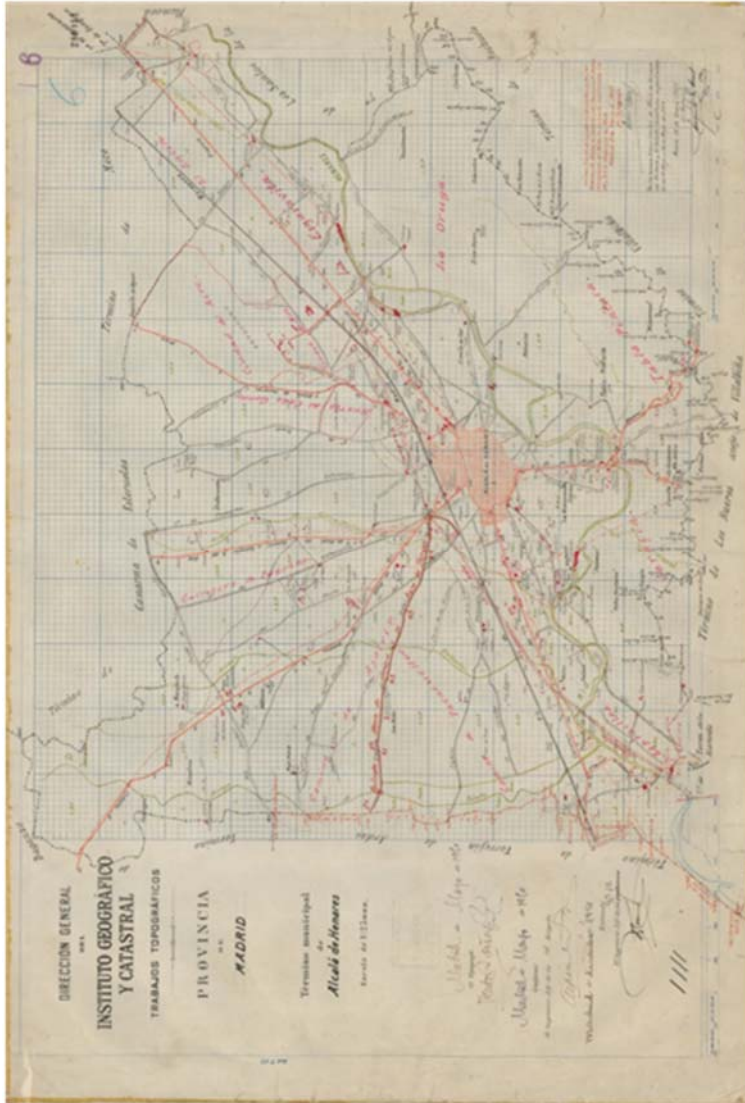


Figura 3. Ejemplo de una planimetría 1:25.000, perteneciente al municipio de Alcalá de Henares. Su año de realización es 1950.

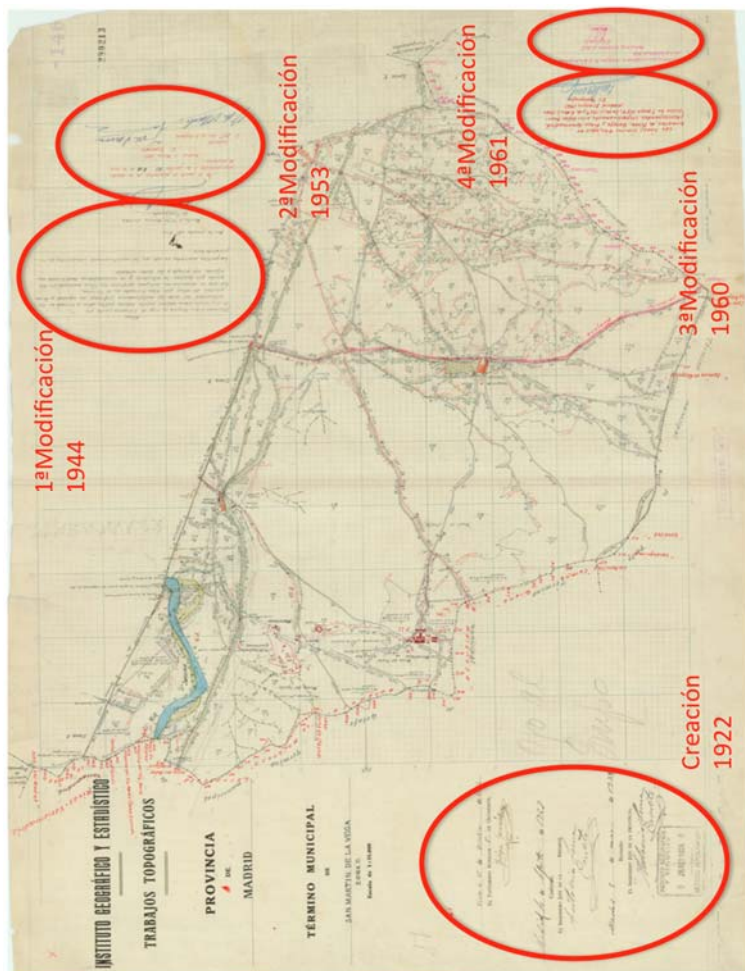


Figura 4. Ejemplo de planimetría con modificaciones posteriores a su realización del municipio de San Martín de la Vega.

Esta cartografía ha sido la elegida teniendo en cuenta cuándo fueron elaborados los mapas, su escala y el objeto de su estudio, tal y como indican Skaloš et al. (2011) para la elaboración de estudios ambientales y del paisaje. Se eligieron estas planimetrías debido a su elevado grado de detalle que permite obtener gran cantidad de información relacionada con el patrimonio del agua. Por otra parte, tanto su escala como el momento en el que se crearon son idóneos para la evaluación de la conservación de estos elementos.

La utilización de esta cartografía, no obstante, requiere de un fase importante de reconocimiento de los elementos presentes y la tipografía utilizada, ya que no existen prácticamente leyendas, por lo que ha sido necesario un análisis pormenorizado de todo lo que se iba identificando en estos mapas. Las escasas leyendas encontradas se refieren a los tipos de cultivos presentes en la zona de estudio y algunas referidas a la anchura de los caminos.

Otra de las dificultades que se han observado al trabajar con este tipo de cartografía histórica es el grado de deterioro sufrido. En algunas de ellas hay porciones cuya información no puede ser extraída ya que se han roto, manchado o, incluso, han desaparecido por completo. Por lo que la extracción de información espacial de estos mapas no es una cuestión sencilla, ya que han experimentado el paso del tiempo y el deterioro propio que sufren los mapas cuando no se han conservado de una manera adecuada (Figura 5).

Fuentes secundarias

-Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de ultramar (1846-1850) de Pascual Madoz. En este documento se describen los cultivos y los usos del suelo de cada municipio del estado español. Aparece mucha información sobre patrimonio, ganadería, industria...

-Mapas históricos agronómicos de los principales cultivos de la provincia de Madrid (1884). La información de estos mapas será útil a la hora de comprobar pequeñas contradicciones que puedan darse sobre algunos de los cultivos presentes en las planimetrías utilizadas como fuente documental principal.



Figura 5. Ejemplos del deterioro sufrido por las planimetrías.

4.2 Extracción de la información

Tras la exhaustiva revisión de las fuentes de información, tanto la principal como las secundarias, y la revisión de otros estudios sobre cartografía histórica, se pasó a la fase de digitalización de todos los elementos relacionados con el patrimonio cultural del agua de la Comunidad de Madrid.

Por último, otra de los problemas a solucionar a la hora de extraer la información espacial es tener en cuenta las distintas adhesiones de municipios colindantes que se han llevado a cabo en la Comunidad de Madrid en los últimos años (como por ejemplo el municipio de Villalbilla, que incluye al ya no existente como tal de Los Hueros). Es importante conocer que municipios se han adherido a otros para no duplicar la información extraída, sobre todo cuando existen mapas de varios años o con actualizaciones posteriores como ocurre en la mayoría de ellos.

La digitalización es una de las fases más importantes de la realización de los bancos de datos que compondrán una infraestructura de datos espaciales, ya que una buena digitalización marcará la calidad de los análisis posteriores que se realicen de los mismos.

Para la extracción de la información espacial existente en la cartografía histórica se decidió digitalizar en cuatro tipos de información: puntos, líneas, polígonos y toponimia. Se ha sido bastante exhaustivo en esta fase en parte gracias a la buena calidad de las planimetrías utilizadas. En otros estudios no ha sido posible o no se ha requerido dividir la información en cuatro tipos como por ejemplo en el estudio realizado por Skaloš et al. (2011) en la República Checa, usando mapas militares históricos (siglos XVIII y XIX) en la que sólo digitalizaron líneas y polígonos.

Capas de información

-Puntos: en esta capa aparecen los elementos cuyo tamaño es inferior a la unidad mínima cartografiable del mapa y aquellos que fueron representados como un símbolo en las planimetrías (Figura 6). En este caso serán aquellos cuya superficie sea inferior a unos 15.000 m², utilizando la unidad mínima cartografiable más usada internacionalmente de 5 x 5 mm. (Salitchev, 1979 en Priego et al., 2008). Existen más de 100 tipos distintos de puntos, pudiéndose distinguir:

- Captación de agua: pozo, fuente, noria...
- Transporte de agua: acequia, acueducto, esclusa, sifón...
- Almacenamiento de agua: depósito, estanque, presa...
- Usos del agua: lavadero, molino, huerta, balneario, fábrica...

-Líneas: son todos aquellos elementos cuya anchura es prácticamente insignificante con respecto a su longitud (Figura 6).

- Agua: acequias, caceras, puentes, barcas...
- Vías de comunicación: caminos, carreteras...
- Vías pecuarias: cañadas
- Infraestructuras: líneas eléctricas

-**Polígonos:** la mayoría de los elementos que aparecen en esta categoría se relacionan con los cultivos adyacentes a las infraestructuras hidráulicas, aunque también se incluyen otros como embalses, lagunas o núcleos urbanos. La información se determina gracias a las escasas leyendas existentes (Figura 7) y a la revisión de otras fuentes documentales.

-**Toponimia:** es una capa de puntos en la que aparecen lugares relacionados con el patrimonio del agua que posean un nombre propio, o cualquier otro elemento cuyo nombre tenga alguna connotación sobre el agua. Determinar el significado que poseía el léxico en que se basan los nombres de lugar, es importante ya que se pueden extraer conclusiones de enorme interés para la reconstrucción de la historia local y regional (Gordón Peral, 2011). A continuación se muestran dos imágenes dónde se puede observar los elementos identificables como toponimia (Figura 8).

4.3 Análisis espacial

Se han llevado a cabo unos análisis espaciales de los datos extraídos de las planimetrías. Los análisis se han realizado en tres de las comarcas que forman parte de la zona de estudio, ya que pretenden evaluar el grado de precisión obtenido y su adecuación para posteriores estudios espaciales del patrimonio del agua. Las comarcas elegidas han sido la Sierra Oeste y la Cuenca del Guadarrama por un lado (como la primera “subzona” de estudio) y la Cuenca del Henares por otro.

Se ha realizado un análisis de regresión para comparar las coordenadas de la cartografía histórica y la actual, para conocer el grado de precisión de las primeras respecto a las de referencia. Además de esta regresión, se ha calculado la distancia real que separa los puntos pertenecientes a la cartografía histórica con su correspondiente actual. Teniendo en cuenta que las planimetrías fueron hechas sin el uso de aparatos digitales de posicionamiento es probable que existan diferencias importantes.

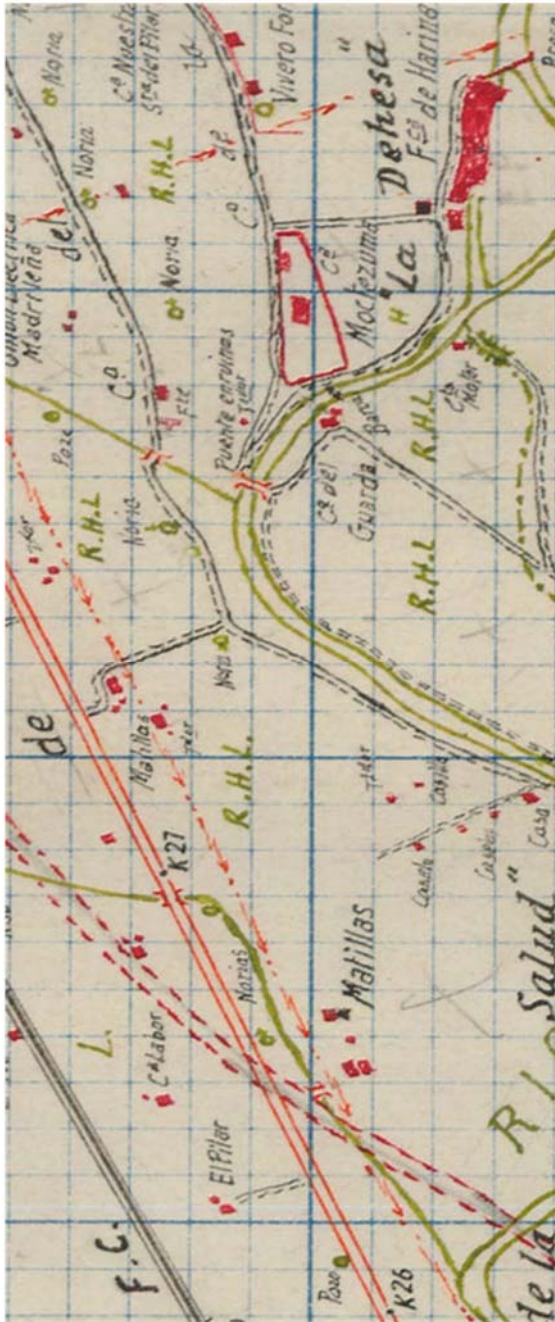


Figura 6. Ejemplos de algunos puntos y líneas en las planimetrías.

Masas de cultivo		Detalles de las diferentes masas de cultivo	
N.º de masa	Apellidos	N.º de masa	Apellidos
1	A. B. P.C.C.	1	B. S. P.C.
2	M. B.	2	H. H.
3	F. P. S.	3	H. S. y H. S.
4	P. C. C.	4	H. S. C.
5	H. S. C.	5	H. P. S. y H. S. C.
6	P. C. C.	6	H. P. S. y P. C. C.

Masas de cultivo		Detalles de las diferentes masas de cultivo	
N.º de masa	Apellidos	N.º de masa	Apellidos
1	A. B. P.C.C.	1	B. S. P.C.
2	M. B.	2	H. H.
3	F. P. S.	3	H. S. y H. S.
4	P. C. C.	4	H. S. C.
5	H. S. C.	5	H. P. S. y H. S. C.
6	P. C. C.	6	H. P. S. y P. C. C.

Figura 7. Leyenda sobre las masas de cultivo.

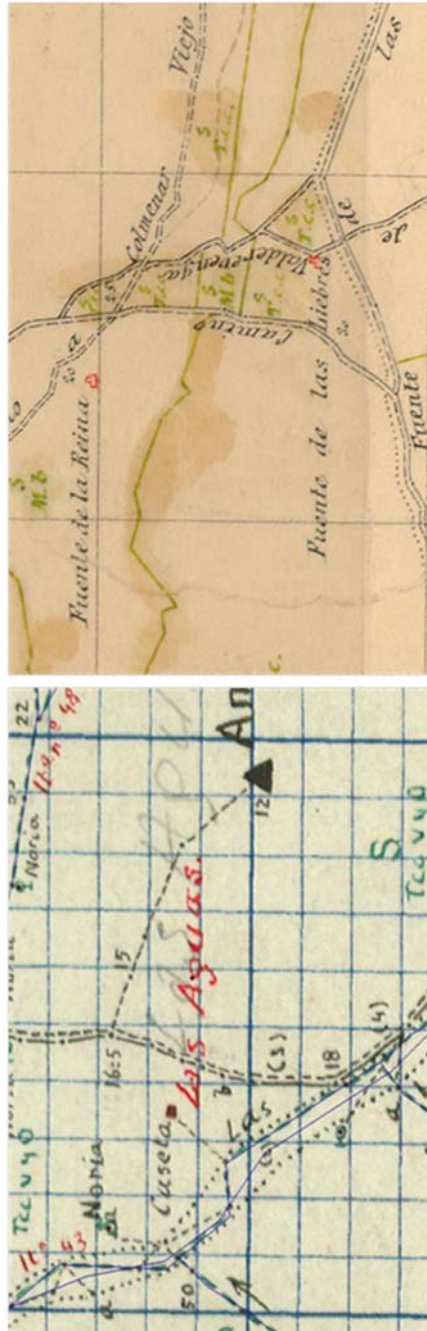


Figura 8. Ejemplos de topónimos.

5 Resultados

El primer resultado que se ha obtenido de todo este trabajo ha sido una gran base de datos homogeneizada en la que aparecen todos los elementos e infraestructuras relacionadas con el patrimonio del agua en la Comunidad de Madrid. Con esto ya se dispone de una de las partes más importantes de una IDE, que son los datos espaciales históricos que van a formar parte de la misma. Esta base de datos estará formada por información en forma de puntos (dos capas: puntos y toponimia), líneas y polígonos.

Es necesaria una valoración posterior de todos estos elementos para constatar las medidas que van a necesitar cada uno de ellos. Habrá algunos en los que por su importancia, belleza o singularidad sea necesaria una protección y una posible restauración, dependiendo de su estado de conservación. Otros, sin embargo, necesitarán otro tipo diferente de medidas (señalización, puesta en valor...). Es por todo esto, por lo que es necesaria una evaluación individual y contextualizada de cada uno de ellos.

Otro de los resultados que ya pueden ser extraídos de esta base de datos es la realización de mapas temáticos del patrimonio cultural del agua de la Comunidad de Madrid. Para la realización de la simbología de estos mapas sobre el patrimonio del agua se han tenido en cuenta algunos estudios, como los realizados por Hermosilla y Pascual (2005) sobre el regadío histórico en el Mediterráneo. A continuación se muestra alguno de ellos, pertenecientes a los municipios de Las Rozas (Figura 9) y de Colmenar Viejo (Figura 10).

