



FACULTAD DE CIENCIAS

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Cartografía de servicios ecosistémicos y cálculo del riesgo de erosión del suelo en la cuenca del río Henares

Autora: Paloma Pastor Huete

Tutora: María Jesús Salado García

2020

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
METODOLOGÍA.....	6
1. La ecuación USLE	6
2. Las fuentes de datos.....	8
3. La preparación de la base de datos y cálculo de los factores USLE.....	9
a) Obtención del área de estudio	9
b) Cálculo del Factor R	9
c) Cálculo del Factor K.....	11
d) Cálculo del Factor LS.....	12
e) Cálculo del Factor C	13
f) Integración de factores.....	15
RESULTADOS.....	15
DISCUSIÓN	17
CONCLUSIONES.....	20
BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXOS	26-35

RESUMEN

Con el objetivo de crear una herramienta útil para servir de apoyo en la toma de decisiones de la planificación del uso del territorio, el presente trabajo se centra en cartografiar, a escala de cuenca hidrográfica y con el software libre QGIS, el riesgo de erosión al que se ve sometido la cuenca del río Henares por medio de la ecuación USLE.

Utilizando las densidades de cobertura vegetal como indicador de prestación del Servicio Ecosistémico *control de la erosión*, se cartografió su distribución espacial a escala de subcuenca, para la identificación de áreas críticas que deben ser mantenidas o restauradas. Gracias a ello, se podrá plantear una gestión sostenible de los usos del territorio para que puedan mantener su provisión.

El cálculo del riesgo de erosión en la cuenca resulta bastante bajo, encontrándose los valores más altos en zonas con gran pendiente donde la cubierta vegetal es casi inexistente. En cuanto al Servicio Ecosistémico control de la erosión, su cartografía muestra que el 78% del territorio de la subcuenca cartografiada ha sido clasificado como vulnerable, poniendo de manifiesto la necesidad de realizar actuaciones de mitigación y/o mejora; mientras que un sólo un 0,45% de la subcuenca se encuentra en buen estado.

PALABRAS CLAVE

Servicios Ecosistémicos, Control de la erosión, USLE, SIG, Cuenca hidrográfica, Cartografía.

ABSTRACT

In order to create a useful tool to support land use planning decisions, this paper focuses on mapping, at river basin scale using the free software QGIS, the erosion risk to which the Henares river basin is subjected, considering the USLE equation.

By using vegetation cover densities as a performance indicator of the Erosion Control Ecosystem Service, the service's spatial distribution was mapped at a sub-basin scale, in order to identify critical areas to be maintained or restored. As a consequence, a sustainable management of land use could be proposed so that they can maintain their Erosion Control Ecosystem Service supply.

The risk erosion estimation in the basin is quite low finding the highest values in areas with a great slope, where vegetation cover is almost non-existent. Regarding the Ecosystem Erosion Control Service, its mapping shows that 78% of the sub-basin land mapped has been classified as vulnerable, revealing the need for mitigation and/or improvement actions, while only 0.45% of the sub-basin is in good condition.

KEYWORDS

Ecosystem Services, Erosion Control, USLE, GIS, Watershed, Mapping.

INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, los Servicios Ecosistémicos (SE) se entienden como todos los beneficios que obtiene el ser humano de los ecosistemas, de sus componentes y procesos naturales (Millennium Ecosystem Assessment, MEA, 2005;) En base a las funciones del ecosistema, MEA propuso la siguiente clasificación muy aceptada en la actualidad, en cuatro categorías:

- **Servicios de apoyo:** se trata de procesos ecológicos básicos que aseguran el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el flujo de servicios de provisión, de regulación y culturales. Entre estos servicios se encuentran la productividad primaria y el mantenimiento de la biodiversidad.
- **Servicios de regulación:** son procesos ecosistémicos complejos mediante los cuales se regulan las condiciones del ambiente en que los seres vivos se desenvuelven y los seres humanos realizan sus actividades productivas. Algunos ejemplos son la regulación climática, la regulación de los vectores de enfermedades o el control de la erosión de los suelos, entre otros.
- **Servicios de provisión:** proporcionan el sustento básico de la vida humana; son recursos naturales o bienes como alimentos, agua, madera, etc.
- **Servicios culturales:** son los beneficios no materiales, materiales, tangibles o intangibles que las personas obtienen de los ecosistemas como, por ejemplo, beneficios espirituales, recreativos o educacionales.

Además de la clasificación, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio determinó la necesidad de establecer bases de datos que mostraran, a nivel regional, nacional y mundial, el conocimiento existente de los Servicios Ecosistémicos, incluyendo la distribución espacial de los mismos.

Por otro lado, en 2010, la Unión Europea (UE) adoptó una nueva Estrategia de Biodiversidad para el periodo 2011-2020 (Comisión Europea, 2011). Dicha

Estrategia tiene el objetivo de detener la pérdida de la biodiversidad y la degradación de los servicios ecosistémicos en la UE para el año 2020 con perspectivas también hacia 2050, año en el que la biodiversidad y los servicios ecosistémicos que ofrece deben estar protegidos, valorados y restaurados en el territorio de la Unión (Ministerio para la Transición Ecológica, 2019). Para ello, una de las exigencias de la estrategia es la evaluación y cartografía a nivel nacional de los servicios de los ecosistemas para todos los países miembros para el año 2020.

Es, por tanto, ampliamente admitido que conocer y cuantificar los Servicios Ecosistémicos que provee un área es una herramienta útil para servir de apoyo en la toma de decisiones de la planificación del uso del territorio ya que, además de ilustrar la distribución espacial de ellos, también permite la identificación de las áreas críticas que deben ser mantenidas o restauradas para que puedan mantener su provisión. La fácil visualización y la posibilidad de análisis que ofrecen los mapas de SE facilita la comprensión, por parte de la sociedad y los tomadores de decisión, de la necesidad de implementar medidas de manejo sustentable en los ecosistemas que proveen los SE (Saldaña Espejel, 2008).

Uno de los componentes clave de un ecosistema es el suelo. Un suelo sano presta diversos servicios que mantienen los ecosistemas y a su vez apoyan las actividades sociales y económicas de las personas. Es el soporte y suministro de nutrientes para las plantas a fin de producir alimentos y biomasa en general; también juega un papel importante en la retención de agua y en las tasas de infiltración, las cuales ayudan a la recarga de acuíferos, así como a proporcionar agua potable limpia y mitigar el efecto de inundaciones y sequías. Por otro lado, tiene un importante peso en la regulación del clima global, puesto que es uno de los principales sumideros de carbono de la naturaleza (Burbano-Orjuela, 2016). Es por ello que los suelos son un recurso clave y fundamental para generar multitud de bienes y servicios esenciales. Su gestión será sostenible sólo si se mantienen o mejoran los servicios de regulación, apoyo y suministro que proporcionan, todo ello sin afectar significativamente a las funciones del suelo que hacen posibles esos servicios ni a la biodiversidad (FAO, 2015). De este modo, una cartografía detallada de los riesgos de pérdida y/o degradación del

suelo es un elemento esencial para una mejor toma de decisiones en la planificación y gestión del territorio.

El objetivo de este trabajo se centra, entonces, en explorar la aplicabilidad de una metodología que, a escala de cuenca hidrográfica y sobre datos geográficos abiertos, pueda cartografiar el riesgo de erosión al que se ve sometido el suelo y los SE que presta ese recurso natural, como elemento diagnóstico necesario para plantear una gestión sostenible de los usos del territorio.

ANTECEDENTES

La erosión del suelo es una de las mayores amenazas para la degradación de la tierra y el rendimiento de los cultivos en la mayoría de las regiones del mundo. Según la FAO, entre 25 y 40 000 millones de toneladas de suelo arable se pierden cada año. España está considerada como una de las áreas más susceptibles de Europa en cuanto a riesgo de erosión debido principalmente al clima que presenta (Dumas Salazar, 2012). En general, los suelos mediterráneos se han considerado como la parte más frágil del sistema que sustenta los ecosistemas terrestres y su biodiversidad, produciendo de este modo la mayoría de los servicios necesarios para el bienestar humano (Ruiz *et al.*, 2012). Por ello, el servicio ecosistémico *control de la erosión* posee una relevancia importante en el sistema. Se define como la habilidad del territorio para mantener la estructura y fertilidad del suelo evitando así pérdidas del mismo (Millennium Ecosystem Assessment, 2005) y es el encargado de mantener la productividad agrícola, ya que previene la pérdida de estructura y fertilidad del suelo, facilitando la infiltración y la capacidad de almacenamiento del agua contribuyendo así a mantener su calidad (De Groot, Wilson and Boumans, 2002); la pérdida de este servicio da lugar a aumentos del aporte de sedimentos a los sistemas de agua dulce, dando pie a su degradación (Gobin *et al.*, 2004).

Por estos motivos y debido a la carencia de evaluación y cartografía nacional de servicios ecosistémicos, se procede a cartografiar el servicio ecosistémico *control de la erosión* en la cuenca hidrográfica del río Henares con la intención

de conocer su distribución espacial, así como el riesgo de erosión que presenta la cuenca, con el objetivo principal de determinar las zonas más susceptibles de sufrir fenómenos erosivos y delimitar de esta forma posibles zonas de actuación. Así, a partir de datos espaciales de libre acceso, se estimará el riesgo de erosión que posee la cuenca gracias a la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo (USLE) y se representará en un mapa a través QGIS, un Sistema de Información Geográfica libre y gratuito para todos los usuarios. Finalmente se utilizará las densidades de cobertura vegetal como indicador de prestación del Servicio.

CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ubicada en las provincias de Guadalajara y Madrid, la cuenca hidrográfica del río Henares cuenta con un área total de 4.144 km². Las zonas más bajas corresponden con la confluencia del Henares con el Jarama, a 550 m.s.n.m., siendo también este punto el límite sur de la cuenca. Las zonas más altas de la cuenca, sin embargo, se encuentran en el borde noroeste, como el Pico Ocejón con 2049 m.s.n.m. (ANEXO I. Área de estudio)

Con respecto a los ríos principales, el río Henares es un afluente del Jarama y éste a su vez del Tajo. Los tributarios más importantes que recibe el río Henares son el río Badiel y el río Dulce por el este, y los ríos Torote, Sorbe, Bornova, Cañamares y Salado por el oeste.