LAS ROZAS

COMUNIDAD DE MADRID

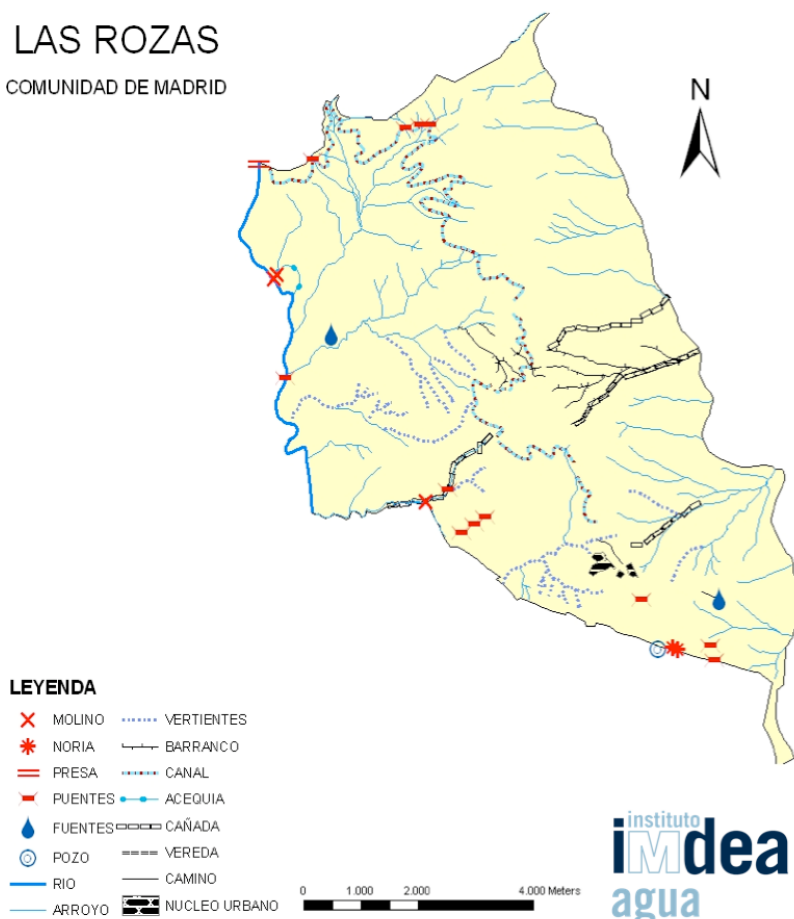
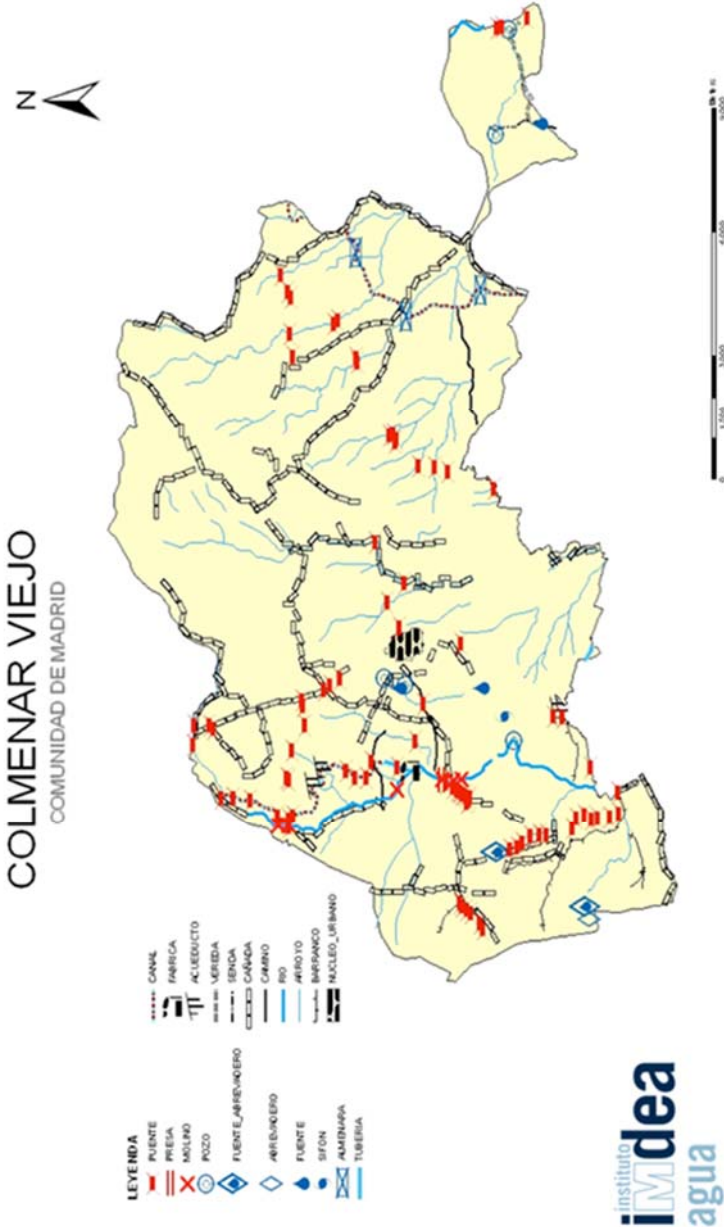


Figura 9. Mapa del patrimonio del agua de Las Rozas.

Por último, además de la base de datos y los mapas generados a partir de la misma, se han realizado una serie de análisis espaciales en las Comarcas de Sierra Oeste y Cuenca del Guadarrama. Estos análisis tienen como finalidad determinar las similitudes entre los mapas históricos y los actuales usando para ello las coordenadas UTM de los puntos digitalizados.

Se analizaron, mediante un gráfico de regresión lineal, las coordenadas “x” e “y” de cada punto, comparándose la histórica con la actual. De este modo se puede valorar el grado de semejanza entre ellos, gracias al coeficiente de regresión lineal:

R² (Figura 11). Los valores obtenidos se encuentran muy próximos al mejor ajuste (R²= 1) tal y como puede comprobarse en la figura siguiente. No obstante, hay que ser conscientes de la magnitud del tipo de datos tratados (coordenadas UTM).



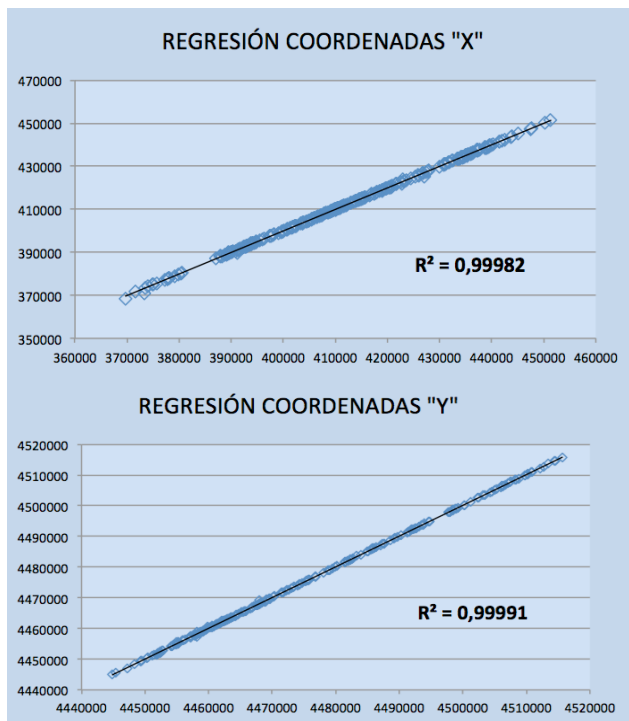


Figura 11. Gráficos de regresión de las coordenadas "x" e "y".

Las coordenadas UTM ("x" e "y") al tener 6 y 7 órdenes de magnitud respectivamente, son cifras muy altas para que las diferencias de varias decenas de metros que se han obtenido sean relevantes en un análisis de regresión de este tipo.

Por tanto, a continuación se ha calculado la diferencia de posición, en metros, con respecto a los ejes de coordenadas (ejes "x" e "y") de una serie de puntos seleccionados de los mapas históricos tomando como punto central su posición actual. La distancia media obtenida para la coordenada "x" presenta un valor de 105,53 m, mientras que para el eje "y" el valor obtenido es mayor: 130,05 m. La diferencia de posición real (error) se obtiene calculando la hipotenusa definida por la distancias "x" e "y" de cada punto. El valor medio resultante es de 188,41 m. En la figura 12 se observa una similitud entre la mayoría de estas distancias, existiendo alguna excepción fácilmente identificable.

Se ha realizado un análisis de valores atípicos de las distancias reales obtenidas, detectándose un total de 17 de un total de 298 valores. Estos valores atípicos pueden atribuirse a varias razones: errores propios a la hora de realizar el tratamiento de estos mapas (como el escaneado, la georreferenciación o la digitalización posterior) o errores de tipo topográficos, ya que la cartografía histórica utilizada son planimetrías (no tienen en cuenta el relieve) y no mapas topográficos.

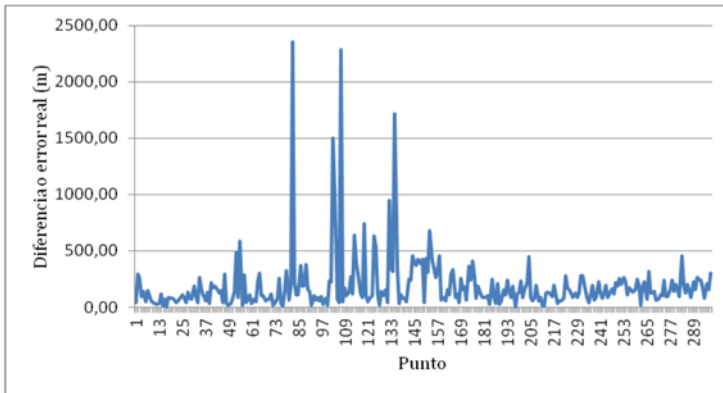


Figura 12. Distancias reales entre los puntos analizados.

La distancia media una vez extraídos los elementos de valores atípicos es de 143 metros (143,03m), de esta manera el error se reduce un 25% con respecto al uso de valores atípicos. También se ha elaborado un histograma de las distancias calculadas, sin incluir los valores atípicos, observándose que el 61,92% de los datos poseen un error por debajo de los 150 metros, mientras que sólo el 2,14% de los datos obtienen errores superiores a 400 metros.

Para constatar la importancia del grado de accidentalidad del relieve en la precisión espacial de estas planimetrías, se ha realizado un análisis similar al anterior, pero esta vez en la Cuenca del Henares, un lugar de un relieve más regular y plano que la anterior zona estudiada. Los resultados obtenidos en la comparación de las coordenadas UTM entre los elementos patrimoniales actuales y los extraídos de la cartografía histórica dan resultados cercanos al máximo posible ($R^2=1$), al igual que ocurría en la primera zona de estudio.

Sin embargo, en cuanto a los errores medios entre coordenadas los resultados son mejores que en la anterior zona de estudio, ver tabla resumen (Tabla 1), constatándose la relevancia que tiene el relieve a la hora de evaluar la precisión espacial de este tipo de mapas históricos. La diferencia espacial de la coordenada “x” es de 29,84 m mientras que para la “y” es de 26,85 m. El error de posición real media entre los elementos patrimoniales analizados en la Cuenca del Henares ha sido de 45,14 m, aproximadamente un 75% inferior al error obtenido en la primera zona de estudio. Al igual que en la zona de estudio anterior se ha realizado un análisis de los datos atípicos de la serie de valores, observándose sólo dos atípicos. Una vez extraídos de la serie, el error medio de posición real ha disminuido hasta los 41,04 m.

Tabla 1 Resumen de las distancias (m) obtenidas en las dos zonas de estudio

Zona de estudio	Sierra Oeste y Cuenca del Guadarrama	Cuenca del Henares
Diferencia “x”	105,53	29,84
Diferencia “y”	130,05	26,85
Distancia Real	188,41	45,14
Distancia Real (Sin atípicos)	143,03	41,04

Por último se realizó un histograma de los datos (excluyendo los valores atípicos) en el que puede observarse que más de 70% (71,70%) de los datos se encuentran por debajo de los 60 m de distancia (Figura 13).

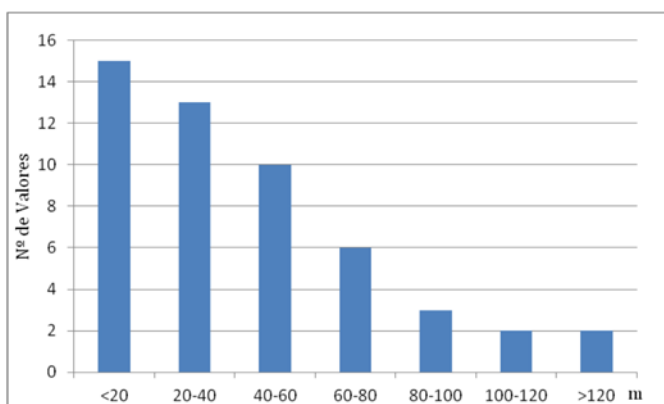


Figura 13. Histograma de las distancias (m) entre puntos históricos y actuales.

5 Conclusiones

La utilización de mapas históricos supone un componente base muy útil para analizar la evolución de los elementos del patrimonio del agua en particular y del paisaje en general. Esta cartografía necesita un estudio espacial pormenorizado para comprobar la precisión de los elementos cartografiados. La precisión espacial de las planimetrías empleadas posee unos errores regulares, aunque se ha demostrado que en aquellas zonas en las que existen mayores contrastes altimétricos, los errores son mayores que en zonas más llanas.

Es muy importante realizar un pormenorizado estudio previo de la cartografía utilizada para evitar confusiones entre todos los elementos presentes en los mapas históricos. La ausencia de leyendas (y cualquier otro tipo información adicional) en la mayoría de las planimetrías, complican la comprensión y hacen esencial el trabajo previo de revisión de las distintas simbologías y tipografías usadas.

Una vez que estos datos estén completamente analizados supondrán la base cartográfica principal de la IDE del patrimonio del agua de la Comunidad de Madrid, que se regirá por la normativa europea para la normalización de la información espacial y su accesibilidad para los usuarios.

Agradecimientos

Al Programa: Formación del Profesorado Universitario (FPU). Universidad de Alcalá.

Bibliografía

- Crompvoets, J., Rajabifard, A., van Loenen, S., Delgado Fernández, T. (2008): A Multi-View Framework to Assess SDIs. Published jointly by Space for Geo-Information (RGI), Wageningen University and Centre for SDIs and Land Administration, Department of Geomatics, The University of Melbourne.
- de Bustamante, I., Iglesias, J.A., López-Camacho, B. (2008). Los viajes de agua en la Cuenca de Madrid. Las galerías drenantes en España: análisis y selección de qanat(s). Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad. Número 2. Valencia. 145-166 pp.

- del Bosque González, I., Vincent García, J.M. (2011). Las Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) y el patrimonio histórico. Constitución y objetivos del GTT-PAH. La difusión del patrimonio: los servicios de mapas. Revista ph, Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, 77. 142-144 pp.
- Delgado Fernández, T., J. Crompvoets (2007). Infraestructuras de Datos Espaciales en Iberoamérica y el Caribe, Habana, Cuba: IDICT.
- Hermosilla, J., Pascual, J.A. (2005). Mapping the past and present of our heritage: Cartographic representation of traditional mediterranean irrigation systems. XXII International Cartographic Conference.
- Latre, M.A., López-Pellicer, F.J., Noguera-Iso, J., Béjar, R., Zaragoza-Soria, J., Muro-Medrano, P. (2013). Spatial Data Infrastructures for environmental e-government services: the case of water abstraction authorisations. *Environmental Modelling & Software*, 48, 81-92 pp.
- Ley 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.
- Gordón Peral, M.D. (2011). La memoria de los lugares: la toponimia. La cartografía como fuente de información para la investigación patrimonial. Revista ph, Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico, 77. 90-91 pp.
- Nebert, D.D. (2004): *Developing Spatial Data Infrastructures: The SDI Cookbook*. Global Spatial Data Infrastructure Association.
- Rajabifard, A. (2008). A Spatial Data Infrastructure for a Spatially Enabled Government and Society. A Multi-View Framework to Assess SDIs, *Space for Geo-Information (RGI)*. Published jointly by Space for Geo-Information (RGI), Wageningen University and Centre for SDIs and Land Administration, Department of Geomatics, The University of Melbourne. 11-22 pp.
- Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., Garrido, A. (2008). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. Fundamentos y métodos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y Universidad Nacional Autónoma de México. México, 98pp.
- Skaloš, J., Weber, M., Lipský, Z., Trpáková, I., Šantrůčková, M., Uhlířová, L., Kukla, P. (2011). Using old military survey maps and orthophotograph maps to analyse long-term land cover changes – Case study (Czech Republic). *BOE (2007)*. Real Decreto 1620/2007 DECRETO 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE 294 (8 de diciembre 2007): 50639-50661.

Vuelo Virtual por el Patrimonio Geológico e Hidrológico en Espacios Naturales

A.M. Martínez-Graña^a

^aDepartamento de Geología. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias, Plaza de la Merced s/n. (37008)-Salamanca.

Resumen

El presente trabajo versa sobre la utilización de recursos de plataformas virtuales 3D de uso gratuito y para el público en general y la construcción de itinerarios sobre el patrimonio geológico-hidrológico en espacios naturales. La utilización de las nuevas tecnologías pone en valor de forma didáctica distintos aspectos de la importancia y relevancia de dicho patrimonio abarcando desde las bases conceptuales y normativas de lo que se considera patrimonio geológico en general (incidiendo en la figura de los llamados Lugares de Interés Geológico, LIGs), hasta la presentación de distintas plataformas temáticas que lo tratan y divulgan mediante geoportales y visores con rutas temáticas.

Se demuestra la viabilidad de utilizar recursos de fácil acceso en cualquier ordenador para integrar distintos tipos de información en un único sistema de consulta bajo la aplicación de globo virtual Google Earth. Bajo un único entorno, se demuestra la posibilidad de crear un sistema de información que incorporara itinerarios y puntos de interés, cartografía temática existente, fotografías y fichas descriptivas de los elementos patrimoniales de interés, además de la creación de un vuelo virtual.

Palabras clave: Patrimonio geológico e hidrológico, Google Earth, Itinerarios didácticos.

Virtual flight by hydrological and geological heritage in natural areas

Abstract

The present work shows the utilization of resources of virtual platforms 3D of free use and for the public in general and the construction of itineraries on the geological-hydrological heritage in natural spaces. The utilization of the new technologies puts in value of didactic form different aspects of the importance and relevancy of the above mentioned patrimony including from the conceptual bases and normative of what is considered to be a geological patrimony in general (affecting in the figure of the so called Places of Geological Interest, LIGs), up to the presentation of different thematic platforms that treat and spread it by means of geoportals and visors with thematic routes.

The viability of using resources of easy access in any computer to integrate different types of information in the system of consultation under the application of virtual globe Google Earth is demonstrated. It is also demonstrated under the same environment, the possibility of creating a system of information that incorporates itineraries and points of interest, thematic existing cartography, pictures and descriptive cards of the wealth assets of interest, besides the creation of a virtual flight.

Keywords: Geological and hydrological heritage, Google Earth, Didactic tours.

1 ¿Qué es el patrimonio geológico?

El patrimonio geológico es una parte importante del patrimonio natural. Está formado por un conjunto de lugares y elementos geológicos de especial relevancia, llamados Lugares de Interés Geológico –LIGs-. Los LIGs se ordenan en inventarios o catálogos (inventarios aprobados oficialmente mediante orden, decreto o ley).

El patrimonio geológico se puede definir como: “el conjunto de recursos naturales geológicos de valor científico, cultural y/o educativo, ya sean formaciones y estructuras geológicas, formas del terreno, minerales, rocas, fósiles, suelos y otras manifestaciones geológicas que permiten conocer, estudiar e interpretar el origen y evolución de la Tierra y los procesos que la han modelado”. Incluye también las colecciones de fósiles y minerales que constituyen el llamado patrimonio geológico mueble. (Gallego y García Cortes, 1996; Hose, 1997; García Cortes *et al.*, 2000; Wimbledon *et al.*, 2000; Nieto, 2001; Gray, 2003; Pemberton, 2001).

Dada la gran amplitud del concepto de patrimonio geológico, se realizan estudios temáticos de aspectos concretos de la geología y su valor patrimonial: patrimonio hidrológico e hidrogeológico, patrimonio geomorfológico (incluyendo los modelados fluviales, glaciares...), patrimonio paleontológico, patrimonio mineralógico, todos entendidos como parte constitutiva del patrimonio geológico en su sentido más amplio

El objetivo final del estudio del patrimonio geológico y concretamente el patrimonio hidrológico-hidrogeológico es garantizar su conservación y facilitar su utilización y disfrute.

2. ¿Qué hace que un lugar presente un interés geológico especial?

Los LIGs pueden presentar interés científico, cultural y/o educativo, e incluso un interés paisajístico o recreativo. Pero lo que se suele valorar fundamentalmente es el valor científico, es decir, la información que ese lugar proporciona a la hora de recomponer la historia geológica de la zona o ilustrar el funcionamiento de un

determinado proceso geológico. Por eso se suele valorar su rareza, escasez, singularidad o representatividad dentro del contexto geológico de la zona, entre otros criterios de valoración. Actualmente hay 59 Geoparks en los cuales 21 se encuentran en países europeos y de ellos 9 españoles (Maestrazgo, Cabo de Gata-Níjar, Subbéticas, Sobrarbe, Costa Vasca, Sierra Norte de Sevilla, Villuercas-Ibores, Cataluña Central y Molina-Alto Tajo).

En el año 2001, la Asociación Internacional de Geomorfólogos (IAG) reimpulsa la investigación y creación de lugares de interés geomorfológicos, para su puesta en valor y su conservación para aspectos educativos y turísticos (Reynard, 2002; Braga, 2004).

En nuestro país, el IGME ha asumido un papel activo y catalizador en temas de Patrimonio Geológico, definiendo una serie de "frameworks" (contextos geológicos de trascendencia mundial) como paso previo al establecimiento de un listado de PIGs, mediante una clasificación temática (carácter geomorfológico, estratigráfico, geotectónico, metalogénico...), con un breve contenido descriptivo de cada uno de ellos. (García Cortes *et al*, 2000).

En España la protección del Patrimonio Geológico va en paralelo con el desarrollo de las siguientes normativas:

1. Ley de Espacios Naturales Protegidos, (BOE 107, 1975) promulgada en 1975, la cual protege áreas de gran valor natural.
2. Ley 16/1985 de Patrimonio Histórico Español, que hace referencia a "elementos geológicos y paleontológicos relacionados con la historia del hombre, sus orígenes y antecedentes" (art. 40.1 y 40.2), pero en la práctica solo se protege algún elemento paleontológico. Esta ley sirve para que los Bienes de interés cultural (BIC), catalogados en el año 1975 por el Ministerio de Cultura, se tengan en cuenta, pero al estar transferidas las competencias de los BIC a cada comunidad, a efectos prácticos, esta figura no protege los PIG, ya que de los 2500 existentes en territorio nacional, tan solo dos son de tipo paleontológico (Yacimiento Arqueológico de las Terrazas del Manzanares y Atapuerca en Burgos). En 1994, esta ley permite proteger el 5% del territorio nacional, mediante 469 Espacios Naturales Protegidos (E.N.P.), de los cuales el 76% tienen un carácter biótico, y el resto (24%) con

carácter predominantemente geológico (79) y exclusivamente geológico (33). En los de carácter geológico, el 96% son de interés geomorfológico, y el resto (4%) de interés estratigráfico, petrológico, paleontológico o tectónico.

3. Ley 4/1989, de Espacios Naturales y de la flora y fauna silvestres (BOE 74, 1989); donde se incluye la representatividad de las formaciones geológicas de los parajes (art. 13) y de los Monumentos Naturales definiéndolos como formaciones de notoria singularidad, belleza y rareza (art. 16), incluyendo en esta figura las formaciones geológicas y otros elementos de la Gea.

4. Ley 4/2007, de la Red de Parques Nacionales (BOE 81, 2007), que establece los parques y regiones a proteger teniendo en cuenta la Gea presente, entre otras cualidades.

5. Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y Biodiversidad (BOE 299, 2007), que ya tiene en cuenta la geodiversidad en el Patrimonio.

6. Ley 45/2007, para el desarrollo del Medio Rural (BOE 299, 2007), la cual menciona igual que las dos anteriores, los valores naturales relacionados con la Gea.

7. Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental permite proteger los lugares de interés geológico (LIGs) pudiendo establecer medidas preventivas para su conservación.

8. La competencia en estudios y proyectos de protección del Patrimonio Geológico, se establece mediante la Ley 73/1978, de 26 de diciembre, de creación del Ilustre Colegio Oficial de Geólogos –ICOG- (BOE 10, 1979) y con la aprobación de sus estatutos, Real Decreto 1378/2001 (BOE 303, 2001), donde se regulan las actividades geológicas y paleontológicas que deben ser gestionadas y ejecutadas por titulados en geología.

3. ¿Cómo se valora un Lugar de Interés Geológico (LIG)?

Para la identificación y posterior catalogación, valoración y descripción de los sectores de interés geológico, se procede a diferenciar Áreas, Lugares y Puntos de Interés geológico (A/L/PIG) (Goy et al, 2013).

Se consideran áreas (AIG), a aquellas zonas que presentan una extensión territorial amplia e incluyen afloramientos, procesos o elementos, que permiten conocer y comprender la historia y las características geológicas de la región de estudio. Por ejemplo, el valle de Las Batuecas, donde podemos encontrar diferentes puntos de interés: geomorfológico, paleontológico, petrológico, estratigráfico, estructural, etc.

Los lugares (LIG) son sectores territoriales con menor extensión que las áreas, donde obtenemos información de los diferentes patrones regionales que caracterizan esta zona, que aunque a diferencia de las áreas pueden darse elementos similares en otros puntos de la misma región, nos permiten completar la información de diferentes ambientes y procesos. Por ejemplo, el área carbonatada de La Rinconada, donde se aprecian estructuras orgánicas algales, procesos de disolución carbonatada, etc.; que caracterizan e identifican paleoambientes y procesos actuales únicos en esta región.

Por último los puntos de interés (PIG) son afloramientos geológicos o sitios concretos donde se pueden analizar un determinado ambiente, forma y/o proceso geológico clave en la historia regional. Por ejemplo, un punto de interés geológico pueden ser los afloramientos cuarcíticos discordantes con las calizas cámblicas, yacimientos paleontológicos, o bien didáctico, un perfil donde se observan determinadas estructuras plegadas.

En un primer momento se procede a recopilar información de los diferentes puntos de interés de índole geológica. Esta información se obtuvo a partir de publicaciones, informes de diferentes organismos, así como información de diferentes expertos temáticos de los puntos de interés. Posteriormente mediante varias campañas de campo se han realizado reportajes fotográficos, levantamiento de esquemas y cortes, toma de datos, etc.; para conocer el estado de conservación y los diferentes parámetros a tener en cuenta en la valoración posterior.

Los puntos de interés geológico se denominarán con las siglas PIG. Como consecuencia de esta primera etapa se realiza una lista con los ejemplos más representativos de interés geológico (estructuras sedimentarias, formaciones

estratigráficas, plegamientos, formaciones superficiales singulares, yacimientos paleontológicos.....).

El siguiente paso determina el tipo de interés de cada punto, lugar y/o área inventariada, pudiendo ser:

Científico: basado en la importancia geológica del PIG a nivel regional o suprarregional.

Didáctico: basado en su utilidad para mostrar procesos o formas características.

Turístico: basado en su atractivo visual y calidad paisajística.

Finalmente se diseñan fichas en la que se muestra, en la parte superior izquierda, el número de identificación del A/L/PIG; sus coordenadas UTM, y un esquema cartográfico sobre su accesibilidad, y una ortofoto del sitio de interés. También indica el tipo de interés que presenta el A/L/PIG, ya sea científico, didáctico y/o turístico. La valoración es independiente, ya que los de tipo "científico" presenta más importancia patrimonial que los "didácticos", los cuales permiten reconocer los procesos de interés científico. Por ello se ordenan por orden de valoración pero en apartados diferentes.

La valoración de un LIG, es mediante tablas con las que se asignan valores a cada LIG en función de tres parámetros: valor intrínseco, potencialidad de uso y riesgo de degradación, es decir, su interés científico, el uso que se pueda hacer de ese lugar y el riesgo que existe de que sea degradado o incluso destruido. Eso es lo que permite comparar diferentes LIGs y, sobre todo, orientar la gestión que garantice su mejor conservación y utilización.

4. ¿Cómo divulgar el Patrimonio Geológico e Hidrológico?

La divulgación del patrimonio geológico e hidrológico, debe ser de fácil acceso y llegar a gran cantidad de personas, por ello actualmente se suelen utilizar los medios disponibles en la Red, sobre todo aplicaciones de gran uso social.

En primer lugar destacamos las webs de organismos que potencian el patrimonio geológico y dentro de las cuales podemos encontrar un gran número de recursos.

Destacamos aquí la página web del Instituto Geológico y Minero de España -IGME- (Figura 1) y la web de la Sociedad Geológica de España –SGE-.

En segundo lugar itinerarios o georutas elaboradas o patrocinadas por la Sociedad Geológica, ayuntamientos, grupos de acción local, asociaciones, grupos de senderismo.... Son una buena iniciativa para la divulgación geológica a los habitantes de cada región.



Figura 1. Página Web del IGME donde se observa la enorme información sobre patrimonio geológico y links a guías y otras publicaciones de divulgación geológica.

Un ejemplo de estos itinerarios son los Geolodías con sus Geologuías que es una iniciativa de divulgación de la geología relacionada con la profesión del geólogo a través de una de sus facetas más atrayente para el público en general, las excursiones de campo. Las cincuenta excursiones ofertadas, en lugares que abarcan desde los entornos de las ciudades hasta espacios naturales protegidos serán guiadas por geólogos pertenecientes a diversas instituciones, sociedades y asociaciones científicas. El Geolodía es una jornada que abre la puerta de entrada al laboratorio habitual de los geólogos, la naturaleza. Se pretende observar con "ojos geológicos" el entorno en el que se asientan nuestras poblaciones y entender, a través de los efectos que tienen sobre la superficie, algunos de los procesos que han determinado el origen y evolución de la Tierra sobre la que vivimos. Otra de las metas importantes de esa jornada es la de divulgar la labor de los geólogos y lo que estos, como científicos y profesionales, pueden aportar a la sociedad y a su bienestar. También se quiere dar a conocer nuestro patrimonio geológico para que se tome conciencia de la importancia y necesidad de protegerlo. Las excursiones, a razón de una excursión por provincia, serán totalmente gratuitas y abiertas a todo tipo de público, sea cual sea el conocimiento de geología de los asistentes. La información relativa a las excursiones de los Geolodías en España se puede visitar en la WEB de la Sociedad Geológica Española: http://www.sociedadgeologica.es/divulgacion_geolodia.html (Figura 2).

En tercer lugar los paneles didácticos e interpretativos sobre LIGs, ya sean fijos o móviles son un buen recurso didáctico para potenciar el conocimiento geológico entre la sociedad. Algunos de ellos, muestran georeferenciados los LIGs sobre imágenes de satélite de alta resolución (Figura 3).

En cuarto lugar la implementación en algunas páginas webs, de geoportales y visores mostrando Rutas Temáticas, como la del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medioambiente, o bien la del Ministerio de Cultura, permiten planificar viajes, realizar capturas con visores interactivos y viajes virtuales por los lugares de interés cultural por sus connotaciones geológicas...(Figura 4).

Por último, la utilización de globos virtuales 3D gratuitos o de pago, permite implementar el patrimonio geológico e hidrológico en vuelos virtuales 3D, aplicados a las nuevas tecnologías: smartphone, tablets..., que pueden estar gestionados desde visores webs de la administración, ayuntamientos, geoportales de grupos de acción local, figuras medioambientales como Reservas de la Biosfera o asociaciones de espacios naturales.



Figura 2. Página Web de la SGE donde se divulga el patrimonio geológico de cada provincia española con las geoguías y los paneles de los geodías desde el año 2005 hasta la actualidad.



Figura 3. Ejemplos de paneles didácticos e interpretativos de diferentes temas y zonas de España.



Figura 4. Ejemplos de geoportales y visores con rutas de patrimonio natural y ambiental, incluyendo el patrimonio geológico.

Este tipo de divulgación del patrimonio natural incluyendo el geológico e hidrológico suele partir de un mapa interactivo a partir del cual se numeran o seleccionan diferentes LIGs, sobre cartografías temáticas desplegadas por el usuario, que muestran una información natural (hidrología, relieve, geología, edafología, espacios naturales protegidos, áreas húmedas...), además de otros datos básicos (población, núcleos urbanos, carreteras, hoteles, gasolineras...) que permiten realizar vuelos virtuales 3D y conocer – planificar las zonas a visitar, así como establecer las rutas y puntos de interés en el GPS móvil o del automóvil (Figura 5).

En Internet es posible, hoy en día, encontrar aplicaciones tipo Google Earth para elaborar nuestras propias georutas, cargando los LIGs y esquemas, fotografías o descripciones de cada punto de interés, para poder volar virtualmente por el itinerario. También hay aplicaciones de pago como el software Terra Explorer que permite a los usuarios la edición de un globo digital a partir de una base cartográfica 3D generada con Terra Builder, ofreciendo la posibilidad de incluir contenidos georeferenciados para que el usuario final pueda sobrevolar los territorios creados y consultar la información añadida desde su Smartphone, tablet, ipod...(Martínez-Graña *et al.*, 2013) (Figura 6).

Aplicaciones que permiten utilizar la realidad aumentada para divulgar el patrimonio geológico e hidrológico son muy utilizadas por las nuevas generaciones. La información geológica e hidrológica se puede cargar en un servidor o plataforma específica, de forma que los datos e imágenes se superpongan sobre una ortofoto del terreno en 3D en tiempo real, en sistemas androide de Smartphone y tablets, facilitando el receptor GPS del móvil y la brújula incorporada o descargada como una GeoApp, además de la cámara fotográfica incorporada, interactuando de forma que descargamos imágenes (panoramio, flickr app...) o incorporamos para otros usuarios reproduciéndose en la pantalla del móvil el entorno temático en tiempo real. El gran desarrollo de la información digital y su interoperabilidad mediante códigos QR y

geoapps potencian la divulgación del patrimonio geológico e hidrológico (Martínez-Graña y Goy, 2014) (Figura 7).

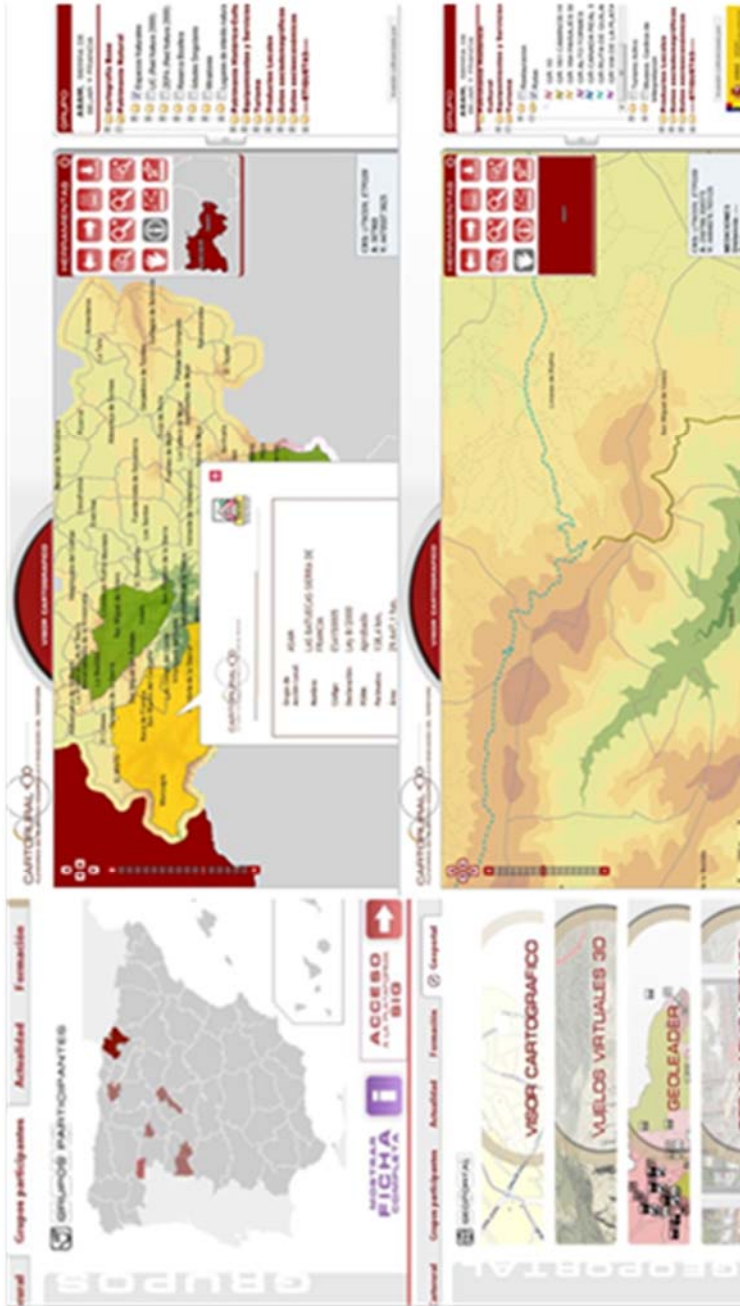


Figura 5. Geoportal con visores y vuelos virtuales con cartografía temática y georutas.



Figura 6. Capturas de vuelos virtuales 3D con Terra Explorer y Google Earth, superponiendo capas cartográficas geológicas y LIGs con información fotográfica en la georuta elaborada con diferentes LIGs.



Figura 7. GeoApp realizada para una georuta con el trazado del itinerario sobre globos virtuales 3D y paneles con códigos QR..