En cuanto a la geología, la cuenca se encuentra al Noreste de la fosa tectónica del río Tajo, donde la litología que más abunda son rocas detríticas tanto del terciario como del cuaternario; en menor medida, en la parte noroeste de la cuenca se encuentran rocas carbonatadas mientras que por el borde éste son metadetríticas, pudiéndose encontrar volcánicas y evaporíticas en lugares específicos. (ANEXO II. Mapa Litológico)

Con respecto a la climatología de la cuenca, el clima predominante es de tipo mesotérmico, con veranos cálidos y muy secos e inviernos templados y húmedos, clasificándose así dentro del clima tipo Cs o mediterráneo en la clasificación de Köppen. Más específicamente y teniendo en cuenta la diferencia

altitudinal que hay dentro de la propia cuenca, la Figura 1 sugiere la existencia de un gradiente climático general desde la zona norte (más húmeda y fría) hasta la zona sur (más seca y cálida). La temperatura media anual varía entre 11 y 15 °C, mientras que las medias anuales de temperatura máxima diaria ascienden hasta más de 20°C y las medias anuales de temperatura mínima diaria descienden hasta 4°C, siendo las zonas con mayor altitud las que presenten regímenes de temperaturas más bajas. En cuanto a las precipitaciones, según los datos estadísticos de la Agencia Estatal de Meteorología Española del periodo 1981-2010, el número medio anual de días de precipitación superior a 1 mm está entre 56 y 82, y el régimen de precipitaciones oscila entre los 400 y 700 mm de media anual, siendo la zona sur la más seca, con valores que no llegan a los 500 mm mientras que, según va incrementando la altitud, se alcanzan valores superiores a 700 mm.

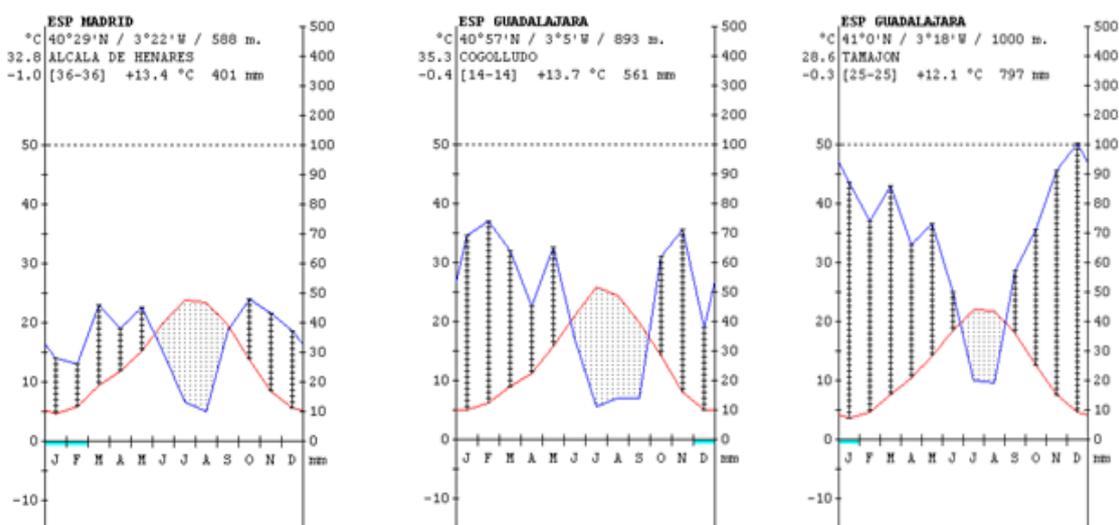


Figura 1: Diagramas de precipitación y temperatura de Alcalá de Henares, Cogolludo y Tamajón. Fuente: Sistema de clasificación bioclimática mundial <https://webs.ucm.es/info/cif/index.html>

En cuanto a la ocupación del suelo, cabe destacar que aproximadamente un 40% del territorio está dedicado a tierras de labor en secano. La mayoría de estas tierras se encuentran en la parte sur de la cuenca correspondiendo a las zonas de vega y terrazas del río. Además, más del 3% está dedicado a terrenos agrícolas de regadío permanente. Otra gran parte de la superficie de la cuenca se encuentra ocupada por bosques (coníferas, frondosas y mixto), pastizales naturales y vegetación esclerófila con aproximadamente un 17%, 16% y 10% de

ocupación respectivamente. Al contrario que los cultivos, este tipo de ocupación natural se encuentra localizada mayoritariamente en la parte norte donde se sitúan las zonas más abruptas de la cuenca, siendo las frondosas más típicas en la parte este y las coníferas en el oeste, mientras que los pastizales se reparten por ambas zonas. El tejido urbano representa 2,5% del territorio y está localizado en su mayoría donde se concentran las mayores densidades de población: los municipios de Alcalá de Henares y Guadalajara.

METODOLOGÍA

1. La ecuación USLE

Como ya se ha mencionado, para estimar el riesgo de erosión y su distribución en la cuenca del Henares se ha utilizado la ecuación USLE, calculada a través de QGIS para el conjunto de la cuenca. USLE es la herramienta más utilizada para estimar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica de tipo laminar o en regueros de pequeña entidad. Esta ecuación empírica de tipo paramétrico fue desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) en EEUU a partir de los resultados que obtuvieron, durante los años 50, de un número muy elevado de parcelas de campo instaladas en diferentes localidades del país, con condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de uso muy variadas. La predicción del suelo por USLE se realizó mediante el producto de seis factores:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde,

- A representa la pérdida de suelo calculada por unidad de área.
- R representa la capacidad de la lluvia para producir erosión. Se calcula en base a la energía cinética de la precipitación.
- K representa la erosionabilidad del suelo. Este factor depende principalmente de la estructura, textura, permeabilidad del suelo y contenido de materia orgánica.

- LS o factor topográfico, compuesto por el factor longitud de la ladera (L) y el factor inclinación de la ladera (S).
- C corresponde al factor vegetación, representando la eficacia de la cubierta vegetal frente a la erosión del suelo causada por el impacto de las gotas de agua de lluvia y por la fuerza del agua superficial.
- P representa las medidas y trabajos de conservación, técnicas aplicadas por el ser humano encaminadas a reducir el efecto de la erosión sobre el suelo. Este factor no será considerado en este trabajo debido a la casi nula existencia de medidas en el territorio. Por tanto, se asume que P es igual a 1.

Hay que tener en cuenta que el método original está dirigido a pequeñas parcelas por lo que es probable que, a una escala de cuenca hidrográfica, no sirva para estimar cuantitativamente de forma fiable y con exactitud la tasa de pérdida de suelo (Martínez y Esteve, 2006) pero una cuenca hidrográfica es donde tienen lugar los principales procesos e interacciones ecológicas además de ser una unidad común de gestión de agua y tierra en muchos países (Trabucchi *et al.*, 2014), por lo que adaptar el método a escala de cuenca puede servir para identificar las áreas que presenten mayor riesgo y guiar a estas zonas las actuaciones de vigilancia, conservación o restauración.

Una vez obtenido el mapa de riesgo potencial de erosión, se utilizará como indicador de prevención de la erosión del suelo las densidades de cobertura vegetal que éste presenta. Suponiendo que una mayor cobertura protege más el suelo de la erosión, se distribuyeron las coberturas en tres clases: 0-30%, 30-70% y 70-100% (Quinton, Edwards y Morgan, 1997) y se clasificaron las zonas para su gestión en función de estos porcentajes.

Como se ha mencionado, para la realización del trabajo se ha utilizado el software QGIS, la versión 2.18 Las Palmas y la versión 3.4 Madeira, debido a que ambas presentaban varios fallos de funcionamiento, pero acabaron por complementarse entre ellas. Puntualmente se ha sido necesario acudir a la extensión QSWAT (*Soil and Water Assessment Tool*, una herramienta de

evaluación de suelo y agua para el manejo de cuencas totalmente de dominio público) para la delimitación del área de estudio.

2. Las fuentes de datos

Para la creación de la base de datos con la que se ha trabajado, se extrajo la información geográfica principalmente de la Infraestructura de Datos Espaciales de España (IDEE), la cual integra, a través de Internet, los datos, metadatos, servicios e información de tipo geográfico que se producen en España, tanto a nivel estatal como autonómico y local. A través del centro de descargas del Instituto Geográfico Nacional (CNIG), se accedió al Corine Land Cover 2018 para la obtención de los usos del suelo y a la Base Cartográfica Nacional escala 1:200.000 para adquirir las capas de límites municipales, autonómicos, ríos y embalses. Para completar el factor C, también fue necesario obtener los datos del Mapa Forestal de España escala 1:50.000 a través del Ministerio de Transición Ecológica.

Adicionalmente, se utilizó el GeoPortal de CGIAR-CSI que proporciona datos de elevación digital SRTM de 90 metros para todo el mundo para la descarga del Modelo Digital de Elevaciones que se utilizó en este trabajo.

Por otro lado, los datos referentes a los factores físicos fueron obtenidos del Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, que ofrece información cartográfica general, mapas temáticos sobre variables agroclimáticas, mapas de cultivos, etc., en concreto, se cogieron los datos relativos al factor R.

Por último, para la obtención de los datos litológicos se utilizó el portal de cartografía digital del Instituto Geológico y Minero de España para digitalizar la litología a escala 1:1.000.000.

3. La preparación de la base de datos y cálculo de los factores USLE

a) Obtención del área de estudio

Para la obtención del área de estudio, en primer lugar, se descargó el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con un paso de malla de cinco metros a través del CNIG. A continuación, se estableció el sistema de referencia a ERTS89 (European Terrestrial Reference System 1989) con proyección en UTM30 (código EPSG 25830). Debido a la alta resolución de la capa obtenida a partir de la unión de las hojas por donde se extiende la cuenca del Henares y, como consecuencia de ello, su muy elevado peso, el software QGIS no soportaba realizar operaciones con ella; por ello se decidió trabajar con el MDE del GeoPortal de CGIAR-CSI, un SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de 90x90 metros.

Con la extensión QSWAT de QGIS se crearon las redes de flujo a partir del SRTM mencionado. Para ello fue necesario fijar un valor umbral, así todos los píxeles que posean un valor superior al fijado entraron dentro del grupo de los píxeles que pertenecen a la red de drenaje. En este caso, el valor umbral establecido fue de 200 m². Una vez creada la red de drenaje, el siguiente paso fue delimitar la cuenca. Para ello, se eligió como valor de salida de la cuenca un punto justo antes de la confluencia del río Henares con el río Jarama y se procedió a la delimitación de esta. Por defecto, QSWAT crea un archivo *shape* delimitando varias microcuencas que posteriormente se unieron para la obtención de la cuenca hidrográfica principal. Este *shape* se utilizará para el recorte del resto de capas.

b) Cálculo del factor R

La lluvia como factor erosivo es definida como la agresividad de ésta sobre el suelo, representando así la energía con la que las gotas de lluvia, cayendo a una determinada intensidad, rompen los agregados superficiales en partículas de menor tamaño. Esto es llamado erosión por salpique. Además, cuando las gotas alcanzan el suelo, lo hacen con suficiente fuerza como para compactarlo, lo que

facilita la creación de costras superficiales y reduce su capacidad de infiltración. A partir de ahí, al alcanzar la saturación del suelo, las partículas disgregadas son transportadas por la escorrentía produciendo así erosión por arrastre (Colotti Bizzarri, 1999).