Bibliografía

- Braga, J.C. (2004). Propuesta de Estrategia Andaluza de Conservación de la Geodiversidad. Consejería de Medio Ambiente. Universidad de Granada. Unión Europea. 103 pp.
- Gallego E. y García-Cortes. A. (1996). Patrimonio Geológico y áreas naturales protegidas. Geogaceta 19. 202-206.
- García Cortes, A.; Baretino, D.; Gallego, E. (2000). Inventario y catalogación del Patrimonio Geológico Español. Revisión histórica y propuestas de futuro. En: Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión. ITGE.
- Goy, J.L., Martínez-Graña, A. M. , Sanz, J. , Cruz, R., Andrés, C., De Bustamante, I., Zazo, C., González-Delgado, J.A. y Martínez-Jaraíz, C. (2013). Inventario y catalogación del Patrimonio Geológico de los Espacios Naturales del Sur de Castilla y León (Salamanca-Ávila, España). En: Patrimonio geológico, un recurso para el desarrollo. Cuadernos del Museo Geominero, nº 15. Instituto Geológico y Minero de España. IGME. Eds: Vegas, J.; A. Salazar; E. Díaz Martínez y C. Marchan. ISBN: 978-84-7840-901-3. Depósito Legal: M-14567-2013. Ed. IGME. Madrid. Junio 2013. pp 389-400.
- Gray, M. (2003). Geodiversity. Valuing and conserving a biotic nature. Wiley. 434 pp.
- Hose T.A. (1997). Geotourism. Selling the Herat to Europe. In: Engineering Geology and the Environment (PG Marinis, G.C. Joukis, G.C. Tsiambaos y G.C. Stournaras Eds). Balkema. Róterdam. 2955-2960.
- Martínez-Graña, A.M., Goy, J. L. and Cimarra, C. (2013). A virtual tour of geological heritage: Valourising geodiversity using Google Earth and QR code. Computers and Geosciences 61, 83-93. Editorial Elsevier. ISSN: 0098-3004.
- Martínez-Graña, A.M. y Goy, J.L. (2014). Putting in value of the geological heritage like tool of spreading in natural spaces by means of the new technologies (digital itineraries, virtual globes, flights 3D, didactic panels and videos), Chapter VII of book: Content and method at the forefront of university instruction. Ed. Journal of alternative perspectives of social sciences ISBN 978-1-312-18812-9. 16 pp.
- Nieto, L.M. (2001). Geodiversidad: propuesta de una definición integradora. Boletín Geológico y Minero. Vol 112. Nº 2. 3-12.
- Pemberton, M. (2001). Conserving Geo-diversity: the case of geoparks. Division of Earth Sciences, UNESCO. Paris.
- Reynard, E. (2002). Report of meeting of the working group "Geomorphological Si-tes".

Wimbledon, W.A.P.; Ischenko, A.A.; Gerasimenko, N.P.; Karis, L.O.; Suominen, V.; Johansson, C.E.; Frden C. (2000). Proyecto Geosites, una iniciativa de la Unión Internacional de las Ciencias Geológicas (IUGS). La ciencia respaldada por la conservación. En: Patrimonio Geológico: Conservación y Gestión (D. Baretino, W.A.P; Wimbledon y E. Gallego). IGME. 73-100. Priego, A., Bocco, G., Mendoza, M., Garrido, A. (2008). Propuesta para la generación semiautomatizada de unidades de paisajes. Fundamentos y métodos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental y Universidad Nacional Autónoma de México. México, 98pp.

Webs consultadas:

<http://www.igme.es/internet/patrimonio/default.htm> (consultada 1/02/2014)

http://www.sociedadgeologica.es/divulgacion_geolodia.htm (consultada 2/02/2014)

<http://www.europeangeoparks.org> (consultada 2/02/2014)

Analyzing the influence of land cover change on the soil moisture regime of two Mediterranean catchments using a water balance model

J.A. Pascual-Aguilar^{a,b,c}, E. Iranzo^d

^aCentro para el Conocimiento del Paisaje.

^bFundación IMDEA-AGUA.

^cCentro de Investigaciones sobre Desertificación-CSIC.

^dUniversitat de València, Estudi General.

Abstract

Intensive and extensive processes of land use changes experienced in the last sixty year period have led to considerable landscape transformations in Mediterranean areas. It is assumed that land cover alterations will produce changes on drainage basins' water regime. Dimensions of the changes will also depend on the magnitude of transformation of the land covers, as well as their interaction with the rest of components of the hydrological system where they are inserted.

To understand the contrasting land cover evolution and the behavior of soil moisture dynamics due to land cover changes, in a 40 year period for the second half of the 20th Century, two medium size catchments (Barranc de Carraixet and Rambla de Poyo) near the city of Valencia, Spain, have been analyzed using Geographical Information Systems (GIS) procedures. Data consisted on four land cover reconstructions (1956, 1978, 1991 and 1998), a potential vegetation reference layer, soil maps and monthly records of rainfall and temperature for the period 1951-1990. A water balance model for the analysis of the hydrological behavior of the soil-land cover complex, monthly distributed, was developed.

Major differences of land cover dynamics between the two study areas are due to the intensity of change of individual covers and the intrinsic characteristics of each sub-basin. In both cases, the model reflects the loss of vegetation cover as reduction of the soil system water storage capacity and, consequently, the increase of water surplus production. Results show that soil moisture dynamics are, in all four studied moments, different if compared to the potential vegetation scenario. Furthermore, due to differences in the first historical land cover situation (1956) the behavior of the Barranc de Carraixet drainage basin differs from that of the Rambla de Poyo. The Barranc de Carraixet shows in the two first dates (1956 and 1978) very similar responses to the potential vegetation scenario.

Keywords: Hydrological modeling, Mediterranean environments, Geographical Information Systems, Environmental Change.

Desarrollo de un modelo de balance hídrico para el análisis de la influencia de los cambios de las cubiertas superficiales en el régimen de humedad de los suelos de dos cuencas mediterráneas

Resumen

Los cambios de uso de la tierra experimentados en los últimos sesenta años han dado lugar a considerables transformaciones del paisaje en zonas mediterráneas. Se puede suponer que las alteraciones de la cubierta terrestre producirán también alteraciones en el régimen hídrico de las cuencas de drenaje. Las dimensiones de los cambios dependerán de la magnitud y el tipo de transformación de las cubiertas, así como su interacción con el resto de elementos del sistema hidrológico donde se insertan.

Para entender la dinámica de tales cambios y su relación con la humedad del suelo, se han analizado dos cuencas de tamaño medio (Barranc de Carraixet y Rambla de Poyo) cerca de la ciudad de Valencia, España, aplicando técnicas de 3 Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los datos utilizados consistieron en cuatro reconstrucciones de cubiertas del suelo (1956, 1978, 1991 y 1998), una capa de referencia de vegetación potencial, mapas de suelos y registros mensuales de precipitación y temperatura para el período 1951-1990. Para el análisis del comportamiento hidrológico del complejo suelo-cubiertas del suelo, se desarrolló un modelo de balance hídrico mensual distribuido en el espacio.

Las principales diferencias de la dinámica de los usos del suelo entre las dos áreas de estudio se deben a la intensidad del cambio de cubiertas individuales y de las características intrínsecas de cada subcuenca. En ambos casos, el modelo refleja la pérdida de la cubierta vegetal como la reducción de la capacidad de almacenamiento de agua del sistema del suelo y, en consecuencia, el aumento de la producción de excedente hídrico. Los resultados muestran que la dinámica de la humedad del suelo es, en las cuatro fechas estudiadas, distinta si se compara con el escenario de vegetación potencial. Además, debido a las diferencias en la primera situación histórica de cubiertas del suelo (1956), el comportamiento de la cuenca de drenaje del Barranc de Carraixet no es similar al de la Rambla de Poyo. En los valores de síntesis, el Barranc del Carraixet muestra en las dos primeras fechas (1956 y 1978) respuestas cercanas a las del escenario de vegetación potencial.

Palabras clave: Modelado hidrológico, Ambientes mediterráneos, Sistemas de Información Geográfica, Cambio Ambiental.

1 Introduction

Land cover represents the physical materialization of the characteristics of the terrestrial surface, in terms of land use (Bossard *et al.*, 2000). Land cover change is a constant feature in Mediterranean environments where the natural vegetation is, in many places, degraded and even destroyed by human activities. During the last 60 year period land cover changes have occurred as a result of socio-economic drift from traditional ways of living to more market oriented ones. Such changes are particularly visible in eastern Spain, where the loss of traditional agriculture is one of the most outstanding features of the new landscape dynamics. Successive economic crisis, together with insufficient income generation and difficulties introducing modern mechanized agricultural practices, have driven to the abandon of marginal fields and they transformation to more intensive ones such as irrigated cash cropping (Hermosilla Pla, 1997), their substitution by extensive residential and urban development (Miranda Montero, 1985), or the development of tourist and leisure facilities.

Most contemporary transformation processes stem from population increase and the associated massive urban, industrial and infrastructure development along the Mediterranean coast (Moriconi-Ebrard, 2001). These rates of change can also be significant at local as well as regional and global scales (Pascual Aguilar, 2004). Thus, besides altering the character of the landscape by modifying its composition and structure, land cover change interrupts the overall landscape multi-functionality.

In arid and semiarid Mediterranean regions, the understanding of the mechanisms of water management is of paramount importance because most land processes are related to the water pathways through the canopy and the soil. The hydrological regime of a catchment can be evaluated by quantifying the inputs (rainfall) and the outputs (evapotranspiration, and water surplus) of the system. This type of simulation is known as "water balance" (Thornthwaite and Mather, 1955; Xu *et al.*, 2004), and models of this type have been used to study the inter-relationships between soil moisture, evapotranspiration and vegetation (Thomas, *et al.*, 1983); to forecast runoff and soil moisture dynamics (Alley, 1984); or to calculate

meteorological indexes incorporating changes in the soil moisture storage component of the model (Palmer, 1965). More recently, models have been considered as useful tools for ungauged catchments when the parameters description is based on distributed measurements rather than point observations (Vandewiele and Atlabachew, 1995).

Due to its simplicity, the water balance concept has been applied to different purposes and scales. Examples of its development are the study of the effects on the changes of the superficial cover in water quantity and quality (Mattikalli *et al.*, 1996); the study of the alterations in the water balance due to the climatic change (Van Deursen and Kwadijk, 1993; Tripathi *et al.*, 2007); its development as a tool for decision support (Cliburn *et al.*, 2002); and its application at global and regional scales (Mintz and Serafini, 1996).

The increasing magnitude and intensity of anthropogenic activities have attracted global or regional studies of land use-cover dynamics and impacts (Esser, 1989; Nemani *et al.*, 1996) as a way to understand the global environmental change mechanisms. It has also been suggested that for a better understanding of land use-cover changes in different environments - such as the Mediterranean - working approaches and models encompassing the major components are required (Lavorel *et al.*, 1998).

The main objective of this work is to study the influence of land use/cover changes in the soil water regimes of two contrasting medium sized catchments. For such purpose, a distributed model, using Geographical Information Systems, was developed. The model is based on the principles of monthly water balance but it has been extended to address soil moisture variability in relation to both soil and land cover characteristics.

2 Methodology

2.1 Study areas

The selected study areas are the Barranc de Carraixet (128 km²) and the Rambla de Poyo (186 km²) located in the eastern part of the Province of Valencia, Spain

(Figure 1). They have dominantly sea facing slopes draining the Eastern Iberian ranges. Together with the river Turia, they drain the mountains and the lower alluvial sedimentary plains that surround the city of Valencia, which is the third largest urban agglomeration in Spain.

In both basins, three major topographic units can be found (Camarasa Belmonte, 1995): (i) the headwaters area, with higher slopes and altitudes that range from approximately 400/500 to 1050 m a.s.l, is developed over resistant limestone - dolomitic materials with karstic activity; (ii) a central transitional area with a front of alluvial fans, where gradients are moderate and altitudes range from 250/275 to 400/500 m; and (iii) the lowland area, developed on alluvial depositional materials, with altitudes that range from 100 to the 250/275 m contour line.

Average annual temperatures are between 15°C and 20°C, whereas annual average rainfall is between 450 and 550 mm (Clavero Paricio, 1979). Most rainfall is concentrated in spring with a second smaller peak in autumn, being the central months of the year a dry period with very little or no precipitation. Potential vegetation in the region is related to two major formations of oak species (Costa, 1999). One of them is the *Quercus rotundifolia* floral composition, which structure is constituted by a predominant oak tree, "carrasca". The second major potential plant formation is characterized by *Quercus coccifera*, an oak specie of little size well adapted to rainfall scarcity and dryness.

The study catchments are now agricultural with natural and semi natural vegetation, Pinus reforestation zones and degraded matorral formations account for about 50% of their area. Soil distribution is related to the three main types of topography. In the highlands, with steep slopes where limestone is the subjacent lithology, Leptosols (FAO, 1988) are found together with Cambisols and Luvisols. Where sandstones are the parent rock, soil formation leads to Regosols. The transitional foothills or pediments are mainly characterized by the development of Calcisols and Cambisols. On flat lands Fluvisols are the most representative soils. They are constructed on deep Quaternary deposits of fluvial origin that, at present, most intensive agriculture and large settlements are found.

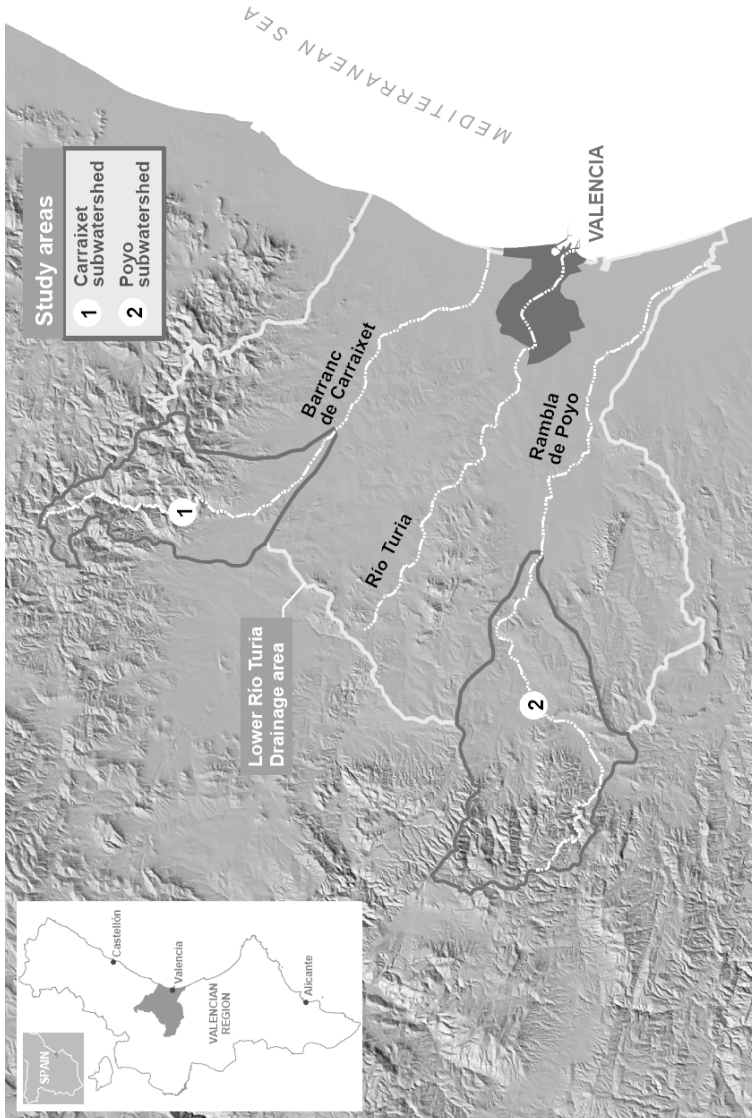


Figure 1. Location of the study areas.

2.2 Modeling and analytical procedure

The working framework has been developed within a Geographical Information Systems (GIS) structure (Chang, K. 2002). Thus, regardless the type and nature of the information a three steps procedure has been developed (Figure 2). First primary data (rainfall and temperature records, soils and land cover information) were incorporated into the GIS. The second step consisted on the derivation of the input information required by the water balance model (cartographic database). Finally routines were developed for the calculations of the different components of the water balance model (Pascual Aguilar, J.A. 1999).

2.2.1 Primary data pre-processing

Meteorological data

A monthly series of 40 years (1951-1990) of rainfall and temperature, belonging to 42 weather stations, covering the area where the two watersheds are located, were used. Climatic records were provided by the Spanish State Meteorological Agency. Punctual information was converted into rainfall and temperature surfaces by means of an interpolation technique (Tabios and Salas, 1985); therefore, point measurements provided by the weather stations were further treated by using the interpolation Inverse Distance Weighting method (Naoum and Tsanis, 2004).

Land cover information

Aerial photographs at different dates (1957, 1978, 1991 and 1998) were used as sources of information for the land cover layers (Table 1). Moreover, a reference moment of potential natural vegetation was reconstructed following Costa works (Costa, 1999), to be compared with the historical land cover maps.

Digital maps were created for each date according to a common legend that considers the most relevant types of land cover found in the area. The technique used for element identification was based on Aerial Photograph Interpretation (Taylor *et al.*, 2000), which takes in consideration the photograph properties such as texture, structure and color hue. Field work for land cover maps supervision and confirmation was also undertaken.

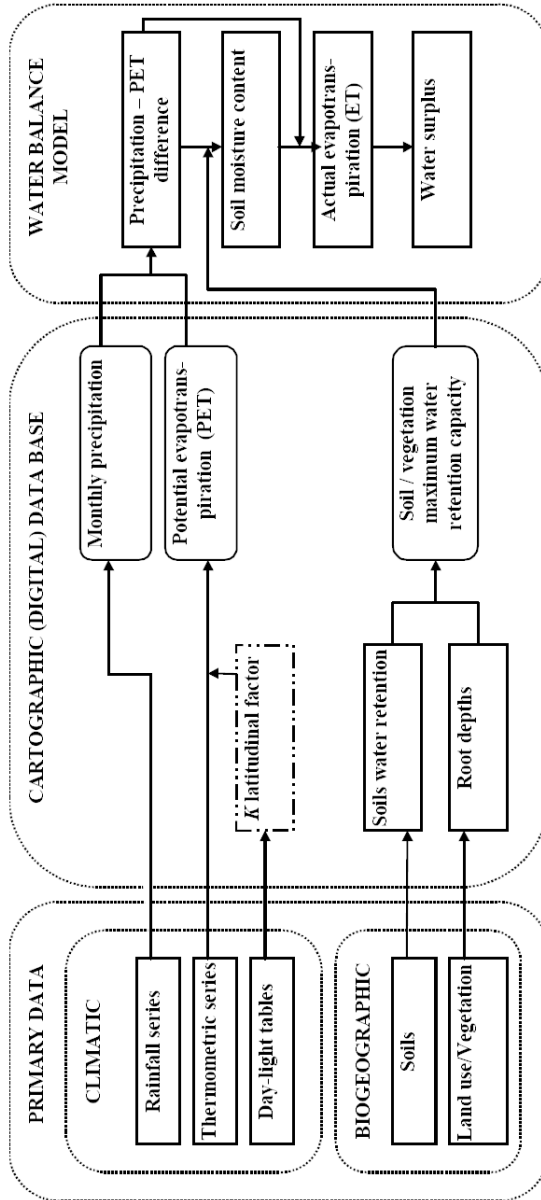


Figure 2. Flow diagram of the distributed calculation of the water balance within a GIS framework.

The land cover legend was organized according with the three major groups: artificial surfaces (urban and communication structures), natural open spaces (with two distinct covers, one of Pinus trees another of matorral bushes), and agriculture land (making distinction between rain fed and irrigation agricultures). Rain fed agriculture was further subdivided into two classes according to the size of the crops: tree covers (almond, olive and carob trees) and vineyards. Irrigation agriculture was also subdivided into citrus and vegetable covers.

Table 1. Characteristics of the aerial photograph series

Flight owner	Date	Photogram properties	Mapping
Instituto Cartográfico Valenciano	1998	Scale: 1:25.000 Color type: panchromatic	Land cover 1998
Instituto Cartográfico Valenciano	1991	Scale: 1:25.000 Color type: panchromatic	Land cover 1991
Former IRYDA	1978	Scale: 1:18.000 Color type: panchromatic	Land cover 1978
Servicio Geográfico del Ejército	1956	Scale: 1:30.000 Color type: panchromatic	Land cover 1956

Soils information

Analogical maps (at scale 1:100,000) provided by the LUCDEME project (Ibáñez *et al.*, 1999) were used for soil information characterization. Soil units are depicted as polygonal entities, following the FAO taxonomy (FAO, 1988). Digital incorporation of such primary data was undertaken by on screen digitizing, following soil paper maps scanning and geo-referencing.

2.2.2 Cartographic data base construction

All previous information was transformed, if required, into a homogeneous set of raster images. A pixel size of 100m was estimated as suitable for the model application taking into account the nature of the different data sources and the system operability (Valenzuela and Baumgardner, 1990). Prior to water balance modeling, either climatic and biogeographic information were treated in order to obtain the

model initial parameters such as rainfall, potential evapotranspiration (PET) and the maximum water retention capacity of the soil-land cover (vegetation) complex.

Among the different existing methods for the calculation of potential evapotranspiration, data availability and model complexity determined the election of that to be applied. In this research a simple temperature-based method (Thornthwaite, 1948) was used for the automated distribution of PET within the GIS, which conceptualization has been proved with good capabilities in reproducing historical water balance components (Jiang *et al.*, 2007).

Land cover and soil images need to be reclassified into root depth (obtained in different field work campaigns) and soil water capacity parameters (after statistical treatment of the soil profiles information that characterized the taxonomic soil units provided by the LUCDEME project), respectively, to calculate soil water storage maximum capacity values (Dunne and Leopold, 1978).

2.2.3 Model development

The model rationale is based on the assumption that each cell constitutes one single reservoir for soil water balance. Although average synthetic values for the whole watershed can also be obtained at the end of the modeling procedure. If monthly water balances are calculated, input data required by the model consist of monthly values of precipitation, P_m , and potential evapotranspiration, PET_m . These values can be climatic-average values of a time period or monthly averages of a series of annual registers. The model also requires the soil-water storage maximum capacity, ϕ . The water balance model will then calculate -for each month- soil moisture content (S_m), actual evapotranspiration (PET_m) and water surplus (T_m), a value that integrates water percolation and runoff. The characteristic feature for soil moisture is the concept of water maximum holding capacity that is based on the synergy of the soil-vegetation (or land cover) complex.

A). Soil moisture content

If for a given month $P_m > PET_m$, the soil moisture at the end of that month is then obtained as:

$$S_m = \min \{ (P_m - PET_m) + S_{m-1}, \phi \}. \quad (2.1)$$

Otherwise, if $P_m < PET_m$, the soil moisture is given as:

$$S_m = S_{m-1} * \exp [(P_m - PET_m) / \phi] \quad (2.2)$$

B) Actual evapotranspiration (ET_m)

For the first of the cases, $P_m > PET_m$:

$$ET_m = PET_m, \quad (2.3)$$

Otherwise:

$$ET_m = P_m + S_{m-1} - S_m \quad (2.4)$$

2.2.4 Spatial and temporal land cover and soil moisture analysis

Two strategies were used. In first place, spatial and temporal analysis of the land use and cover dynamics were carried out, taking as reference moment the 1956 situation. In that case, simple landscape metrics were used mainly based in descriptive statistics such as average land cover categories or synoptic time lines. The aim of this first analysis was to obtain, by comparing trends on both catchments, some insight of similarities and differences of land use histories to further understand the hydrological behavior of the soils.

The second analysis was based on the soil moisture dynamics. With the purpose of comparing both catchments, average representative information on the soil moisture regime and the water surplus produced were used, based on the climatic time series of 40 years. In this way, a scenario simulation procedure was developed. To facilitate the analysis, it was assumed that all the needed parameters were stable, except for those where land cover values were involved, such as soil moisture content. For each date or land cover moment a scenario simulation running the water balance model was performed. Each of them was later compared to the potential vegetation situation as the non-altered natural and reference moment. Finally, results for both catchments were further compared to establish trends in the catchments behavior.

3 Results and Discussion

3.1 Land cover dynamics

Regarding the natural covers, in 1956 the total surface corresponding to *Pinus* tree forest was 30% in the Barranc de Carraixet, and for bush vegetation (matorral) covers was 20% of the basin area. On the contrary, initial conditions are different in the Rambla de Poyo area. In that basin, almost all natural or semi natural covers are formed by bush lands, except for a 0.1% (25 ha) of *Pinus* trees. Although the relative final surfaces found in 1998 offers very similar amounts of forest cover in both areas, their respective dynamics are distinct. In the Barranc de Carraixet, there is a considerable growth (of almost 16%) between the years 1956 and 1978, and constant dramatic decreases afterwards to the point that in 1998 the basin surface covered by the *Pinus* forest was only 3.2%. An important increase between 1956 and 1978 (12.3%) in the Rambla de Poyo was measured, with a second smaller between 1978 and 1991. However, the quantified surface for *Pinus* forest shows in 1998 a reduction, occupying a very little proportion of the basin. In both catchments, there was an increase of matorral vegetation between 1956 and 1998, covering in late date a considerable part of the basins, 45% in the Rambla de Poyo and 57% in the Barranc de Carraixet. Internal differences in the cover dynamics of the catchments were observed. While the matorral vegetation decreases in 1978 and increases afterwards in the Carraixet, in the Rambla de Poyo decreases between 1956 and 1991 with an important increase in 1998.

Rain fed agriculture (trees and vineyards) presented similar trends in both catchments (Figure 3). The Rambla de Poyo offers some contrasting differences in the percentages for vineyards and trees covers that can be explained by the basin internal history. In the Barranc de Carraixet, the total diminution of agriculture rain fed trees is more than half of that quantified in 1956. In the case of traditional vineyards, the loss was almost total. In that way, the representation of such covers was around 9% in 1956, while in 1998 have almost disappeared. In the Rambla de Poyo, in 1998, a considerable presence of the two rain fed types still existed, covering the tree lands 25% of the surface and 13% the vineyards. Although the graphs (Figure 3) show the reduction of both surfaces with time, the temporal dynamics and rates of reduction are smaller than those observed for the Barranc de Carraixet.

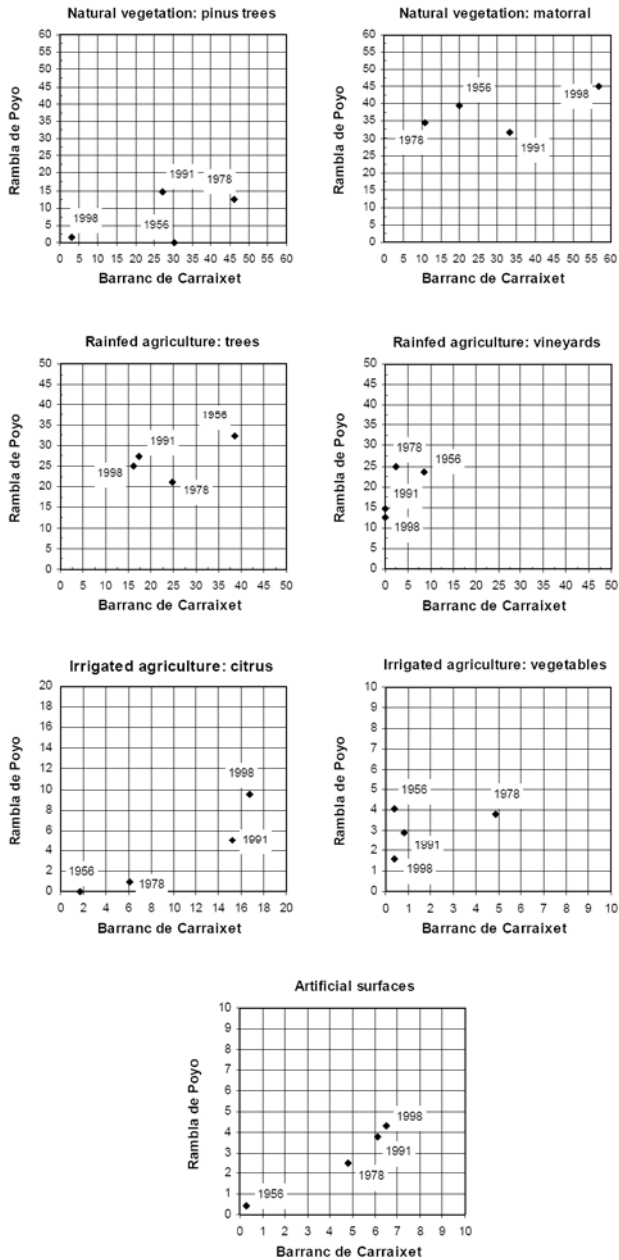


Figure 3. Relative areas (%) of land cover dynamics of the Carraixet and Poyo basins.

Land cover dynamics according to three major trends, such as intensification, conversion and degradation (Lambin, 1997), were identified in the two basins. In both cases, intensification refers to transformations from traditional agriculture, either rain fed or irrigated crops; land conversion is produced by changes in land use with substitution of agriculture and natural covers by artificial ones or even the increase in forest and matorral due to the abandonment of marginal agriculture land. Land degradation is mainly related with the transformation of natural or semi natural forest covers into matorral surfaces. Such trends are common in the region (Hernández Hernández, 1997), where the crisis of the traditional landscape systems is reflected in the dominance of new covers, and are related with modern socio-economic conditions. The new orientation produces an abandonment of marginal fields, the growth of residential and leisure areas in open rural spaces, and the introduction of intensive agriculture.

Such trend is well identified in the study areas, but with differences in the change intensities (Figure 4). The Barranc de Carraixet produced a more dynamic model in the covers transformation process than that performed in the Rambla de Poyo, where in 1998 a much important presence of rain fed farming was found. In the Rambla de Poyo some local factors (tradition and perception of a viable market) are determinant to explain the permanence of this type of covers, particularly those of vineyards (Piqueras, 1998). The abandonment of marginal lands together with reforestation policies can explain the constant growth of the natural areas between 1956 and 1998 occurred in the two basins. Nonetheless, the internal dynamics of the Pinus trees and matorral covers are related with recurrent wildfires (ESCV, 2007), which, among other consequences, produce the loss and degradation of biomass (Ahlgren and Ahlgren, 1960) that is reflected as changes from Pinus trees to matorral.

Agriculture intensification, by means of the constant growth of the citrus fields, is inserted within the land use dynamics of a larger local area, where competition for land from different activities is pushing to the substitution of the traditional farming systems to irrigation ones (Pascual Aguilar, 2004). It has to be considered that citrus dynamics are also related with the larger process of globalization (Robertson and Khondker, 1998). In that context, the expansion, apart from having a local economical

and productive context, is part of the global phenomenon in which the contribution of the citrus production is 70% of the regional agriculture export balance, providing 30% of the national agricultural exports (Serves Izquierdo *et al.*, 2003.).

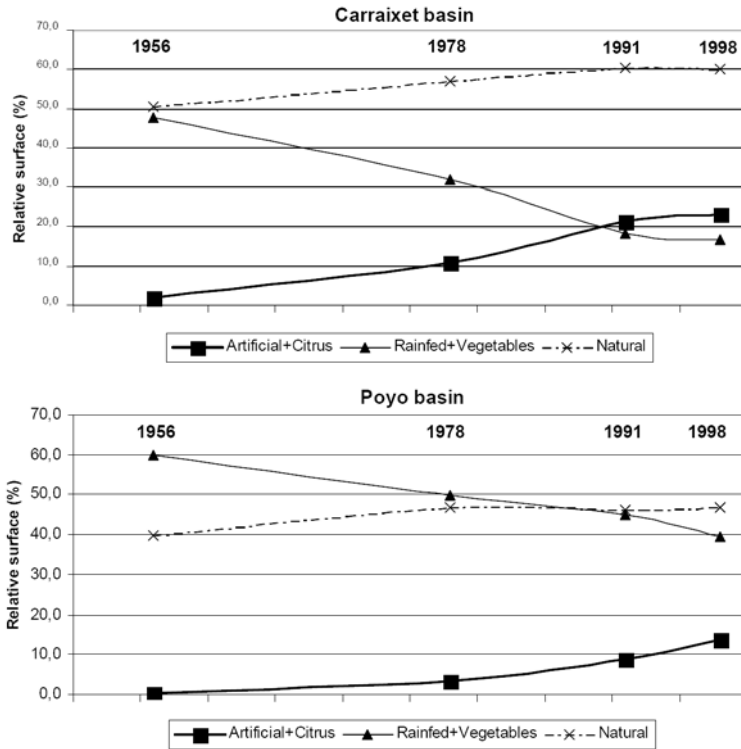


Figure 4. Models of land cover trends for the Carraixet and Poyo basins.

A second driving force, common in both catchments, is the rapid growth of artificial surfaces. The artificial cover dynamics are related to the urban growth and expansion, which is a common feature in Mediterranean countries (Moriconi-Ebrard, 2001), with a marked trend to concentrate population and activities along the shore lines, and even with a modern worldwide process of population concentration in cities and consequent urban expansion (Romero and Órdenes, 2004.). In the two basins, the artificial covers increase is linked to the expansion of the city of Valencia and its

urban externalities (Verhoef and Nijkamp, 2003) produced by its own growth process. The pressure of the urban economies on the surroundings areas produced not only the agriculture transformations of the urban fringes, like in other parts of the neighbouring context (Jarrige, 2004), but also threats (or even eliminate) the conversion of traditional covers with the appearance of industrial, commercial and second residence areas in the rural context, and the increase of transport networks.

3.2 Soil moisture regimes in watersheds with changing land covers

The combination of soil and potential vegetation properties allows the estimation of a reference simulation scenario that will facilitate the comparison with the constructed land cover historical situations. Results are offered here as synthetic information, but this is obtained from the combination of the distributed calculations made by the model over the total surface of the basins and the climatic time series of the 40 year-period related above.

The Barranc de Carraixet and Rambla de Poyo areas showed great differences in their initial soil moisture conditions (Figure 5). Although the potential vegetation scenario has to be considered as an approximation to unaltered natural conditions, the existence of different cover structures suggested by vegetation gives higher values of the average maximum water content to the Rambla de Poyo area, while in the Barranc de Carraixet the initial value for potential vegetation are almost two thirds of that found in Poyo. When applying climatic characteristics (rainfall and PET), a reduction of the maximum holding water content available in the basins to the average annual water content were observed in both cases.

In the Barranc de Carraixet, the smaller water holding capability of the soil-cover complex is not reflected as a reduction factor under the conditions of the subsequent historical land cover scenarios. In fact, during the period 1956 and 1978 values were quite similar to those obtained for the potential vegetation in both, maximum water content and the time series mean water content. Such trends identify the combinations of very retentive covers, such as well developed natural or semi-natural covers (for example Pinus tree forests) and the existence of well developed agricultural systems formed in their majority by tree covers. The most recent

scenarios present a constant diminishing trend in the soil water retention abilities, being in the final year almost half of those observed not only for the potential vegetation but also for those presented in 1956, 1978 and 1991.

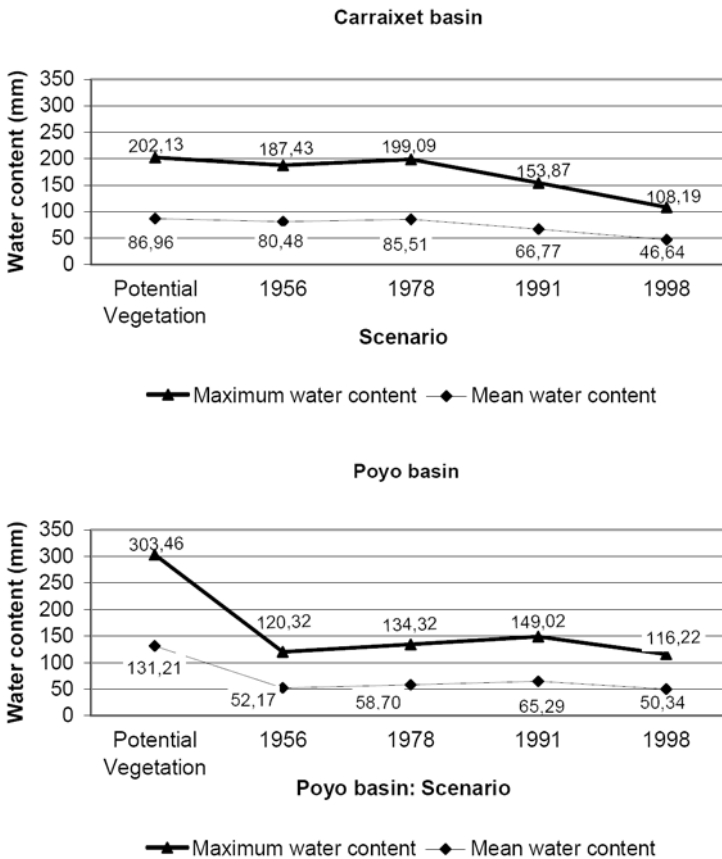


Figure 5. Maximum water holding capacity and mean water content of the Carraixet and Poyo basins.