Para la obtención del factor R (ANEXO III. Mapa Factor R), se han utilizado los datos del Sistema de Información Geográfica de datos Agrarios (SIGA) del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, donde se encuentran los servicios de Caracterización o Información Agroclimática que ofrecen mapas temáticos en base a variables agroclimáticas. El mapa temático del factor R lo elaboraron con métodos de interpolación geoespacial a partir de los datos de 3591 estaciones pertenecientes a la red del Instituto Nacional de Meteorología. Para poder usar este mapa temático se incorporaron los datos a QGIS a través de un servidor WMS ya que el SIGA no permite la descarga directa de archivos. Una vez dentro del servidor WMS se selecciona la información del factor R. Será necesario introducir también los metadatos de la capa, los cuales se consiguen a través de la URL de acceso al servicio de metadatos.

A continuación, se realiza un muestreo regular con una distancia entre puntos de 5 km; en cada punto se añadió a la tabla de atributos el valor R correspondiente y sus coordenadas. Para crear un mapa continuo, se estimaron los valores desconocidos a través de una interpolación de Distancia Inversa Ponderada (IDW), donde los puntos de muestreo se ponderan en base a que la influencia de un punto en relación con otros disminuye con la distancia desde el punto desconocido que se desea crear (QGIS 2.18). Para asignar la ponderación se utiliza un coeficiente de ponderación que controla cómo ésta decae mientras la distancia hacia el punto nuevo se incrementa; por lo que, conforme el coeficiente se incrementa, el valor de los puntos desconocidos se aproxima al valor del punto de observación más cercano. En este caso el coeficiente fue de 4. (QGIS 2.18)

c) Cálculo del Factor K

El factor K corresponde a la erodabilidad del suelo, es decir, la respuesta del suelo a un determinado mecanismo erosivo. Cómo de vulnerable será el suelo de sufrir pérdidas por erosión estará determinado por las características propias de cada suelo; en base a ellas, el factor k trata de representar las diferentes velocidades a las que se erosionan distintos suelos ante diferentes condiciones externas (Cuellar Salamanca, 2016). De este modo, en un episodio de lluvia, la respuesta del suelo será medida por la capacidad de mantener su estructura y de almacenar y transmitir el agua, lo que está íntimamente relacionado con las propiedades físicas del suelo (textura, estructura, contenido en m.o y permeabilidad) (Gisbert, Ibáñez y Moreno, 2012). En base a esto, los suelos más erosionables corresponderán a los compuestos de arenas y arcillas, siguiéndolos en resistencia los compuestos de calizas y margas y, en menor medida, los compuestos de yesos.

(Wischmeier y Smith, 1978) desarrollaron un monograma para realizar las estimaciones del factor K; además, también puede estimarse a través de ecuaciones de regresión. En ocasiones puede no disponerse de la información de algunos parámetros físicos por lo que una buena alternativa es recurrir a la información litológica del entorno ya que está estrechamente relacionado el tipo de suelo y el material parental subyacente (Gisbert, Ibáñez and Moreno, 2012).

Para la obtención de la capa de litología, se incorporaron los datos del mapa de litologías 1M a QGIS a través de un servidor WMS del IGME para, posteriormente, elaborar una propia digitalizando la litología de la cuenca del Henares ya que no se dispone de capas de litología de manera libre y gratuita. Una vez obtenida la capa se extrajo la tabla de atributos en formato .csv (delimitado por comas) y se abrió con Excel para añadir a cada litología el factor K correspondiente en base a los valores propuestos por Gilbert e Ibáñez (2003) que aparecen en la Tabla 1. Por último, se unió la nueva tabla a la capa y se creó, a partir de los valores K añadidos, una nueva capa raster que posteriormente podrá utilizarse en el cálculo de la ecuación. (ANEXO IV. Mapa Factor K)

Litología	Factor K
Dolomías, calizas y margas. Areniscas	0.3
Calizas, dolomías y margas. Areniscas y conglomerados	0.4
Conglomerados, areniscas, calizas, yesos y arcillas versicolores	0.3
Gravas, conglomerados, arenas y limos	0.2
Cuarcitas, pizarras, areniscas y calizas	0.1
Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas. Evaporitas	0.2
Areniscas, conglomerados, arcillas y calizas. Evaporitas	0.3
Areniscas, pizarras y calizas	0.3
Conglomerados, areniscas y lutitas	0.3
Calizas detríticas, calcarenitas, margas, arcillas y calizas	0.3

TABLA 1: Valor del Factor K para cada litología escala 1M de la cuenca del Henares.

Fuente: Gilbert e Ibáñez (2003)

d) Cálculo del Factor LS

El factor LS está representado por la longitud de la pendiente (L) y la inclinación de ésta (S). Estos factores, en la ecuación USLE, se combinan formando uno solo para así poder, tanto caracterizar la longitud de la pendiente como la forma de producción de sedimentos (Abdulkareem *et al.*, 2019). Tanto la longitud como la pendiente de la ladera influyen considerablemente en las tasas de erosión del suelo, siendo el relieve uno de los principales factores que determinan la emisión de sedimentos (González del Tágano, 1991). Mintegui Aguirre (1988) estableció unos determinados rangos de pendiente y asignó un valor de LS a cada uno de ellos (Tabla 2).

Pendiente (%)	0 - 3	3 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	>30
Factor LS	0.3	1.5	3.4	5.6	8.7	14.6

TABLA 2: Valores del factor LS para cada rango de pendiente Fuente: Mintegui 1988

Para la obtención del factor LS (ANEXO V. Mapa Factor LS), se creó un mapa de pendientes en porcentaje a través del MDE gracias a la fórmula de Horn; una vez obtenido el mapa de pendientes, éste fue reclasificado atendiendo a los rangos de pendiente propuestos por Mintegui asignándole posteriormente el valor de LS correspondiente a cada rango.

e) Cálculo del Factor C

Podría decirse que la cubierta vegetal es el principal elemento natural de protección del suelo frente a la erosividad de la lluvia, puesto que controla tanto la energía con la que llegan las gotas de lluvia al suelo como la velocidad de la escorrentía superficial que se forme (González del Tágano, 1991). De esta forma, la mayor erosión será producida en aquellos suelos que carecen de cubierta vegetal debido a que las gotas de lluvia impactarán en el suelo y éste acabará formando una película superficial facilitando la escorrentía y dando comienzo a los procesos de arrastre. Así, el factor C se define como el cociente entre la tasa de erosión de una parcela con una determinada cubierta vegetal y la tasa de erosión de esa misma parcela con las mismas condiciones de clima, suelo y relieve, pero en barbecho continuo y laboreada según las líneas de máxima pendiente (González del Tágano, 1991).

Para el cálculo de este factor (ANEXO VI. Mapa Factor C) ha sido necesario obtener del CNIG el mapa de ocupación del suelo en España a escala 1:100.000 correspondiente al proyecto europeo Corine Land Cover 2018. Se añadió a QGIS y se cortó la parte sobrante. Para un mejor manejo de los datos, se extrajo la tabla de atributos de la capa en formato .csv y se abrió con Excel. Después, se añadió el factor C correspondiente a cada uso del suelo basando la asignación en los valores dados por Dumas Salazar (2012), quién realizó una estimación del factor C para cada uno de los usos presentes en el Corine Land Cover a partir del mapa de estados erosivos de la cuenca hidrográfica del Segura elaborado por ICONA en 1988. Los valores finales de C aparecen representados en la Tabla 3. En cuanto a las zonas ocupadas por superficies forestales, se ha utilizado el Mapa Forestal de España para completar la información de la densidad del arbolado en cada superficie, diferenciando entre monte arbolado (Fracción de cabida cubierta $\geq 20\%$), monte arbolado ralo (FCC $\geq 10\%$), monte arbolado disperso (FCC entre 5 y 10%) y superficie forestal desarbolado (FCC $< 5\%$) (Cuellar Salamanca, 2016).

El factor C es adimensional y su valor varía entre 0 y 1, siendo 0 gran eficacia de la cubierta vegetal frente a la erosividad de la lluvia y 1 eficacia nula

(suelo desnudo). De esta forma, a los polígonos donde se encuentran zonas urbanas, industriales, etc., se les ha asignado un valor de C igual a 1 ya que se asume que es un suelo edificado desprovisto de vegetación. Por otro lado, las láminas de agua poseen un valor de C igual a 0 puesto que la importancia del impacto de las gotas de lluvia en estas zonas es nula. Finalmente, los valores medios de C se dan en las áreas trabajadas por el ser humano para la agricultura. Una vez asignados los valores, se guardó la tabla como .csv y se abrió en QGIS para posteriormente realizar una unión vectorial de los nuevos campos de la tabla de atributos. Finalmente, se creó una capa vectorial con los valores establecidos del factor C y se rasterizó para poder usarla en las operaciones con el resto de las capas.

USOS DEL SUELO	FACTOR C
Láminas de agua, humedales y zonas pantanosas	0
Zonas verdes urbanas	0.005
Bosque de frondosas, coníferas y mixto (arbolado)	0.041
Bosque de frondosas y mixto (arbolado ralo)	0.086
Pastizales naturales y praderas	0.13
Vegetación esclerófila	0.153
Landas y matorrales	0.153
Matorral boscoso de transición	0.153
Bosque de frondosas, coníferas y mixto (desarbolado)	0.3
Tierras de labor en seco	0.435
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	0.435
Mosaico de cultivos	0.435
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0.435
Terrenos regados permanentemente	0.507
Viñedos, olivares y frutales	0.525
Espacios con vegetación escasa	0.9
Tejido urbano continuo y discontinuo	1
Redes viarias y aeropuertos	1
Zonas industriales o comerciales	1
Zonas de extracción minera, escombreras y vertederos	1
Playas, dunas, arenales y roquedos	1

TABLA 3: Valor del factor C para cada ocupación del suelo en la cuenca del Henares
Fuente: Dumas Salazar 2012 y Cuellar Salamanca 2016

f) Integración de factores

La multiplicación final de los factores se hizo factor por factor. En primer lugar, se multiplica el factor LS por el K y el resultante por el R, dando como resultado el mapa de riesgo de **erosión potencial** (ANEXO VII). Al multiplicar éste por el factor C se obtiene el mapa de riesgo de **erosión real** (ANEXO VIII). Posteriormente se reclasificaron los mapas de erosión en base a cuatro rangos cualitativos propuestos por FAO-PNUMA-UNESCO (1980): ligera (0-10T/Ha/año), moderada (10-50), alta (50-200) y muy alta (>200). Además, se calculó el porcentaje que ocupa cada rango con respecto al total de la cuenca. Por último, se cartografió el control de la erosión utilizando como indicador las densidades de cobertura vegetal en una de las subcuencas que presenta un riesgo de erosión considerable.

RESULTADOS

- **Riesgo de erosión potencial**

El ANEXO VII muestra el mapa de riesgo de erosión potencial. Las zonas que poseen menor riesgo de erosión corresponden, principalmente, con la vega del río Henares; es aquí donde resultan las pendientes más bajas de toda la cuenca y una litología con un factor K medio. Por otro lado, el 51% (Figura 2) de la superficie de la cuenca posee un riesgo de erosión potencial moderado y corresponde mayoritariamente a la parte sur, compuesta principalmente por rocas sedimentarias; además, las pendientes en estas zonas comienzan a tener importancia. Un 25% y un 4% de la cuenca posee, respectivamente, un grado alto y muy alto de erosión potencial; estos valores se presentan en las zonas de la cuenca con pendientes muy fuertes que, en el sur y noreste, corresponden principalmente a taludes del páramo, mientras que las altas pendientes del noroeste se deben a la vertiente sur de la sierra de Ayllón, donde se encuentran las zonas más altas del territorio como el Pico Ocejón (2049m).

Riesgo de Erosión Potencial

- Leve (0-10)
- Moderado (10-50)
- Fuerte (50-200)
- Muy fuerte (>200)

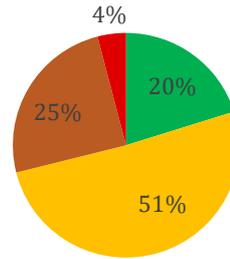


FIGURA 2: Porcentaje de riesgo de erosión potencial.

- **Riesgo de erosión real**

Al añadir la cubierta vegetal en la ecuación, se obtiene el riesgo de erosión real que sufre el territorio (ANEXO VIII). Puede observarse que la mayoría de la cuenca presenta un ligero o moderado riesgo de erosión con un 55,2 y 40,2% respectivamente (Figura 3), ocupando ahora zonas de baja pendiente, pero propagándose también, gracias a la cobertura vegetal, a áreas donde la pendiente empieza a ser moderada e incluso fuerte. Por otro lado, los riesgos de erosión más altos disminuyen hasta ocupar no más del 4,3% del territorio; los valores muy altos se concentran en la parte noroeste, así como en algunos puntos de la parte este de la cuenca. La mayoría de los valores altos están localizados en la zona noroeste de la cuenca donde se encuentran las mayores pendientes del territorio.

Riesgo de Erosión Real

- Leve (0-10)
- Moderado (10-50)
- Alto (50-200)
- Muy Alto (>200)

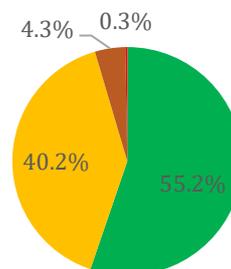


FIGURA 3: Porcentaje de riesgo de erosión real

DISCUSIÓN

Se utilizó la condición de la cobertura vegetal como indicador de servicio ecosistémico, siempre partiendo de la hipótesis de que una buena cobertura vegetal ayuda al control de la erosión (Xu *et al.*, 2020). Así, se realizó una tabulación cruzada (Tabla 4) entre el riesgo de erosión potencial del territorio y la densidad de la cobertura vegetal; esta última se efectuó en base al factor C.

Las áreas con una cubierta vegetal superior al 30% y con un riesgo de erosión muy bajo tendrán potencial para retener el suelo y serán clasificadas en la categoría 2 donde las medidas de gestión serán de vigilancia; las zonas con densidades inferiores a 30% y alto riesgo de erosión serán proclives a la erosión y se clasificarán en la categoría 4, donde las medidas de gestión se encaminan a la restauración y vigilancia cercana.

Las áreas que tengan densidades menores de 30% con un riesgo de erosión ligero/moderado, las que presenten densidades de entre 30-70% con un riesgo de erosión moderado/alto, así como las áreas con densidades de más de 70% con un riesgo de erosión alto/muy alto serán clasificadas en la categoría 3, donde las medidas de gestión se centran en la mejora. Por último, las zonas con densidades superiores al 70% y valores de erosión muy bajos fueron definidas como áreas con gran control de la erosión y clasificadas dentro de la categoría 1, con medidas de gestión encaminadas al mantenimiento (Trabucchi *et al.*, 2014; Quinton, Edwards y Morgan, 1997).

	Densidad de cubierta vegetal < 30%	Densidad de cubierta vegetal 30-70%	Densidad de cubierta vegetal > 70%
Riesgo de erosión potencial ligero	Categoría 3: mejora	Categoría 2: vigilancia	Categoría 1: mantenimiento
Riesgo de erosión potencial moderado			
Riesgo de erosión potencial alto	Categoría 4: restauración y vigilancia cercanas		
Riesgo de erosión potencial muy alto			

TABLA 4: Situaciones de gestión

Se eligió una subcuenca (ANEXO IX. Localización y usos del suelo de la subcuenca) atendiendo a criterios de erosión, localización, usos del suelo y presión humana para estimar el control de la erosión y proponer diferentes medidas de gestión. La subcuenca se encuentra localizada en un tramo del río Henares a su paso por el municipio de Jadraque. Posee un área total de 9329 ha donde más del 40% del territorio está dedicado a tierras de labor en secano y casi un 25% son terrenos regados permanentemente. Un 9,4% y un 9% del territorio está ocupado por vegetación esclerófila y pastizales naturales respectivamente mientras que casi un 15% lo ocupa un bosque de frondosas; el resto corresponde a mosaicos de cultivos y tejido urbano. Con respecto al desnivel del área, la parte sur de la subcuenca está caracterizada por tramos de fuertes pendientes que corresponden a taludes del páramo, el resto es relativamente llano. Además, atendiendo a la litología, el territorio está compuesto por rocas sedimentarias detríticas del terciario y cuaternario.

El ANEXO X muestra las situaciones de gestión del suelo de la subcuenca elegida y el porcentaje de ocupación de cada categoría se muestra en la Figura 4. Un 0,45% del territorio corresponde con la categoría uno, estas zonas se encuentran puntualmente en el sur y en el norte de la subcuenca donde el territorio está ocupado por bosque de frondosas y pastizales naturales además de contar con baja pendiente. El mantenimiento de este tipo de cobertura será pues una estrategia clave para el control de la erosión.

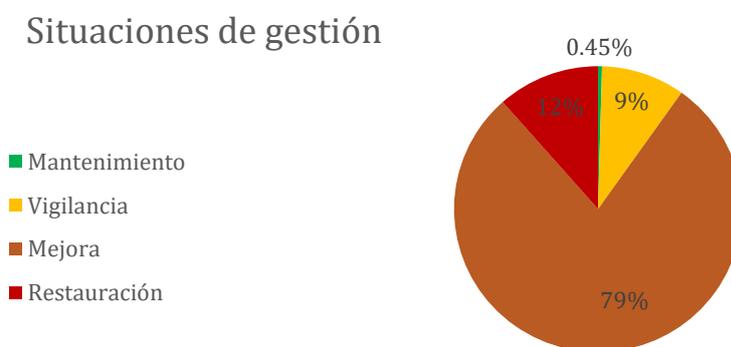


FIGURA 4: Porcentaje de ocupación de cada categoría de gestión

Un 9,4% de la subcuenca se encuentra en la categoría dos; estas áreas coinciden de nuevo con las zonas de bosque y pastizal natural. Sería adecuado entonces la elaboración de programas de vigilancia que permitan un seguimiento idóneo del territorio, sobre todo en las zonas de pastizal natural que se encuentran rodeadas de tierras de cultivo, donde es muy probable que, a pesar de la pendiente, acaben transformándose en lo mismo. La siembra de barreras vivas en contra de la pendiente en estas zonas ayudaría a frenar la escorrentía y a mejorar la infiltración. Además, el mantenimiento de las áreas de bosque en vista a aumentar su superficie hacia el futuro será una medida clave, puesto que la capacidad de conservación de suelo de los bosques es bastante fuerte (Xu *et al.*, 2020).

En el lado opuesto, puede observarse un claro predominio de la categoría tres ocupando un 78% del territorio y clasificándose como vulnerable, por lo que es necesario dar a estas zonas una atención enfocada para identificar las causas del problema y poder así implementar medidas de mitigación y/o mejora como, por ejemplo, optar por cultivos de cobertura permanentes en vez de anuales o utilizar mantillos de cobertura vegetal dentro y fuera de las áreas de cultivo para así reducir la escorrentía, retener la humedad y mejorar la infiltración del terreno (Mendoza, 2011).

Finalmente, un 11,5% de la subcuenca ha sido clasificada en la categoría cuatro; definidas como áreas críticas, se localizan principalmente en las zonas que presentan cambios de pendiente, donde llega a ser mayor de 18°. Estas laderas se encuentran ocupadas principalmente por vegetación esclerófila, aunque hay ciertas zonas cerca del casco urbano que están dedicadas a cultivos; la labranza de conservación sería una práctica adecuada para estos cultivos ya que ayuda a retener agua y suelo en las tierras de cultivo inclinadas (Wu *et al.* 2014). Además, estos sistemas de labranza pueden ser llevados a cabo por pequeños y grandes agricultores debido a su bajo coste. Con respecto a las zonas de vegetación esclerófila, un manto de refuerzo de la vegetación sería una práctica adecuada, ya que están diseñados para proveer protección favoreciendo a su vez el establecimiento y refuerzo de la vegetación durante y después de su maduración (Mendoza, 2011).

CONCLUSIONES

La erosión del suelo y la conservación de servicios ecosistémicos debe tratarse como un problema serio en las regiones mediterráneas. Por ello, es importante llevar a cabo diferentes métodos para evaluar correctamente la pérdida de suelo a escala de cuenca hidrográfica y poder así aplicar medidas encaminadas al uso sostenible de la tierra.

En este trabajo se utilizó el modelo USLE para evaluar el riesgo de erosión en la cuenca del río Henares a través del software libre QGIS, dando como resultado una distribución espacial del riesgo y un marco de trabajo donde, con la utilización de la cobertura vegetal como indicador, fue posible cartografiar la distribución del control de la erosión de la cuenca. La principal ventaja de la utilización de QGIS es que es libre y gratuito por lo que se pudo trabajar cómodamente desde cualquier lugar, además de encontrar multitud de guías y tutoriales para cualquier geoproceto que se quiso realizar. Asimismo, todas las fuentes requeridas estuvieron disponibles de forma gratuita, a excepción de la capa de litología que tuvo que digitalizarse, y la mayoría de ellas no requirió mucha manipulación.

Por otro lado, se han sufrido importantes limitaciones a la hora de trabajar con QGIS en lo relativo al procesamiento raster; algunos comandos han tenido que realizarse en otras versiones del software para su correcto funcionamiento. Además, la ecuación USLE utilizada a escala de cuenca hidrográfica también está sujeta a importantes limitaciones; la considerable dimensión de la cuenca hizo que, por ejemplo, se utilizara una capa de litología a una escala demasiado grande. En cuanto a las limitaciones a la hora de trabajar con la cobertura vegetal del territorio, es necesario poseer de información mucho más detallada ya que, aunque el Corine Land Cover y el Mapa Forestal se combinan y complementan correctamente, poseen una resolución escasa por lo que sería conveniente que, en áreas más reducidas, se utilizaran otros métodos complementarios para la obtención del factor C como la fotointerpretación o la verificación de campo.