Trends in the Rambla de Poyo area were much different. The most significant feature is the great change between the potential vegetation scenario and the results obtained for the situation in 1956. The maximum and mean water content in 1956 were 40% of those obtained for the potential vegetation situation. Such differences

suggest a strong impact on the natural conditions that permit the maintenance of moisture in the soil, without being substituted with land covers, like in the Carraixet area, which behaved in a similar way than the potential vegetation conditions. The simulation scenarios presented for 1978 and 1991 perform a relative, but smaller, regeneration of the soil moisture dynamics. The trend is interrupted in 1998, when values were even smaller than those obtained in 1956.

The water excess dynamics for the Rambla de Poyo area (Table 2), as the soil water content results inform, was very distinct between the potential vegetation scenario and the different land cover simulations. The low values obtained for the potential vegetation indicates an environment with self regulation mechanism, in which water circulation is almost hold in the soil-vegetation layer, with little excess produced. From that situation to the first land cover reconstruction, there is an important gap in water production (not retained in the soil and returned to the atmosphere through evapotranspiration). Values obtained for simulations in the years 1978 and 1991 show a decrease in water production, suggesting the improvement of the soil water holding ability introduced by the increase of tree covers in the natural areas. The situation for 1998 reflects a deterioration of the previous trends, which has to be related with the reduction of forest surfaces to a greater extent and the artificial surfaces to a much smaller proportion.

Table 2. Total mean area water excess for the Carraixet and Poyo basins

Scenario	Poyo basin mm/year	% Change	Carraixet basin mm/year	% Change
Potential Vegetation	24.2	0.0	35.7	0.0
1956	78.0	222.3	43.9	23.0
1978	75.8	213.2	43.9	23.0
1991	69.7	188.0	58.3	63.3
1998	80.5	232.6	72.9	104.2

The Carraixet scenarios could explain the dynamics observed in the Rambla de Poyo and the existing gap between the reference moment (potential vegetation scenario) and that for the year 1956. For the first two years (1956 and 1978) the differences in soil moisture and water excess were not too far from the potential vegetation (Figure 5 and Table 2). However, the two most recent scenarios (1991 and

1998) showed a considerable rise in water excess and, obviously, a diminution in the soils water holding capacity. This has a twofold explanation related with land cover degradation: the transformation of forest into less developed vegetated areas after some years of wild fires, and the increment of impervious paved surfaces in the lower part of the basin. Still, by the year 1998, the Carraixet watershed, although it increased its losses if compared to the potential vegetation scenario, had a better soil water retention capacity than the Poyo watershed.

Land cover changes observed between 1956 and 1998 were associated to landscape modifications that were beyond the mere landscape structure, pattern and character transformations. More than that, the impact of the observed land cover dynamics on the landscape multi-functionality affected the traditional water management techniques, the cultural patterns and the environmental behavior of places, leading in Mediterranean areas to the increment of degradation processes and desertification (Martínez-Fernández and Esteve, 2005).

One of the most important threats in the studied areas was the impact of wild fires. They are represented in the land cover dynamics as the transformation of forest to bush covers. The soil water dynamics scenarios make adjusted estimations when wild fires are present and can give understanding of the complexity of the problem, because their first consequence is the loss of vegetation and its protective effects on soil. By means of the deterioration of the structure, a reduction of the soil porosity and an increment of the overland flow are produced (Mataix-Solera *et al.*, 2002). Results obtained at experimental plot scale in the proximity of the study areas corroborate this soil behavior and the loss of its water retention capability (Andreu *et al.*, 2001). Similarly, the analysis of wildfire impact using continuous flow records in catchments of Mediterranean watersheds of France shows a dramatic increment in the production of overland flow after the events (Lavabre, 1993).

Artificial surfaces are the second mechanism that will affect rapidly and substantially the water dynamics in soils. The process known as soil sealing (Turner, 2001) consists on the covering (sealing) of the soil surface by impervious materials (e.g. concrete, metal), changing the nature of the soil such that it behaves as an

impermeable medium. The integral soil response to sealing will depend on the catchments size and the percentage of artificial surfaces covers. In large areas with considerable sealing surfaces the runoff production may be significant (Sala and Inbar, 1992) because the alteration of the soil moisture interactions is completely transformed. Although there is evidence that the soil sealing mechanism is particularly incident in some part of the region, this is mostly concentrated in flat lands, not affecting so drastically to mountain watersheds as is the case of the Rambla de Poyo and Barranc the Carraixet.

5 Conclusions

During the 1956 to 1998 period, a well identified land cover change process in both study areas occurred with similar trends, consisting in agriculture cover intensification from rain fed to irrigation agriculture, conversion of surfaces to artificial covers and degradation of natural and semi natural areas due to wildfires. Intensity and rates of change were different, particularly in the dynamics of rain fed agriculture, resulting in their major presence in the Rambla de Poyo.

It can be assumed that land cover dynamic occurred in the last fifty years produced changes in the soil water regime of Rambla de Poyo and Barranc de Carrixet, tending to a minor storage capacity of the soil system. There were also specific trends and differences in the behavior of each basin, which is particularly related to their own land use-cover history. The Barranc de Carraixet could explained to some extent the influence on the soil water retention, when vegetation is taken into account, of the disturbed situation shown in the Rambla de Poyo between the potential vegetation scenario and the first evaluated moment in 1956.

The results obtained with the soil moisture and water balance model must not be understood as conclusive, but as an approximation to explain the possible relation between the changes of the land covers and the water dynamics of the soil. The same monthly time resolution of the model, together with the proper Mediterranean rainfall characteristics would suggest the need of further studies in which models

should incorporate these two aspects, as for example daily time scale or event based models.

References

- Bossard, M., Feranec, J. and Otahel, J. 2000. The revised and supplemented Corine land cover nomenclature. European Environmental Agency, 110 pp.
- Hermosilla Pla, J. 1997. The Valencia carob sector: past, present and future (Geographical study). Diputació de València, 125 pp. (In Spanish)
- Miranda Montero, M. J. 1985. The second residence in the province of Valencia. Departamento de Geografía, Universitat de València, 260 pp. (In Spanish)
- Moriconi-Ebrard, F. 2001. Urbanisation in the Mediterranean Region from 1950 to 1995. *Pland Bleu*, 45 pp.
- Pascual Aguilar, J.A. 2004. Recent land use dynamic in the metropolitan area of Valencia (1956-1998). *Cuadernos de Geografía* 76, 183-202. (In Spanish).
- Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R. 1955. The water balance. *Climatol. Lab. Climatol. Drexel Inst. Technol.* 8(1), 104 pp.
- Xu, C.-Y. and Singh, V.P. 2004. A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. *Water Resources Managemen*, 12, 31-50.
- Thomas, H.A., Marin, C. M., Brown, M.J. and Fiering, M.B. 1983. Methodology for water resource assessment. Report to U.S. Geological Survey. Rep. NT1S 84-124163, Natl. Tech. Info. Serv., Springfield.
- Alley, W.M. 1984. On the treatment of evapotranspiration, soil moisture accounting, and aquifer recharge in monthly water balance models. *Water Resources Research* 20 (8), 1137-1149.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorologic drought. U.S. Weather Bureau, Research Paper N° 45, 58 pp.
- Vandewiele, G.L. and Atlabachew, E. 1995. Monthly water balance of ungauged catchments obtained by geographical regionalization. *Journal of hydrology* 170, 277-291.
- Mattikalli, N. M., Devereux, B. J. and Richards, B. J. 1996. Prediction of river discharge and surface water quality using an integrated geographical information system approach. *International Journal of Remote Sensing* 17, 683-701.
- Van Deursen, W.P.A. and Kwadijk, J.C.J. 1993. RHINEFLOW: an integrated GIS water balance model for the river Rhine. In: *Application of Geographic Information Systems in Hydrology*

- and Water Resources Management. Kovar, K. and Nachtnebel, H.P. (eds.). IAHS, Wallingford, pp. 507-518.
- Tripathi, N., Hildebrand, P. E., Jones, J.W. and Barnes, G. 2007. Analysis of Effects of Climate Variability on Water Resources of the Suwannee River Basin, Florida. In: Proceedings of the Third International Conference on Climate and Water. Heinonen, M. (ed.) Finnish Environment Institute, pp. 469-474.
- Cliburn, D.C., Feddema, J.J., Miller, J.R. and Slocum, T.A. 2002. Design and evaluation of a decision support system in a water balance application. *Computers & Graphics* 26, 931-949.
- Mintz, Y. and Serafini, Y.V. 1996. A global monthly climatology of soil moisture and water balance. *Journal of Water Resources Development* 12, 121-140.
- Esser, G. 1989. Global land-use changes from 1860 to 1980 and future projections to 2500. *Ecological Modelling* 44, 307-316.
- Nemani, R.R., Running, S.W., Pielke, R.A. and Chase, T.N. 1996. Global vegetation cover changes from coarse resolution satellite data. *Journal of Geophysical Research* 101, 7157-7162.
- Lavorel, S., Canadell, J., Rambal, S. and Terradas, J. 1998. Mediterranean terrestrial ecosystems: research priorities on global change effects. *Global Ecology and Biogeography Letters* 7, 157-166.
- Camarasa Belmonte, A.M. 1995. Flow genesis in small semiarid watersheds: Barranc de Carraixet and Rambla de Poyo. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Confederación Hidrográfica del Júcar, Madrid, 252 pp. (In Spanish).
- Clavero Paricio, P.L. 1979. Mediterranean Sea Influence on the Valencia Region rainfalls. *Notes de Geografía Física* 1, 13-24. (In Spanish).
- Costa, M., 1999. Vegetation and landscape in the Valencia lands. Rueda, Madrid, 342 pp. (In Spanish).
- FAO, 1988. FAO/UNESCO soil map of the world: revised legend. FAO, Rome, 119 pp.
- Chang, K. 2002. Introduction to Geographic Information Systems. McGraw-Hill, New York, 432 pp.
- Pascual Aguilar, J.A. 1999. Spatial distribution of evapotranspiration and water balances with IDRISI. In: I Reunión de usuarios de IDRISI. Centro de Recursos IDRISI-España, Universidad de Alcalá, Alcalá de Henares.
- Tabios, G.Q. and Salas, J.D. 1985. A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resources Research* 21(3), 365-380.

- Naoum, S. and Tsanis, I.K. 2004. Ranking spatial interpolation techniques using a GIS-based DSS. *GLOBAL NEST: the International Journal* 6 (1), 1-20.
- Taylor, J.C., Brewer, T.R. and Bird, A.C. 2000. Monitoring landscape change in the National Parks of England and Wales using photo interpretation and GIS. *International Journal of Remote Sensing* 21 (13), 2737-2752.
- Ibáñez, J.J., Sánchez-Díaz, J., de la Rosa, D. and de Alba, S. 1999. Soil Survey, Soil Databases and Soil Monitoring in Spain. In: *Soil Resources of Europe*. Bullock, P., Jones, R.J.A. and Montanarella, L. (eds.). European Soil Bureau Research Report No.6, EUR 18991 EN, Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, pp.135- 144.
- Valenzuela, C.R. and Baumgardner, M.F. 1990. Selection of appropriate cell sizes for thematic maps. *ITC Journal* 3, 219-224.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38(1), 55-94.
- Jiang, T., Chen, Y.D., Xu, C., Chen, X.H., Chen, X. and Singh, V.P. 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology* 336, 316–333.
- Dunne, T. and Leopold, L.B. 1978. The water balance. In: *Water in Environmental Planning*. Dunne, T. and Leopold, L.B. (eds.). W. H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 236-254.
- Lambin, E.F. 1997. Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions. *Progress in Physical Geography*, 21(3), 375-393.
- Hernández Hernández, M. 1997. Agrarian landscapes and environment in Alicante. Dynamics and environmental impacts on the Alicante agrarian landscapes: 1950-1995. Universidad de Alicante, Alicante, 292 pp. (In Spanish).
- Piqueras, J. 1998. Cambios recientes en el sector vitivinícola valenciano. 1977-1997. *Cuadernos de Geografía* 63, 177-194.
- CESCV. 2007. Report on the socioeconomic and labour situation of the Valencia Community. Yea 2006 report. Generalitat Valenciana, Valencia, 735 pp. (In Spanish).
- Ahlgren, I.F. and Ahlgren, C.E. 1960. Ecological effects of forest fires. *Botanical Review* 26, 483-533.
- Robertson, R. and Khondker, H.H. 1998. Discourses of Globalization. Preliminary Considerations. *International Sociology* 13 (1), 25-40.
- Serves Izquierdo, R., García Martínez, G. and Silvestre Esteve, E. 2003. The new technologies of information in the Spanish citrus co-operatives. In: 4th Conference of the European

- Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment. Information technology for a better agri-food sector, environment and rural living. Harnos, Z., Herdon, M. and Wiczaroski, T.B. (eds.) 5-9 July. University of Debrecen, Debrecen, pp. 685-689.
- Romero, H. and Órdenes, F. 2004. Emerging Urbanization in the Southern Andes. *Mountain Research and Development* 24 (3), 197-201.
- Verhoef, E.T. and Nijkamp, P. 2003. Externalities in the Urban Economy. Tinbergen Institute, Amsterdam. 24 pp.
- Jarrige, F. 2004. Mediterranean agriculture as a result of urban growth: Dynamics and issues around Montpellier (Southern France). *Cahiers d'études et de recherche francophones/Agricultures*, 13 (1), 64-74.
- Martínez-Fernández, J. and Esteve, M.A. 2005. A critical view of desertification debate in southeastern Spain. *Land Degradation and Development* 16 (1), 529-539.
- Mataix-Solera, J., Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C. and Moral, R. 2002. Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in a Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire* 11(2), 107-114.
- Andreu, V., Imeson, A.C. and Rubio, J.L. 2001. Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena* 44, 69-80.
- Lavabre, J., Sempere Torres, D. and Cernesson, F. 1993. Changes in the hydrological response of a small Mediterranean basin a year after wildfire. *Journal of hydrology* 142, 273-299.
- Turner, S. 2001. Proceedings of the Technical Workshop on Indicators for Soil Sealing. European Environment Agency, Copenhagen. 62 pp.
- Sala, M. and Inbar, M., 1992. Some Hydrologic Effects of Urbanization in Catalan Rivers. *Catena* 19, 363-378.

Aplicación de la Geomática para evaluar el efecto de la pendiente en la calidad de la cartografía antigua

A. Blanco^{a,c}, **J.A. Pascual-Aguilar**^b, **I. de Bustamante**^{a,c},

^aUniversidad de Alcalá. Campus externo Universidad de Alcalá.

^bCentro para el Conocimiento del Paisaje.

^cFundación IMDEA-AGUA.

Resumen

La cartografía antigua es un elemento que resulta muy útil para la investigación actual del territorio para un amplio rango de estudios como la evolución temporal de los usos del suelo, la ubicación de emplazamientos arqueológicos desaparecidos o el análisis de la dinámica de humedales y ecosistemas acuáticos. En la actualidad el proceso de georreferenciación es indispensable a la hora de hacer estudios sobre el territorio o paisaje ya que su objetivo es situar estos mapas antiguos en el espacio actual con sus coordenadas correspondientes. Sin embargo, para que los mapas pertenecientes a la cartografía antigua puedan ser utilizados en este tipo de estudios como cartografía base o auxiliar, es necesario analizar la "calidad" de los mismos. En este trabajo se analiza la calidad de la georreferenciación de las planimetrías a escala 1:25.000 de la Comunidad de Madrid elaboradas a mediados del siglo XIX por el Instituto Geográfico y Estadístico de España, el Instituto Geográfico Nacional actual.

En este trabajo se analiza el error obtenido en la georreferenciación de este tipo de mapas como uno de los indicadores de la calidad de los mismos. A su vez, se evalúa el efecto que la pendiente ejerce sobre la precisión posicional de los elementos presentes en este tipo de cartografía mediante el estudio desarrollado en una muestra de 36 municipios de la Comunidad de Madrid.

Los resultados obtenidos muestran una gran calidad en el proceso de elaboración debido al error obtenido. La pendiente por su parte, se muestra como un factor determinante en la calidad de posicionamiento de las planimetrías utilizadas.

Palabras clave: Cartografía Antigua, Precisión Posicional, Georreferenciación, Pendiente, Comunidad de Madrid.

Geomatics for the evaluation of slope effect in the quality of early maps

Abstract

Early maps are useful tools in the environmental research especially for studies about the temporal evolution of land use, location of disappeared archeological sites or analysis of wetlands and aquatic ecosystems dynamics. Currently, georeferencing is an essential step in research on the territory or landscape, because its objective is to transpose these old maps in the current physical space with their corresponding coordinates. However, to effectively use these maps as the base or auxiliary cartography, it is necessary to analyze the "data quality" they can provide. In this study, the quality of the georeferencing of planimetries with a 1:25,000 scale of the Madrid Region, elaborated during the mid-nineteenth century by the Geographical and Statistical Institute of Spain (the actual National Geographical Institute) is analyzed.

In this paper, we evaluated the error obtained in the georeferencing of these maps as one of the indicators of their quality. In turn, the effect that the slope produces on the positional accuracy of the elements in the planimetries is evaluated by taking into account 36 municipalities of the Madrid Region.

Obtained results reveal a great quality of the elaboration procedure of these maps. On the other hand, the slope is a parameter that determines the quality of the positioning in the considered planimetries.

Keywords: Early Maps, Positional Accuracy, Georeferencing, Slope, Madrid Region.

1 Introduction

La cartografía antigua está formado por aquellos mapas que ya no sirven para el propósito original para el que fueron elaborados teniendo en la actualidad sólo un interés histórico o artístico (Crespo Sanz y Fernández Wyttenbach, 2011). Este término es a menudo usado como sinónimo junto al de cartografía histórica aunque, según indican Crespo Sanz y Fernández Wyttenbach (2011), se hace de manera equivocada. La cartografía histórica se define como aquellos mapas que reflejan unas condiciones ambientales o territoriales pasadas pero que han sido realizados posteriormente (Skelton, 1972; Harley y Woodward, 1987; Crespo Sanz y Fernández Wyttenbach, 2011). Otro término que no hay que confundir con los dos anteriores es el de historia de la cartografía. Éste se define, por un lado, como la historia de los métodos de fabricación y utilización de los mapas y, por otro, como la historia de la disciplina de la cartografía en términos de sus fundamentos teóricos, principios y normas para los mapas y los procedimientos de asignación (Harley y Woodward, 1987). En este estudio se ha trabajado con la cartografía antigua de la Comunidad de Madrid elaborados a partir del siglo XIX. Esta cartografía se trata de un conjunto de planimetrías de escala 1:25.000 construidos por el Instituto Geográfico y Estadístico de España (el actual Instituto Geográfico Nacional). Esta cartografía se elaboró debido a las necesidades del estado Español de levantar un mapa que corrigiera las deficiencias descritas para el Atlas Geográfico de España de Tomás López, realizado con un siglo de anterioridad (Aristegui, 2013). Sin embargo en 1862, antes de la elaboración de estas planimetrías, se presentó un Reglamento muy ambicioso para el levantamiento de la Topografía Catastral de España con un doble objetivo: por una parte topográfico, ya que debía incluir el levantamiento del Mapa Topográfico de España; por otra parte, catastral, ya que tenían que ser deslindadas y medidas todas las fincas del país (Nadal, 2006).