Debido a estas limitaciones, los resultados obtenidos en el análisis pueden no ser del todo precisos, pero sí contribuyen a identificar zonas especialmente

vulnerables y comprender en qué estado se encuentra el servicio ecosistémico *control de la erosión*, pudiendo así definir zonas de riesgo donde aplicar prácticas adecuadas de restauración, conservación o mantenimiento mejorando la gestión del territorio.

Como conclusión al análisis, el riesgo de erosión real en la cuenca es bastante bajo, encontrando los valores más altos en zonas con gran pendiente donde la cubierta vegetal es casi inexistente. Estos lugares relativamente desnudos tienden a transformar su morfología en favor de los factores de erosión quedando afectados por aluviones y cárcavas dando como resultado zonas degradadas. Sería adecuado entonces considerar la cartografía de riesgo de erosión potencial cuando se vayan a realizar planificaciones territoriales por su ayuda a la hora de proteger las áreas más vulnerables de los usos más exigentes.

Cruzar la erosión potencial con la cobertura vegetal ha dado como resultado que el 78% del territorio de la subcuenca tiene la necesidad de realizar actuaciones de mejora, sobre todo en terrenos abandonados y laderas. En estas zonas debería estudiarse y conocer su dinámica florística, así como sus propias limitaciones biofísicas para incentivar la recolonización de arbustos autóctonos y ayudar, a su vez, reforestando con especies resistentes que permitan la recuperación o mejora de la cobertura vegetal y aumenten la consolidación del suelo. También sería conveniente realizar un estudio minucioso del entorno para implantar obras estructurales a través de planes de restauración que incluyan, por ejemplo, corrección de cárcavas o consolidación de laderas. Por otro lado, sería muy acertado considerar además de la situación actual de pérdida de suelo, la tendencia de cambio que ha seguido en los últimos años atrás los usos del suelo y poder, así, analizar la presión real a la que ha sido sometido y formular medidas de mejora o restauración adecuadas. Con respecto a terrenos agrícolas, deberían de implantarse programas de desarrollo rural que ayuden a los propietarios a conocer los servicios de regulación vinculados a determinados manejos de la tierra y que a la larga les son beneficiosos.

Es importante entonces contar con este tipo de análisis y complementarlo con evaluaciones de otros servicios, para poder realizar una planificación territorial adecuada, así como políticas de desarrollo encaminadas a la conservación de los servicios ecosistémicos y que promuevan su uso racional.

BIBLIOGRAFÍA

- Abdulkareem, J. *et al.* (2019) "Prediction of spatial soil loss impacted by long-term land-use/land-cover change in a tropical watershed", *Geoscience Frontiers*. 10(2), pp. 389–403.
- Burbano-Orjuela, H. (2016) "El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria", *Revista de Ciencias Agrícolas* 33(2), pp. 117–124.
- Colotti Bizzarri, E. (1999) "La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida", *Terra Nueva Etapa*, 15(24), pp. 99–116.
- Comisión Europea (2011) *Estrategia de la UE sobre la biodiversidad hasta 2020: nuestro seguro de vida y capital natural*, Bruselas.
- Cuellar Salamanca, J. (2016) *Modelización de la USLE para el análisis de la susceptibilidad a la erosión en el corredor del Henares*. Trabajo de fin de máster. Universidad de Alcalá. Madrid.
- Martínez, J y Esteve M. (2006) "Desertificación en España: una perspectiva crítica" *El Ecologista*, 48, pp.40-42
- De Groot, R., Wilson, M. y Boumans, R. (2002) "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services", *Ecological Economics*, 41(3), pp. 393–408.
- Dumas Salazar, Á. (2012) *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río Mundo*. Trabajo de fin de máster. Universidad Complutense. Madrid.
- FAO (2015) *Carta Mundial de los Suelos revisada*, Roma.
- FAO-PNUMA-UNESCO (1980) "Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNESCO)." Roma.
- Gisbert, J. e Ibáñez, S. (2003) "Procesos erosivos en la provincia de Alicante". Generalitat Valenciana, Consellería de Medio Ambiente, 400 pp + 120 mapas
- Gisbert, J., Ibáñez, S. y Moreno, H. (2012) *El factor k de la ecuación universal de pérdidas de suelo*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Gobin, A. *et al.* (2004) "Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water", *Environ Sci Policy*, 7, pp. 25–38.

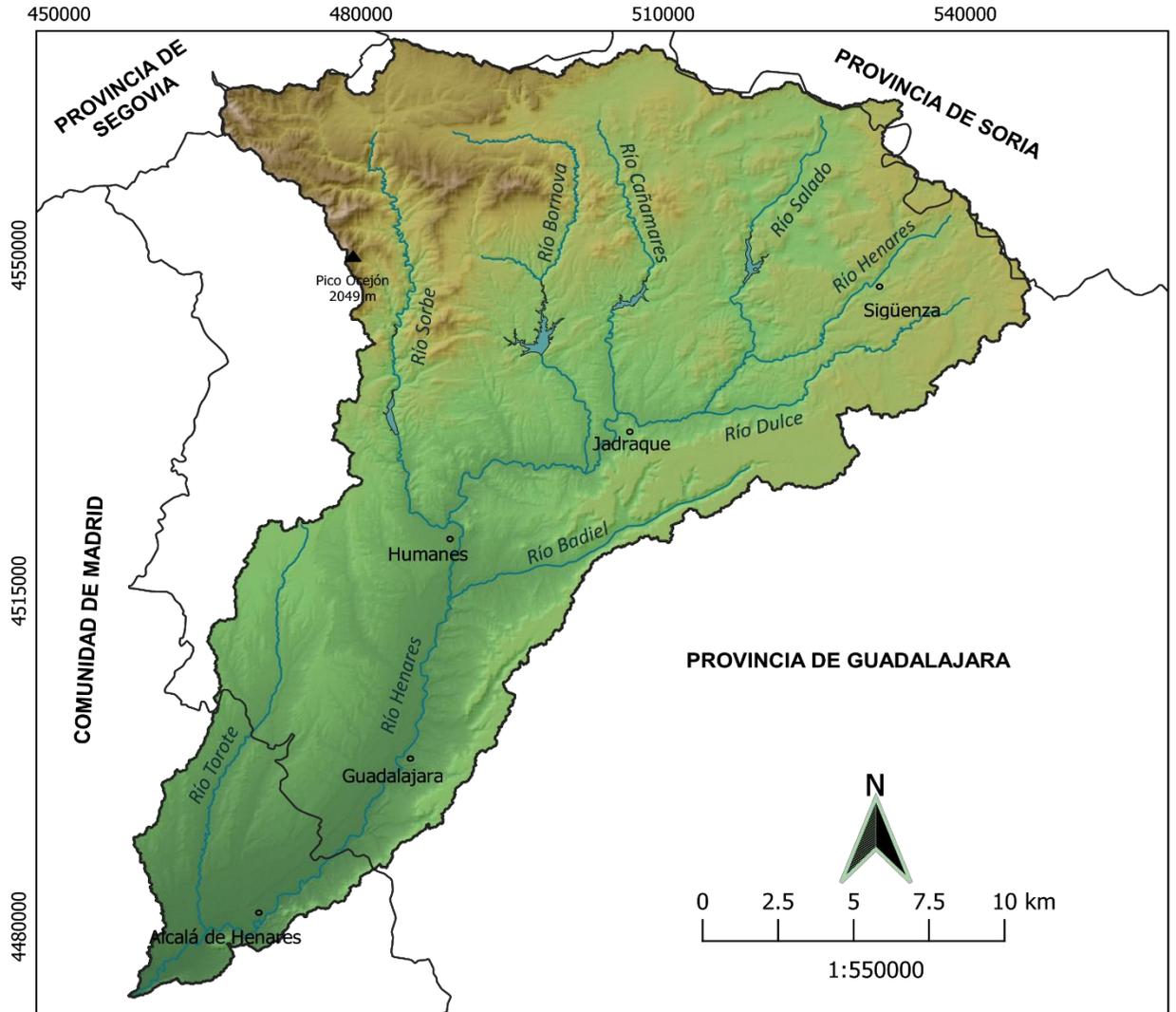
- González del Tágano, M. (1991) "La ecuación universal de pérdidas de suelo. pasado, presente y futuro", *Ecología*, 5, pp. 13–50.
- Mendoza, C. (2011) "Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización" *Ingeniería e investigación* 31(3), pp. 80–90.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and human well-being: our human planet: summary for decision-makers*, *The Millennium Ecosystem Assessment series*.
- Ministerio para la Transición Ecológica (2019): *Estrategia de biodiversidad de la UE para 2020* [Consulta: 30 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-la-biodiversidad/conservacion-de-la-biodiversidad-en-la-union-europea/cb_ue_estrategia_bio_UE_2020.aspx
- Mintegui Aguirre, J. (1988) "Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno." V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. p. 2229-2245.
- QGIS 2.18 (n.d.) Guía de usuario de QGIS [online] Disponible en: (https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/user_manual/index.html)
- Quinton, J., Edwards, G., y Morgan, R. (1997) "The influence of vegetation species and plant properties on runoff and soil erosion: results from a rainfall simulation study in south east Spain", *Soil Use and Management*, (13), pp. 143–148.
- Ruiz, J. M. *et al.* (2012) 'Erosion in Mediterranean Ecosystems : changes and future challenges', *Geomorphology*, (14), p. 5901.
- Saldaña Espejel, A. (2008) *Prioridades de restauración para la recuperación de servicios ecosistémicos asociados a los aspectos hidrológicos de la cuenca del río Cuitzmala, en el Pacífico mexicano*. Tesis doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Trabucchi, M. *et al.* (2014) "Mapping ecological processes and ecosystem services for prioritizing restoration efforts in a semi-arid Mediterranean river basin", *Environmental Management*, 53(6), pp. 1132–1145.
- Wischmeier and Smith (1978) "Predicting rainfall erosion losses. A guide to

conservation planning". *Agriculture Handbook*, 537. pp. 58

- Wu, Q., Wang, L., Wu, F. (2014) "Tillage - impact on infiltration of Loess Plateau of China" *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B, Soil & Plant Science*. 64(4), pp. 341-349.
- Xu, S. *et al.* (2020) "Comparing differences among three ecosystem service proxies for soil erosion prevention and their combination characteristics at local scales", *Ecological Indicators*. Elsevier, 110, pp. 105929.