Por este doble objetivo, dicho Reglamento planteaba la elaboración de cuatro tipos de documentos (Morales, 2006): 1. hojas de conjunto de todo el término municipal a 1:20.000 con la triangulación principal y secundaria; 2. Hojas

Kilométricas de las zonas rústicas de cada término municipal a escala 1:2.000, con clase de cultivos, detalles topográficos, etc.; 3. planos de población de cada núcleo urbano a escala 1:500 con edificios públicos, nombres de calles, etc.; cédulas catastrales de propiedad con información literal y gráfica de cada una de las fincas rústicas y urbanas. En las figuras 1 y 2 se muestran unos ejemplos de las hojas kilométricas y de los planos de población, respectivamente, en los que se puede apreciar el elevado grado de detalle que esta cartografía llevaba asociado.

En el periodo 1860-1866 se llegaron a elaborar los mapas de 60 municipios (Nadal, 2006), sin embargo en 1870 este trabajo se interrumpió. La complejidad del proyecto, su extensión en el tiempo y el coste de los trabajos y, por otro lado, los impedimentos de los grandes terratenientes que lograron evitar un conocimiento exhaustivo de sus propiedades (Urteaga y Nadal, 2001), fueron las dos razones principales por la que este proyecto tuvo que paralizarse. El grado de detalle de estos levantamientos de las zonas urbanas representadas fue tan alto que no volvió a alcanzarse hasta un siglo después, cuando se generalizó el uso de la fotogrametría (Aristegui, 2013).

A partir de 1870 se inició el trabajo de realización de la topografía nacional, sin dejar de lado por completo la finalidad catastral, lo que comportó en todo caso importantes retrasos en la ejecución del proyecto (Urteaga y Nadal, 2001). La primera fase del proyecto de elaboración del Mapa Topográfico de España se desarrolló entre 1870 y 1945 aproximadamente. El proyecto constaba de 4 fases: levantamiento de los deslindes municipales; confección de las minutas planimétricas y altimétricas de cada término municipal a escala 1:25.000; ensamblaje de planimetrías y altimetrías para generar el catastrón a escala 1:25.000 de cada municipio; y, por último, el cambio de escala de estos catastrones mediante el método de reducción a la cuarta para conseguir la hoja final a escala 1:50.000 del Mapa Topográfico Nacional (Aristegui, 2013). En las figuras 3, 4 y 5 se muestran ejemplos de los distintos mapas elaborados para la consecución de las hojas del Mapa Topográfico de España (escala 1:50.000) del municipio de Aranjuez.

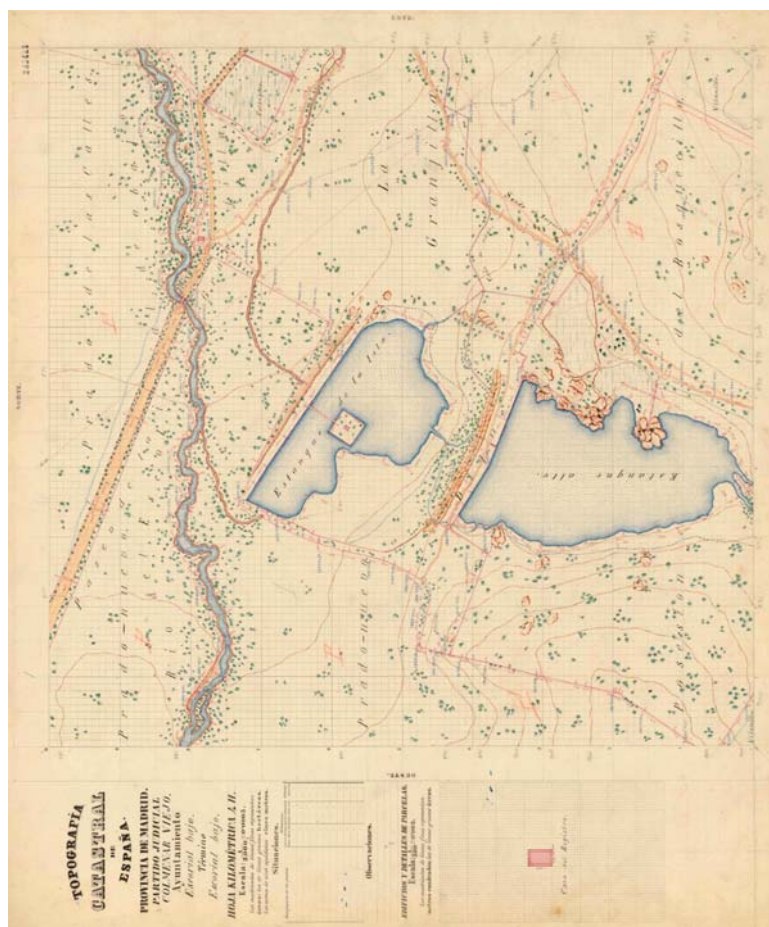


Figura 1. Hoja Kilométrica 4-H, perteneciente a El Escorial (Madrid).

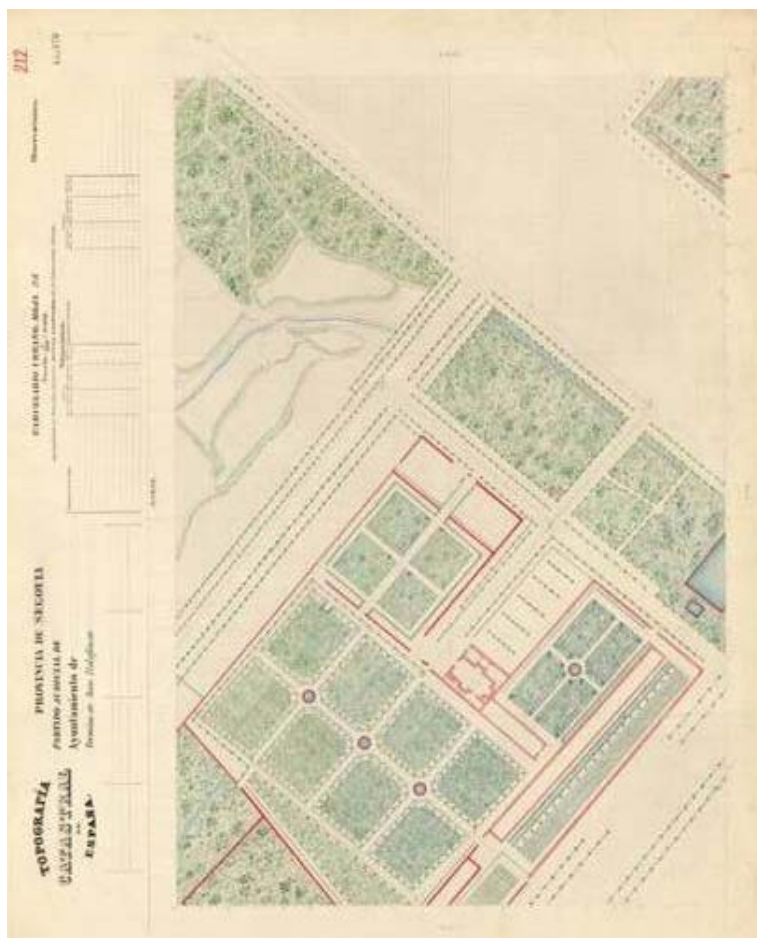


Figura 2. Plano de población 3-H, del Real Sitio de San Ildefonso (Segovia).



Figura 3. Planimetría del municipio de Aranjuez elaborada en 1880.

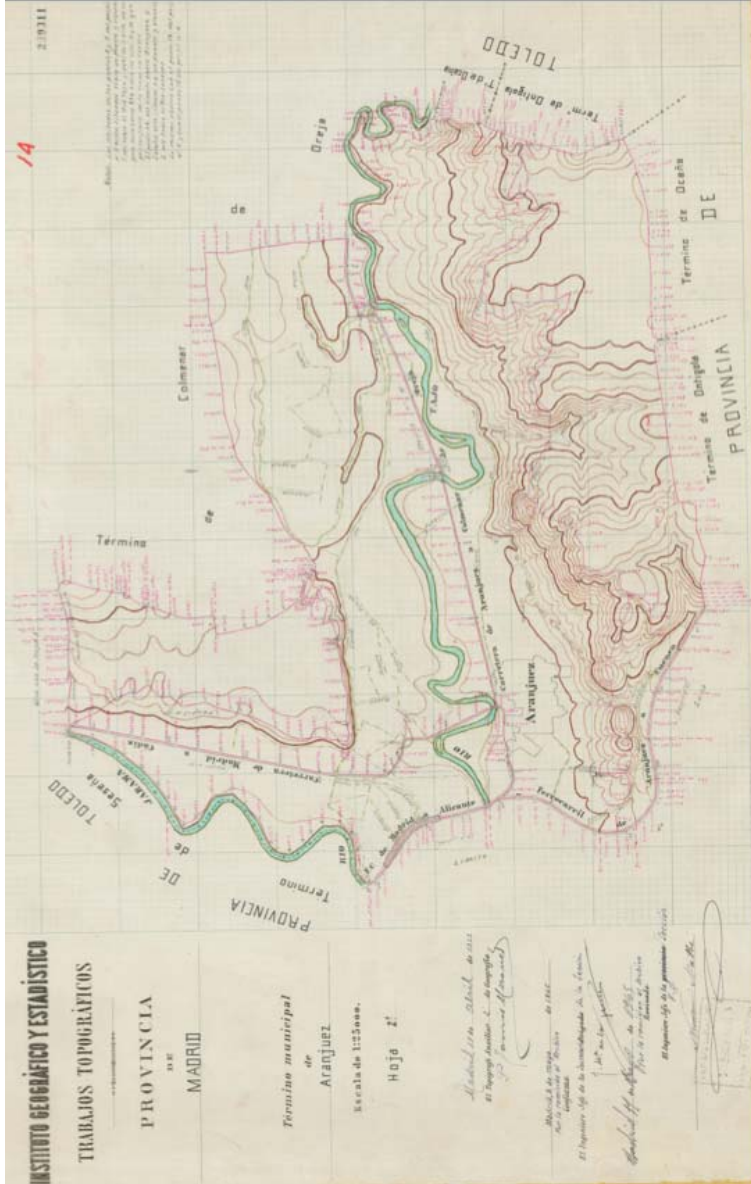


Figura 4. Altimetría del municipio de Aranjuez, año 1922.

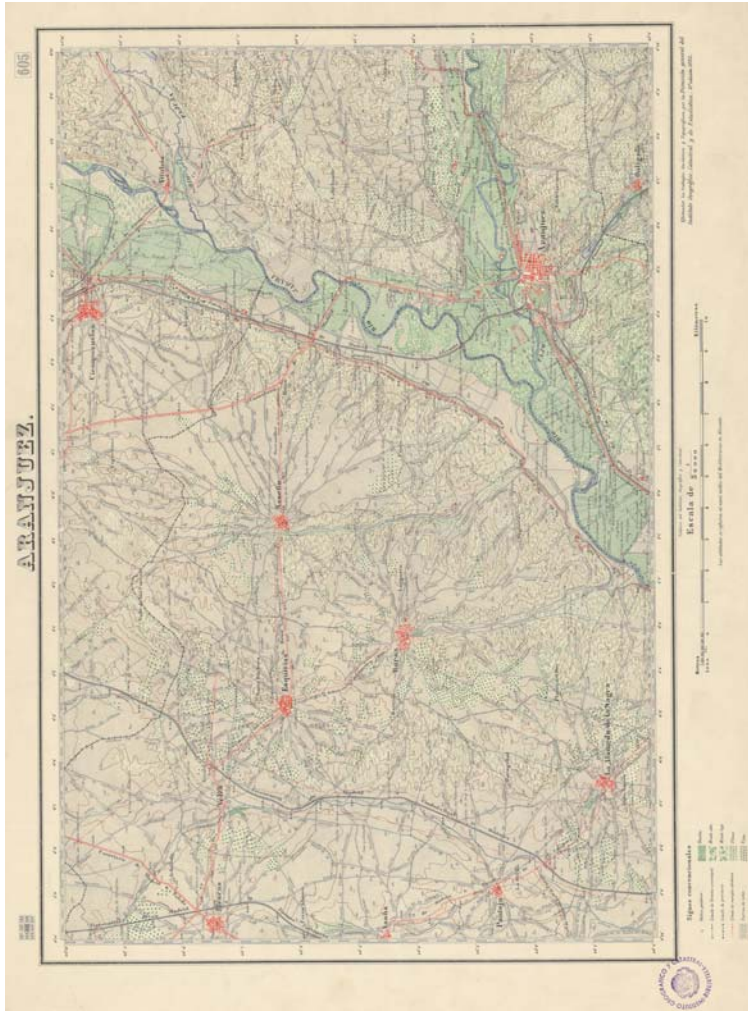


Figura 5. Mapa Topográfico (1:50.000) de Aranjuez, año 1.933.

Por lo tanto las planimetrías que se analizan en este trabajo forman parte del proceso de elaboración del Mapa Topográfico de España. Este mapa ha sido la base de la cartografía española hasta la aparición del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 en 1975, sirviendo a otras bases de mapas temáticos, como el forestal, el geológico o el agronómico (Aristegui, 2013). Durante la realización de este proyecto es importante destacar el desfase de más de 40 años que se produjo entre la realización de las planimetrías y altimetrías de algunos municipios (Urteaga y Nadal, 2001). El proceso de elaboración del Mapa Topográfico de España se muestra en la figura 6.

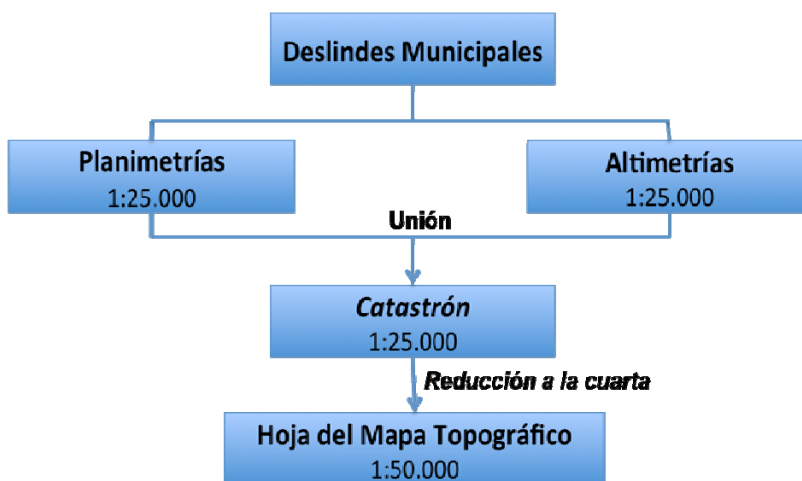


Figura 6. Proceso de elaboración de las distintas hojas del Mapa Topográfico de España a escala 1:50.000 (elaboración propia).

La utilización de mapas antiguos para la realización de estudios de índole ambiental, patrimonial o arqueológica es una práctica muy extendida en la actualidad pero ha sido gracias a la evolución de la informática, y en gran medida a los Sistemas de Información Geográfica (SIG) cuando los análisis realizados sobre este tipo de cartografías se han multiplicado y mejorado considerablemente (Dunn et al., 1990; Delano-Smith y Kain, 2009; Tucci y Giordano, 2011). A la hora de llevar a cabo

este tipo de estudios es necesario realizar un análisis cartométrico de la cartografía en cuestión, ya que se deben conocer aspectos como la precisión, la incertidumbre o la exactitud de los mapas a utilizar.

2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la evaluación de la calidad de la georreferenciación de las planimetrías 1:25.000 de la Comunidad de Madrid del período 1870-1945.

Como objetivos específicos se destacan los siguientes:

- Análisis del error que poseen las distintas planimetrías de los municipios elegidos mediante el proceso de georreferenciación con ArcGIS (v. 9.3).
- Evaluar el efecto que la pendiente media de los municipios ejerce sobre la calidad de georreferenciación de los mapas antiguos.

3 Metodología

3.1 Área de estudio

La zona de estudio de este trabajo la forman 36 municipios de la Comunidad de Madrid divididos en tres zonas diferenciadas por la pendiente de su territorio: alta, media y baja. La categoría de pendientes bajas la forman aquellos municipios cuyas pendientes medias son menores al 4%, los de pendientes medias el rango se encuentra entre el 4 y el 12%, mientras que aquellos municipios con pendientes medias mayores al 12% han sido incluidos en la categoría de pendientes altas. En total son 38 los mapas analizados ya que aunque hay 36 municipios, dos de ellos constan de dos mapas para la representación de su territorio. Los municipios seleccionados para el estudio se muestran en la Tabla 1.

En la figura 7 se muestran los 36 municipios objeto de estudio distinguiendo el rango de pendiente al que pertenece cada uno de ellos entre pendientes bajas, medias o altas.

Tabla 1. Municipios objeto de estudio

Pendiente Baja	Pendiente Media	Pendiente Alta
Alcalá de Henares	Hoyo de Manzanares	Puebla de la Sierra
Brea del Tajo	Prádena del Rincón	Cercedilla
Pinto	Perales de Tajuña	Santa María de la Alameda
Alcorcón	Cenicientos	Rozas de Puerto Real
Valdetorres del Jarama	Navas del Rey	Rascafría
Villamanta	Los Santos de ala Humosa	Navacerrada
El Escorial	Orusco de Tajuña	Bustarviejo
Soto del Real	Torrelodones	Patones
Galapagar	Guadalix	La Acebeda
Buitrago del Lozoya	El Berrueco	Horcajuelo de la Sierra
San Sebastián de los Reyes	El Vellón	Zarzalejo
Villanueva de Perales	Alameda del Valle	
	Pinilla del Valle	

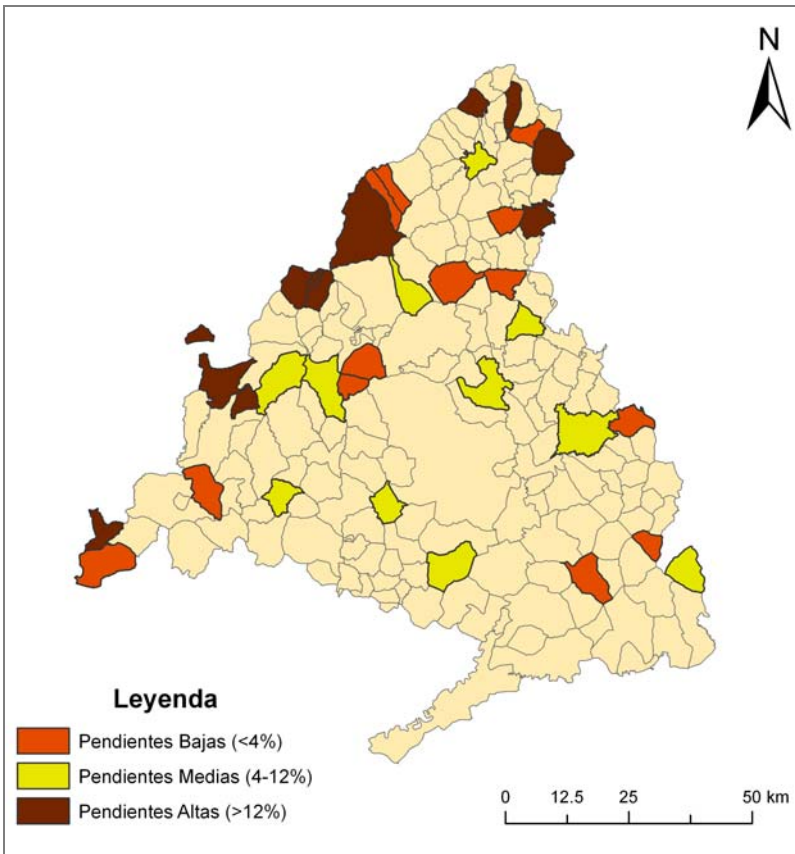


Figura 7. Localización de los municipios objeto de estudio según su rango de pendiente.