ANEXOS

● ANEXO I: ÁREA DE ESTUDIO



Altitud (m)

- 0-552
- 552-899
- 899-1247
- 1247-1594
- 1594-2049

Cursos y láminas de agua

- Ríos principales
- Embalses

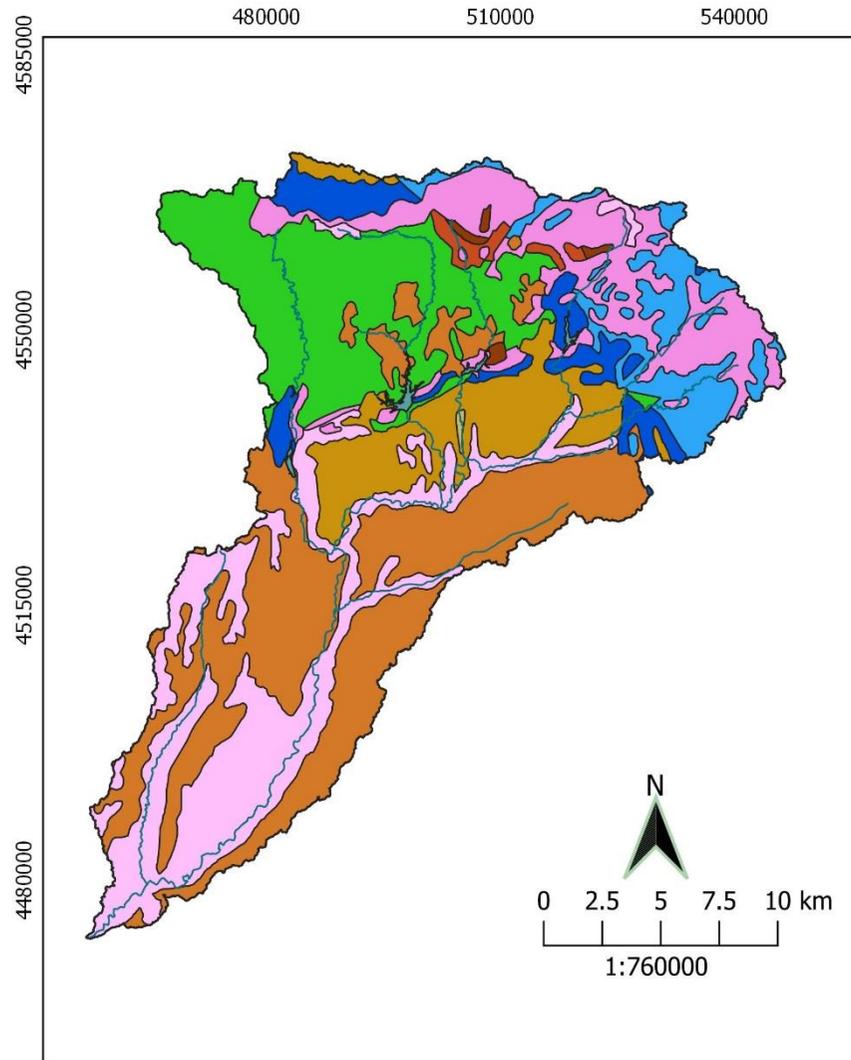


Universidad de Alcalá

Área de estudio

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO II: MAPA LITOLÓGICO



Litología 1M

- Dolomias, calizas y margas. Areniscas.
- Calizas, dolomias y margas. Areniscas y conglomerados.
- Conglomerados, areniscas, calizas, yesos y arcillas versicolores.
- Gravas, conglomerados, arenas y limos.
- Cuarcitas, pizarras, areniscas y calizas.
- Conglomerados, areniscas, arcillas y calizas. Evaporitas.
- Areniscas, conglomerados, arcillas, calizas y evaporitas.
- Areniscas, pizarras y calizas.
- Conglomerados, areniscas y lutitas.
- Calizas detriticas, calcarenitas, margas, arcillas y calizas.

Cursos y láminas de agua

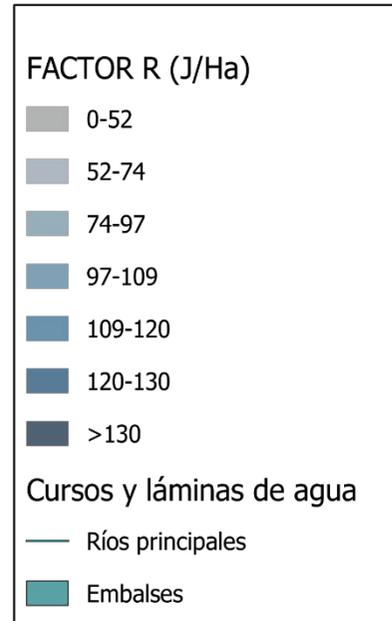
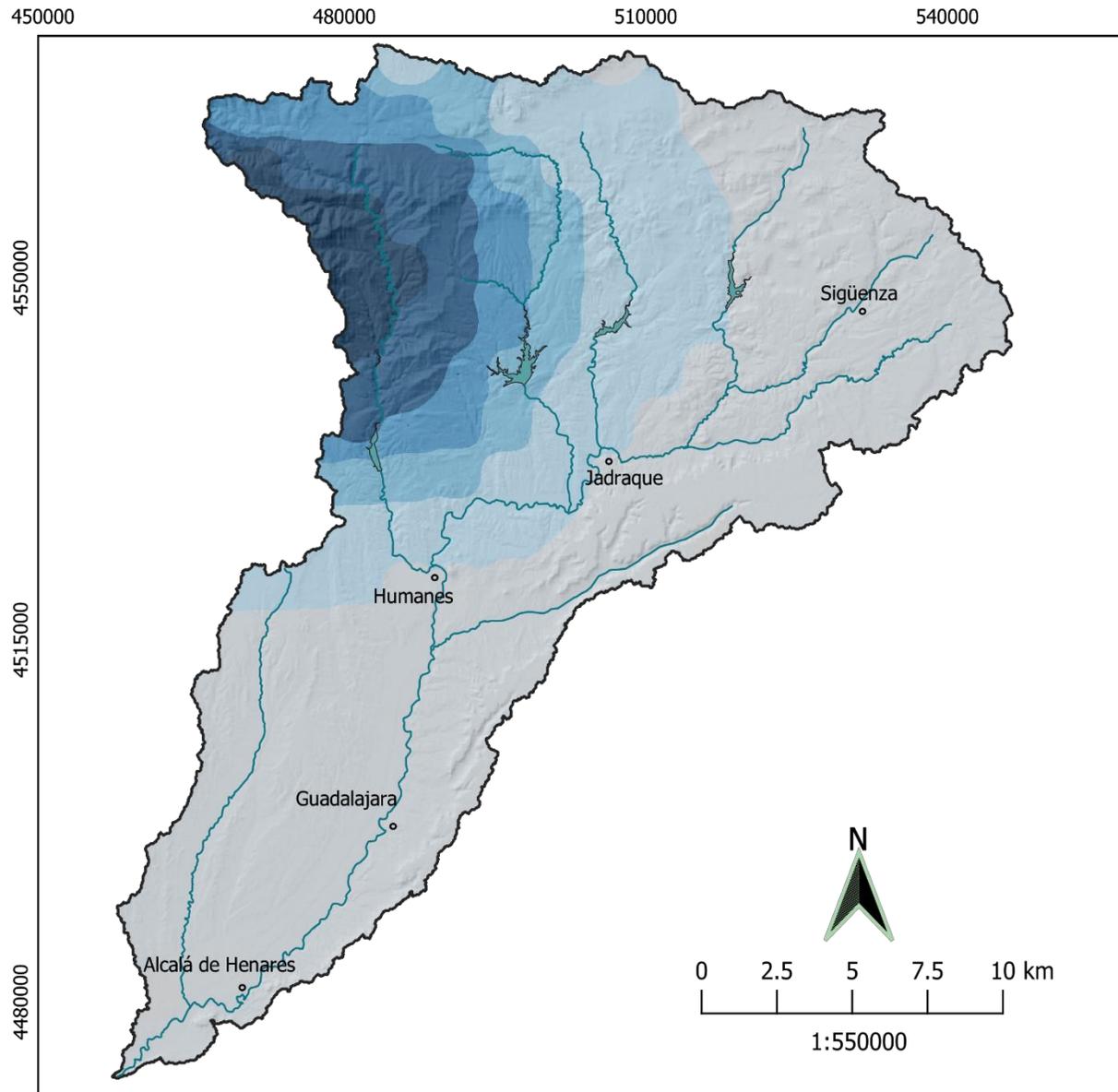
- Ríos principales
- Embalses



Litología escala 1M en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO III: MAPA FACTOR R

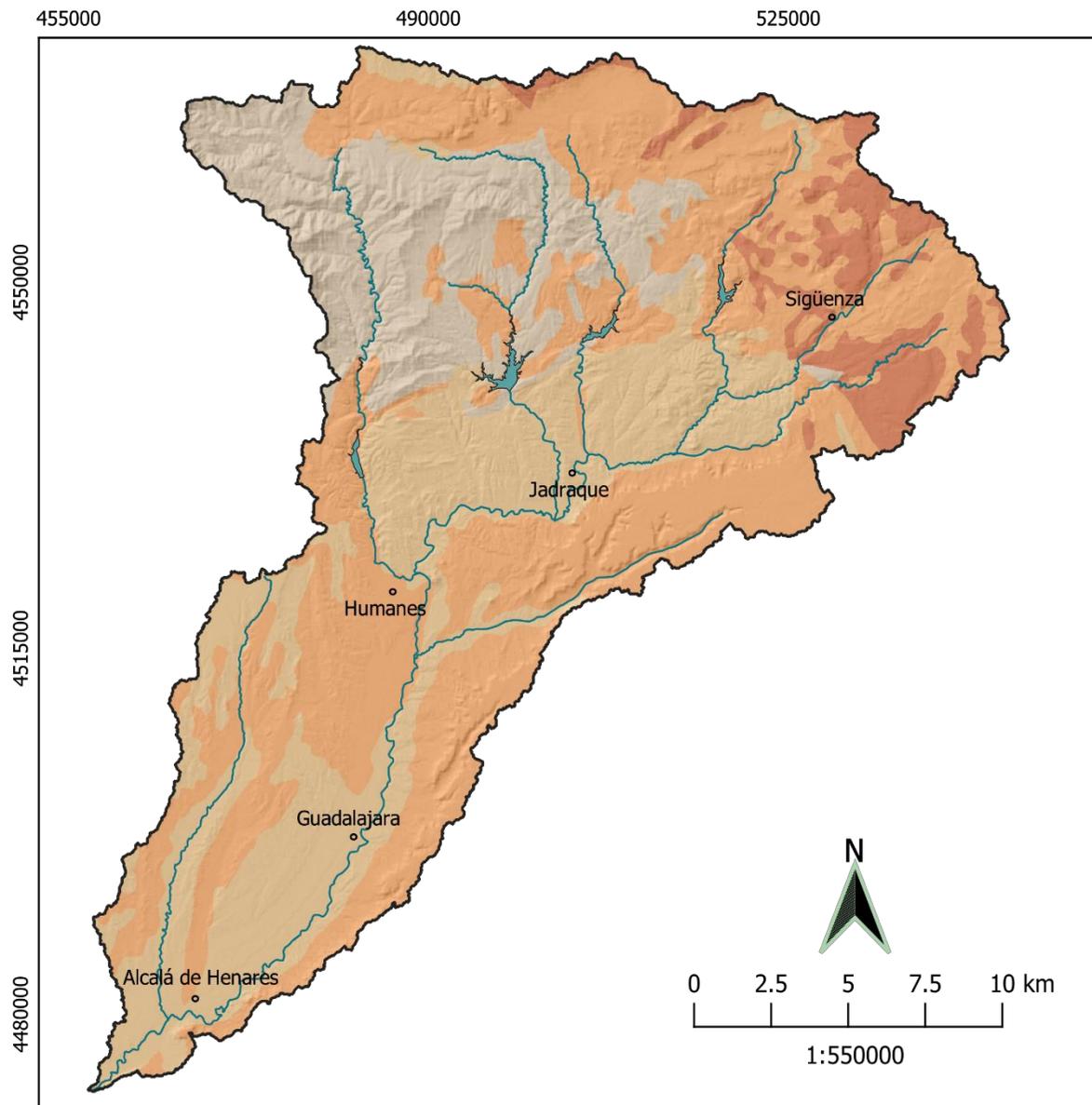



Universidad de Alcalá

Distribución del Factor R en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
 Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO IV: MAPA FACTOR K