3.2 Metodología de trabajo

El proceso de georreferenciación es la asignación de ubicaciones a objetos geográficos dentro de un marco geográfico de referencia (Yao, 2009). El método más utilizado para la georreferenciación o rectificación de los sistemas de proyección de un mapa es la selección de puntos de control o puntos homólogos (Cousins, 2001; James et al., 2012). Este método ha sido el llevado a cabo en este estudio, habiéndose seleccionado un conjunto de puntos de control lo más ampliamente distribuidos por cada mapa analizado (el número depende de las características de los propios mapas, ya que en muchas ocasiones, encontrar puntos coincidentes entre la cartografía antigua y la actual es muy complicado). Una vez seleccionados los distintos puntos de control, se ha realizado una transformación para que el mapa antiguo se ajuste al sistema de referencia geográfico actual utilizando para ello las herramientas SIG. Una vez realizadas estas acciones los mapas antiguos ya poseen una ubicación determinada dentro del mundo "real" dado por unas coordenadas determinadas.

A continuación, una vez georreferenciados los distintos mapas de los municipios objeto de estudio, se debe estudiar la calidad de esta georreferenciación, para evaluar su idoneidad para su posterior utilización como información para determinados estudios del paisaje, medioambientales o patrimoniales.

La calidad o bondad de la georreferenciación se puede evaluar mediante el error cuadrático medio total (Total RMS error) que ofrece ArcGIS una vez se han introducido todos los puntos de control de un municipio determinado en el programa. Cuando se han establecido todos los puntos de control, además de poder observar el valor del error, se debe elegir la transformación que se va a aplicar al mapa para la georreferenciación. Estas transformaciones se aplican a los puntos de control para registrar el viejo mapa con el sistema de coordenadas del mapa de referencia (Jenny y Hurni, 2011). Existen distintos tipos de transformaciones que ofrecen errores diferentes dependiendo del número de puntos de control disponibles (Boutoura y Livieratos, 2006). Las más comunes son las transformaciones conforme, afín, o polinómica (de distinto grado). Se debe tener cuidado con la transformación elegida

porque en muchos casos, y aunque el valor del error cuadrático medio obtenido sea más bajo, se deforma mucho la imagen de manera que puede dejar de ser útil para los objetivos planteados.

Por último se debe tener en cuenta que pueden existir puntos que generen grandes alteraciones en el conjunto de puntos elegidos al ser muy diferentes del resto. Estos puntos son los puntos atípicos o atípicos extremos. En los conjuntos de datos elegidos para cada municipio se han realizado los análisis incluyendo los valores atípicos y sin incluirlos, obteniendo resultados diferentes.

Antes de realizar el análisis de los resultados obtenidos en el proceso de georreferenciación se debe realizar un análisis de normalidad de los datos, para saber si se pueden aplicar test paramétricos. Cuando los datos no sean normales se emplearán otros métodos estadísticos: los llamados métodos no paramétricos (Rubio Hurtado y Berlanga Silvente, 2012).

4 Resultados

La primera parte de la experimentación llevada a cabo en este trabajo ha sido la evaluación de la precisión de la georreferenciación de la cartografía antigua de los 36 municipios de la Comunidad de Madrid realizada con ArcGIS. Para ello se ha utilizado el error RMS, un estadístico que provee el propio programa dedicado precisamente a evaluar el ajuste del mapa georreferenciado con respecto al mapa base o de referencia. En realidad el error RMS es una medida de la diferencia entre localizaciones que se conocen (los puntos del mapa de referencia) y las que no son conocidas (los puntos equivalentes del mapa antiguo). Cuanto mayor sea este error, menor será la precisión de un mapa.

En la siguiente tabla (Tablas 2) aparecen los resultados de la georreferenciación en dos columnas, la primera de ellas con el error tras la transformación de primer grado (o afin) con todos los puntos de la muestra (incluyendo los atípicos) y la segunda sin estos puntos (en el caso en el que existieran).

Tabla 2. RMS error de los mapas de los municipios del estudio

Tipo de Pendiente	Municipio	RMS error	RMS error
Baja (<4%)	Alcalá de Henares	34.18	24.05
	Brea del Tajo	38.72	27.53
	Pinto	46.45	40.91
	Alcorcón	62.54	35.35
	Valdetorres del Jarama	74.28	42.86
	Villamanta	35.43	29.99
	El Escorial	67.45	29.33
	Soto del Real	36.41	--
	Galapagar	36.03	29.06
	Buitrago de Lozoya	25.82	--
	San Sebastián de los Reyes – 1 ^{er} Mapa	45.1	26.71
	San Sebastián de los Reyes - 2 ^o Mapa	46.92	37.21
	Villanueva de Perales	27.05	--
Media (4-12%)	Hoyo de Manzanares	32.26	--
	Prádena del Rincón	61.95	--
	Perales de Tajuña	70.06	36.82
	Cenicientos	69.88	41.61
	Navas del Rey	35.26	--
	Los Santos de la Humosa	66.36	--
	Orusco de Tajuña	55.12	41.94
	Torreldones	40.86	24.67
	Guadalix	48.68	40.76
	El Berrueco	30.29	20.8
	El Vellón	44.5	36.13
Alta (<12%)	Alameda del Valle	54.97	--
	Pinilla del Valle	55.66	--
	Puebla de la Sierra	155.99	--
	Cercedilla (Pinar Baldío)	81.47	50.13
	Santa María de la Alameda	66.92	34.63
	Rozas de Puerto Real	53.53	38.06
	Rascafría – 1 ^{er} Mapa	49.72	--
	Rascafría – 2 ^o Mapa	209.76	63.48
	Navacerrada	42.94	--
	Bustarviejo	67.74	56.04
	Patones	111.28	65.24
	La Acebeda	87.89	--
	Horcajuelo de la Sierra	42.63	--
Zarzalejo	41.39	31.32	

Una vez que se han obtenido estos resultados, se han realizado dos análisis previos al análisis de la calidad de la georreferenciación: análisis de datos atípicos y análisis de normalidad. Para estos test se ha usado el software Statgraphics Plus 5.1.

- **Datos atípicos:** se ha realizado el estudio de los posibles datos atípicos que existan en las tres muestras: bajas, medias y altas pendientes mediante el comando "identificación de datos atípicos" de Statgraphics. Sólo existe un dato atípico en las tres muestras, siendo el correspondiente al municipio de Puebla de la Sierra perteneciente a la muestra de pendientes altas. Este dato ha sido eliminado de los análisis posteriores. Otra opción para la identificación de los valores atípicos de una muestra es mediante el gráfico de cajas y bigotes que ofrece el programa y que aparece en la figura 8. El valor atípico es el que aparece más a la derecha de la figura de la izquierda, ya que su valor es mayor que el tercer cuartil por, al menos, 1,5 veces el rango intercuartil (la diferencia entre el tercer cuartil y el primero).

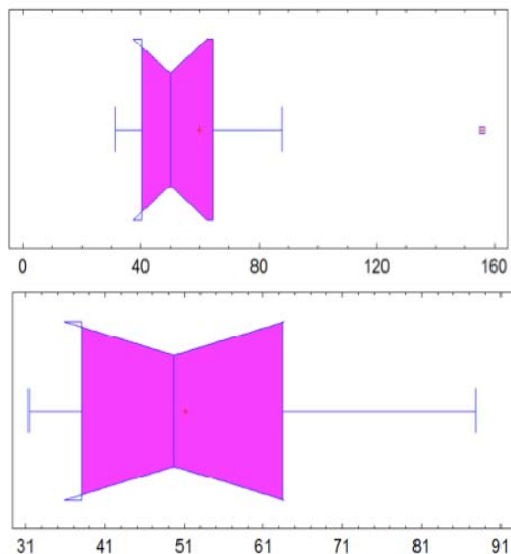


Figura 8. Gráfico de Caja y Bigotes para la muestra de Pendientes Altas, Con todos los datos (superior) y sin el dato atípico correspondiente a Puebla de la Sierra (inferior).

- Una vez que se ha eliminado de la muestra el valor atípico perteneciente a Puebla de la Sierra, se ha evaluado la normalidad de las muestras. La determinación de la **normalidad** se ha realizado por dos vías:
 1. Se ha realizado un análisis unidimensional de cada muestra y se han observado los valores de los coeficientes de asimetría estandarizado y curtosis estandarizada. Para que una muestra pueda ser considerada normal, estos dos coeficientes deben estar comprendidos entre -2 y 2. Los resultados obtenidos han sido los siguientes:

Tabla 3. Análisis de normalidad para las tres muestras

Tipo de Pendiente	Coef. Asimetría Est.	Coef. Curtosis Est.
Baja	0,95	-0,68
Media	0,50	-0,49
Alta	1,45	0,85

2. La otra vía es mediante los test de normalidad que se pueden encontrar en Statgraphics en el apartado de "Ajuste de Distribuciones (Datos no censurados)". Los resultados obtenidos para el test de normalidad de Shapiro-Wilk, el más conveniente para muestras pequeñas ($N < 30$) (Salvador Figueras y Gargallo, 2003), se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4. Análisis de normalidad Shapiro-Wilk para las tres muestras

Tipo de Pendiente	W de Shapiro-Wilk	p-valor
Bajas	0,91	0,17
Medias	0,95	0,57
Altas	0,92	0,34

Cómo los p-valores de las tres muestras son superiores a 0,10, se puede afirmar con un nivel de confianza del 90%, que las muestras proceden de una distribución normal.

Tras realizar estos dos estudios previos se ha estudiado el efecto que la pendiente media de los municipios ejerce sobre la calidad de las planimetrías objeto de estudio.

Para esto se va a comprobar si las medias obtenidas en cada muestra pueden ser consideradas como grupos no homogéneos existiendo, por tanto, diferencias significativas entre ellas. Mediante el software Statgraphics Plus 5.1, se ha realizado un análisis ANOVA simple, obteniendo los siguientes resultados:

- En la tabla **ANOVA**, se ha obtenido un p-valor de 0,0027. Como este valor es inferior a 0,05, se puede afirmar con un nivel de confianza del 95%, que existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los errores de las tres muestras analizadas. Los valores de las medias obtenidas para cada clase de pendiente son los siguientes:
 - Error medio municipios de pendientes bajas: 31,7 m.
 - Error medio municipios de pendientes medias: 42,2 m.
 - Error medio municipios de pendientes altas: 51,1 m.

- El siguiente paso ha sido aplicar un procedimiento de comparación múltiple para determinar las medias que son significativamente diferentes unas de otras. Para ello se ha requerido el comando "Contraste de Rangos Múltiples" del análisis ANOVA Simple de Statgraphics del error cuadrático medio obtenido de cada municipio con respecto a la pendiente media (baja, media y alta). Este análisis afirma con un nivel de confianza del 90%, que existen tres grupos homogéneos (y por tanto diferenciados entre sí) que se corresponden con cada una de las tres categorías de pendientes medias: baja, media y alta. El método empleado por el software para discernir entre las medias es el procedimiento de las menores diferencias significativas de Fisher (LSD). En la tabla 5 se observan los valores obtenidos en dicho estadístico, donde se pueden observar los tres grupos homogéneos correspondientes con los tres rangos de pendientes establecidos y las diferencias significativas que se producen entre las medias de las tres muestras.

Tabla 5. Cuadro resumen del estadístico de Contraste de Rango Múltiple

Contraste Múltiple de Rango para Error según TIPO_PENDIENTE			
Método: 90,0 porcentaje LSD			
TIPO_PENDIENTE	Frec.	Media	Grupos homogéneos
Baja	13	31,7138	X
Media	13	42,2454	X
Alta	11	51,0982	X
Contraste	Diferencias	+/- Límites	
Alta-Baja	*19,3843	8,77131	
Alta-Media	*8,8528	8,77131	
Baja-Media	*-10,5315	8,39789	
* indica una diferencia significativa			

5 Conclusiones

A la vista de los resultados obtenidos en la georreferenciación de las planimetrías elaboradas por el actual Instituto Geográfico Nacional, éstas pueden ser utilizadas como información de base o complementaria de numerosos estudios ambientales o patrimoniales, entre otros tipos. La media del error cometido como máximo, de media, es de 51 m, lo que supone que en un radio medio de esa longitud podremos encontrar la mayoría de los elementos presentes en los mapas antiguos (en los casos en los que sigan existiendo en la actualidad). Cabe destacar, por tanto, la enorme calidad del trabajo elaborado aproximadamente 140 años atrás por los topógrafos del Instituto Geográfico Nacional.

Se puede afirmar que la pendiente es un factor clave en la precisión de las planimetrías, ya que el estudio de medias elaborado muestra que no existe solapamiento entre los niveles de este factor. La gran dificultad en la elaboración de estos mapas radica en la conversión de un espacio tridimensional – la realidad – a los mapas – bidimensional

El proceso de georreferenciación con ArcGIS ofrece unos resultados cuantitativos a tener en cuenta, pero sin dejar a un lado los efectos visuales – las deformaciones – que determinadas transformaciones ejercen sobre el mapa original.

Las deformaciones son un aspecto importante en la evaluación de la cartografía antigua, ya que se puede invalidar parte de la información contenida en la misma. La zona de estudio de este trabajo la forman 36 municipios de la Comunidad de Madrid divididos en tres zonas diferenciadas por la pendiente de su territorio: alta, media y baja. La categoría de pendientes bajas la forman aquellos municipios cuyas pendientes medias son menores al 4%, los de pendientes medias el rango se encuentra entre el 4 y el 12%, mientras que aquellos municipios con pendientes medias mayores al 12% han sido incluidos en la categoría de pendientes altas. En total son 38 los mapas analizados ya que aunque hay 36 municipios, dos de ellos constan de dos mapas para la representación de su territorio. Los municipios seleccionados para el estudio se muestran en la Tabla 1.

Agradecimientos

Al Programa: Formación del Profesorado Universitario (FPU). Universidad de Alcalá.

Bibliografía

- Aristegui, A., 2013. La cartografía histórica del Instituto Geográfico Nacional, fuente para el estudio de núcleos urbanos: el caso de Colmenar Viejo (Madrid). *Treballs de la Societat Catalana de Geografia* 77, 28pp.
- Boutoura, C., Livieratos, E., 2006. Some fundamentals for the study of the geometry of early maps by comparative methods. *e-Perimtron* 1, 60–70.
- Cousins, S.A.O., 2001. Analysis of land-cover transitions based on 17th and 18th century cadastral maps and aerial photographs. *Landscape Ecology* 16, 41–54. doi:10.1023/A:1008108704358
- Crespo Sanz, A., Fernández Wyttenbach, A., 2011. ¿Cartografía antigua o Cartografía histórica? *Estudios Geográficos* 72, 403–420. doi:10.3989/estgeogr.201115
- Delano-Smith, C., Kain, R.J.P., 2009. Cartography, History of. *International Encyclopaedia of Human Geography*, 428–440.

- Dunn, R., Harrison, A.R., White, J.C., 1990. Positional accuracy and measurement error in digital databases of land use: an empirical study. *International Journal of Geographical Information Systems* 4, 385–398. doi:10.1080/02693799008941554
- Harley, J.B., Woodward, D., 1987. *The History of Cartography*. University of Chicago Press, Vol. 1, 622 pp.
- James, L.A., Hodgson, M.E., Ghoshal, S., Latiolais, M.M., 2012. Geomorphic change detection using historic maps and DEM differencing: The temporal dimension of geospatial analysis. *Geomorphology* 137, 181–198. doi:10.1016/j.geomorph.2010.10.039
- Jenny, B., Hurni, L., 2011. Cultural Heritage: Studying Cartographic Heritage: Analysis and Visualization of Geometric Distortions. *Computers & Graphics* 35, 402–411. doi:10.1016/j.cag.2011.01.005
- Morales, J.I.M., 2006. Las realizaciones catastrales de la Junta General de Estadística, en: 150 Aniversario de La Creación de La Comisión de Estadística General Del Reino: Jornadas Científicas 150 Aniversario de La Creación de La Comisión de Estadística General Del Reino, 305–334.
- Nadal, F., 2006. El proyecto catastral de Francisco Coello, en: 150 Aniversario de La Creación de La Comisión de Estadística General Del Reino: Jornadas Científicas 150 Aniversario de La Creación de La Comisión de Estadística General Del Reino, 287–304.
- Rubio Hurtado, M.J., Berlanga Silvente, V., 2012. Cómo aplicar las pruebas paramétricas bivariadas "t" de Student y ANOVA en SPSS. Caso práctico. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació* 5, 83-100.
- Salvador Figueras, M., Gargallo, P., 2003. Análisis Exploratorio de Datos. [en línea] 5campus.com, Estadística <<http://www.5campus.com/leccion/aed>>.
- Skelton, R.A., 1972. *Maps: a historical survey of their study and collecting*. University of Chicago Press, 138 pp.
- Tucci, M., Giordano, A., 2011. Positional accuracy, positional uncertainty, and feature change detection in historical maps: Results of an experiment. *Computers, Environment and Urban Systems* 35, 452–463. doi:10.1016/j.compenvurbsys.2011.05.004
- Urteaga, J.L., Nadal, F., 2001. Las series del mapa topográfico de España a escala 1:50.000. Instituto Geográfico Nacional, 397 pp.
- Yao, X., 2009. Georeferencing, Geocoding, en: Kitchin, R., Thrift, N. (Eds.), *International Encyclopedia of Human Geography*, Elsevier, pp. 458–465.