Factor K

- 0.1
- 0.2
- 0.3
- 0.4

Cursos y láminas de agua

- Ríos principales
- Embalses

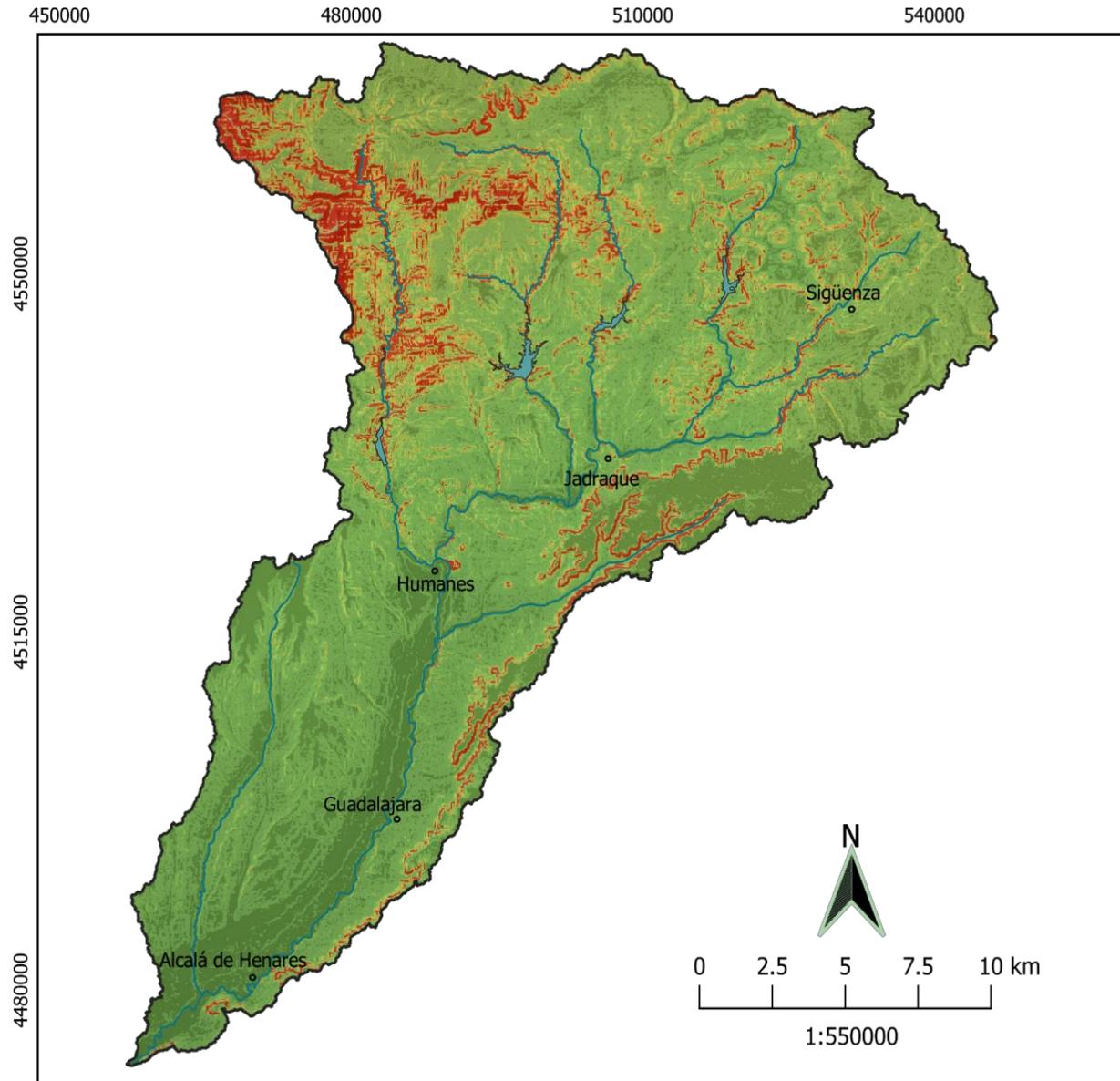


Universidad de Alcalá

Distribución del Factor K en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO V: MAPA FACTOR LS



Factor LS

- 0-0.3
- 0.3-1.5
- 1.5-3.4
- 3.4-5.6
- 5.6-10.9
- 10.9-14.6

Cursos y láminas de agua

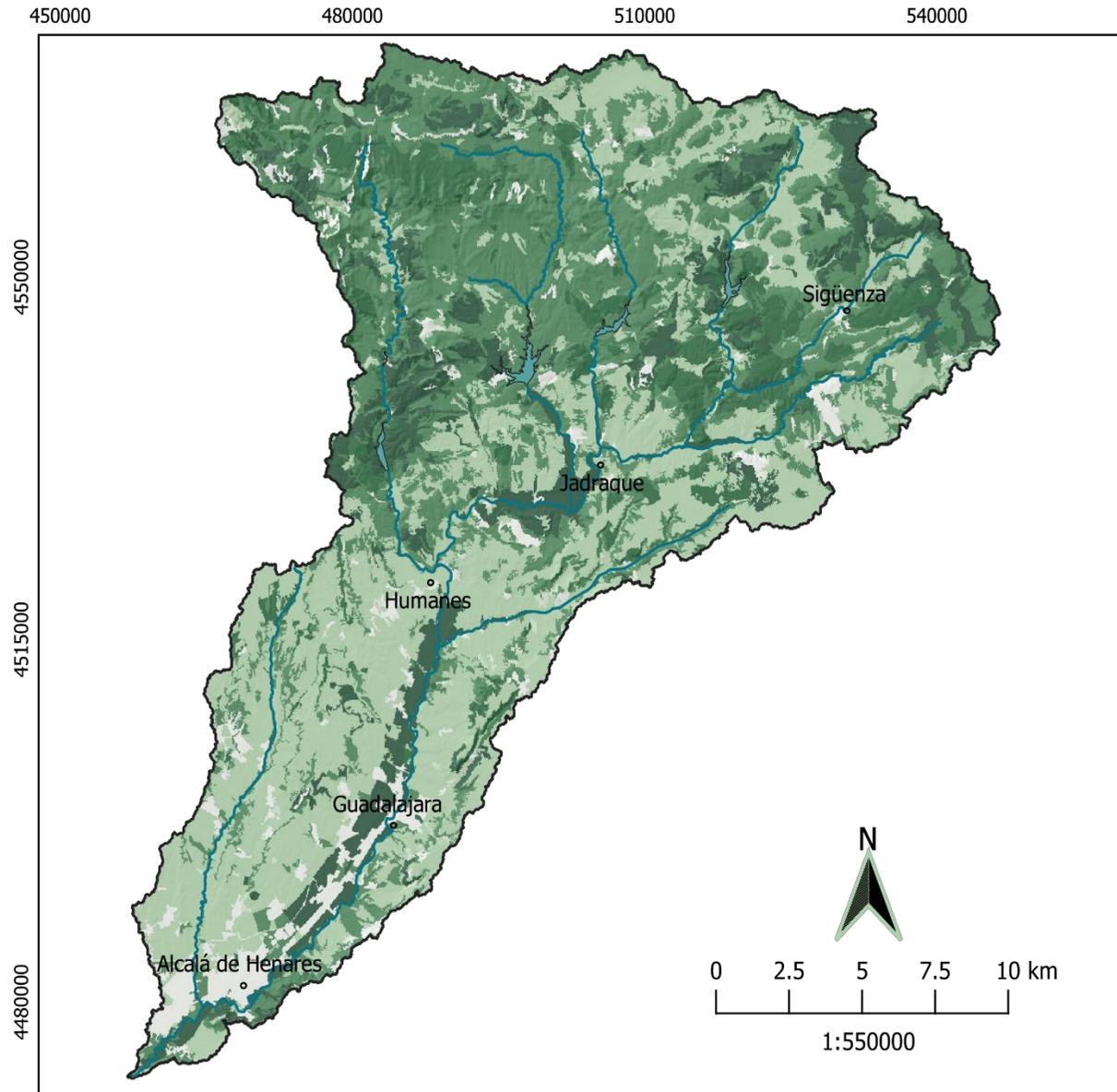
- Ríos principales
- Embalses



Distribución del factor LS en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huet

● ANEXO VI: MAPA FACTOR C



Factor C

- 0-0.1
- 0.1-0.2
- 0.2-0.3
- 0.3-0.5
- 0.5-0.6
- 0.6-1

Cursos y láminas de agua

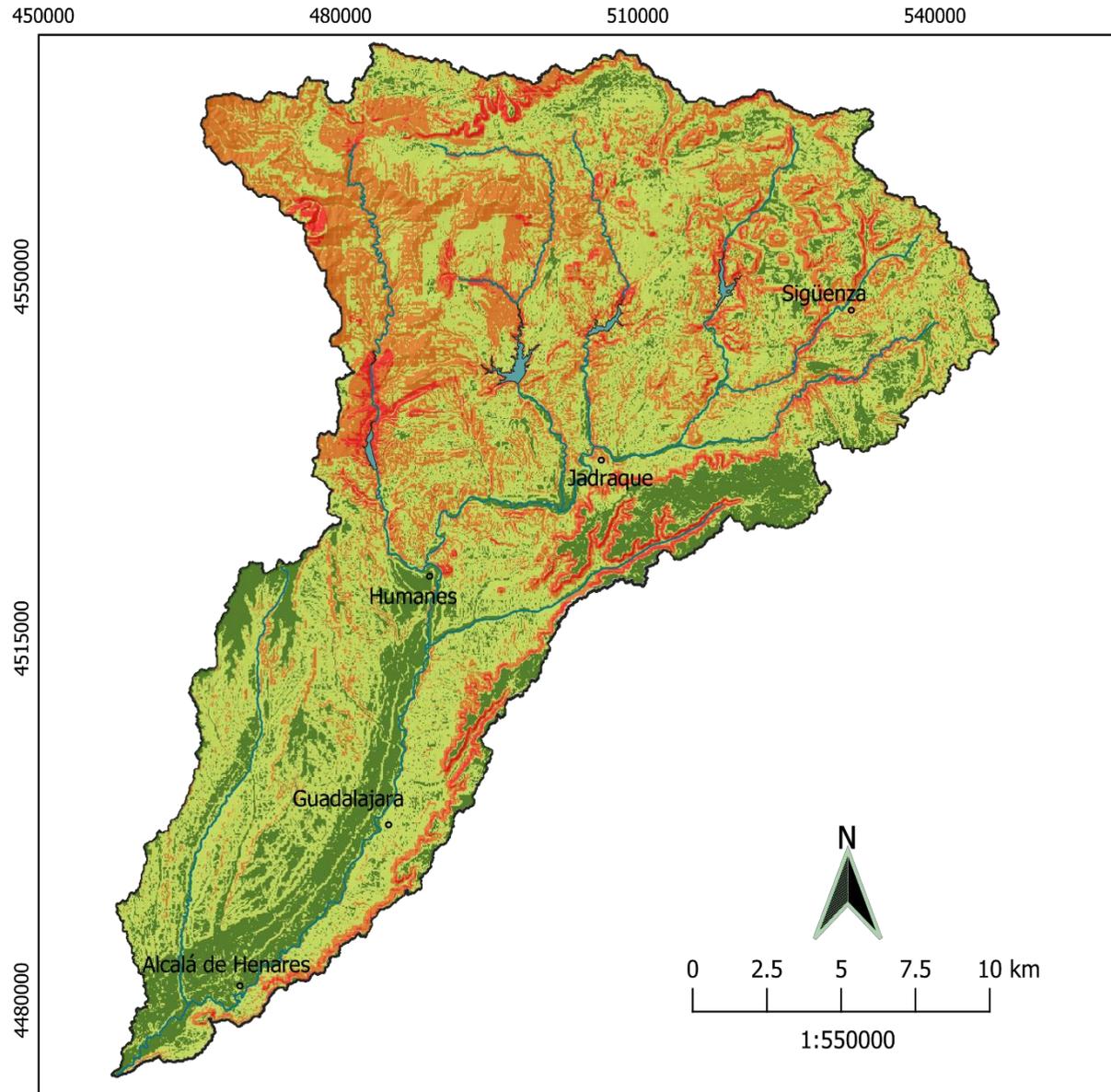
- Ríos principales
- Embalses



Distribución del Factor C en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO VII: MAPA DE RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL



Riesgo de erosión potencial

- Leve
- Moderado
- Fuerte
- Muy fuerte

Cursos y láminas de agua

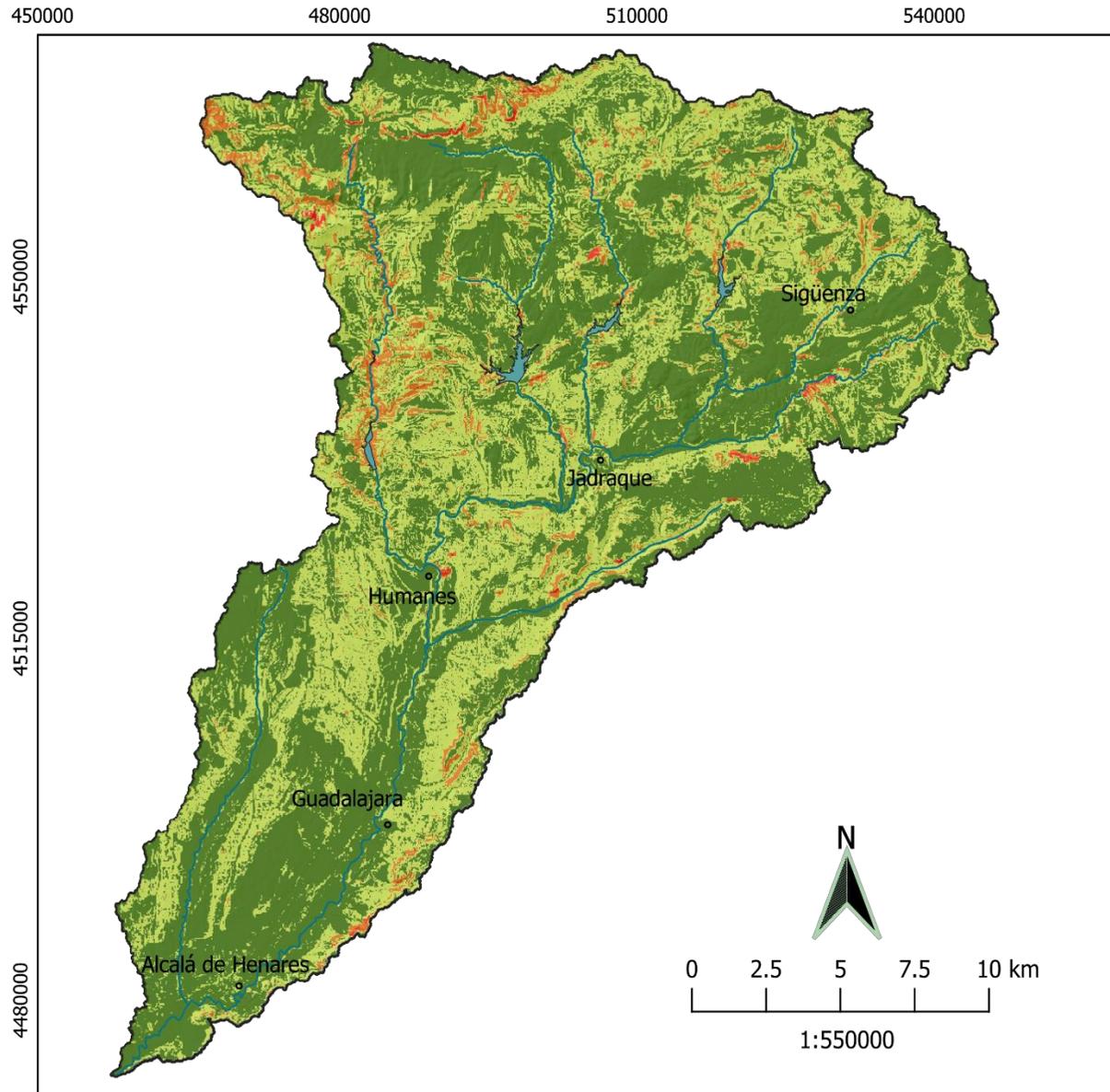
- Ríos principales
- Embalses



Riesgo de erosión potencial en la cuenca hidrográfica del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO VIII: MAPA DE RIESGO DE EROSIÓN REAL



Riesgo de erosión real

- Leve
- Moderado
- Fuerte
- Muy fuerte

Cursos y láminas de agua

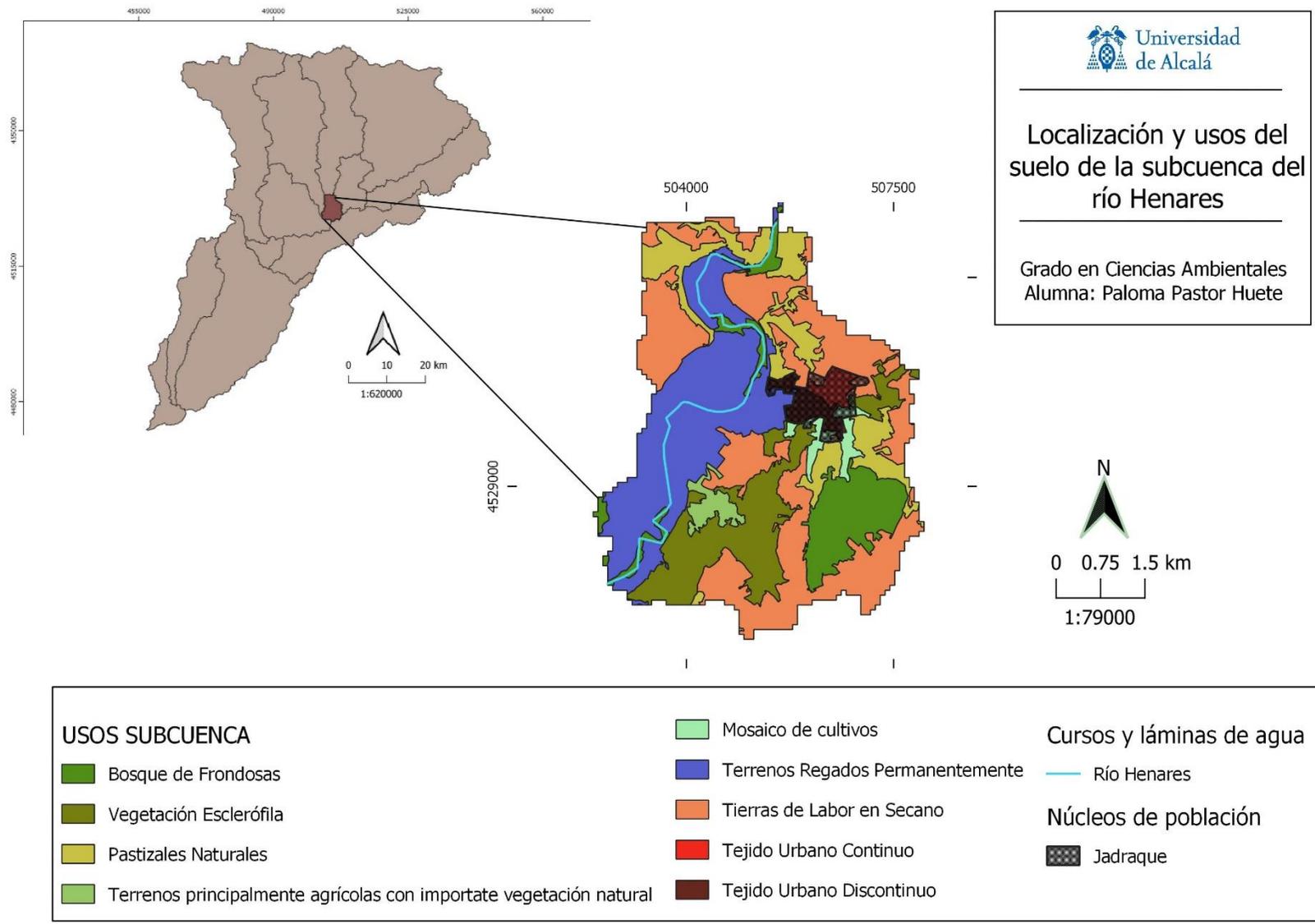
- Ríos principales
- Embalses



Riesgo de erosión real
en la cuenca hidrográfica
del río Henares

Grado en Ciencias Ambientales
Alumna: Paloma Pastor Huete

● ANEXO IX: LOCALIZACIÓN Y USOS DEL SUELO DE LA SUBCUENCA



• ANEXO X: SITUACIONES DE GESTIÓN DE LA SUBCUENCA

