



UVa

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**CARTOGRAFÍA EN AMBIENTES
FLUVIALES.
MAPA GEOMORFOLÓGICO
A ESCALA 1:25.000
DE TUDELA DE DUERO
Y SU ENTORNO**

GRADO EN GEOGRAFÍA Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Virginia Noël Fernández Cano

Dirigido por Dr. Enrique Serrano Cañadas

geografía



TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción	3
2. Zona de estudio.....	5
2.1. Marco geológico	6
2.2. Clima	7
2.3. Vegetación	9
2.4. Usos del suelo	10
3. Metodología.....	12
3.1. La leyenda.....	12
3.1.1. Sistemas cartográficos	12
3.1.2. Representación de los elementos.....	13
3.2. La utilización de SIG como herramienta principal	15
4. El relieve.....	22
4.1. Unidades tectosedimentarias.....	22
4.2. Morfoestructuras.....	23
5.2.1. Plataforma estructural	24
5.2.2. Laderas de las plataformas estructurales.....	24
5.2.3. Valles.....	25
5.2.4. Cerros testigo.....	26
5.2.5. Anteceros	27
6. El modelado	28
6.2. Modelado fluvial	28
6.2.1. El cauce fluvial	29
6.2.2. Llanura de inundación.....	31
6.2.3. Las terrazas fluviales	32

6.2.4. Paleocauces	35
6.3. Modelado de laderas	38
6.4. Kárstico	38
6.5. Modelado dunar.....	41
7. Evolución geomorfológica	42
8. Mapa geomorfológico de Tudela de Duero.....	44
9. Bibliografía.....	45

1. Introducción

Este trabajo es la memoria del mapa geomorfológico del valle del Duero en Tudela de Duero. Teniendo en cuenta la ausencia de mapas geomorfológicos de detalle del área, que podrían ser aplicados para estudios de riesgo, queda justificada la realización de este mapa y su memoria. Existe un mapa geomorfológico nacional a escala 1:1.000.000 pero que no alcanza el nivel de detalle necesario para una aplicación del mapa (Figura 2).

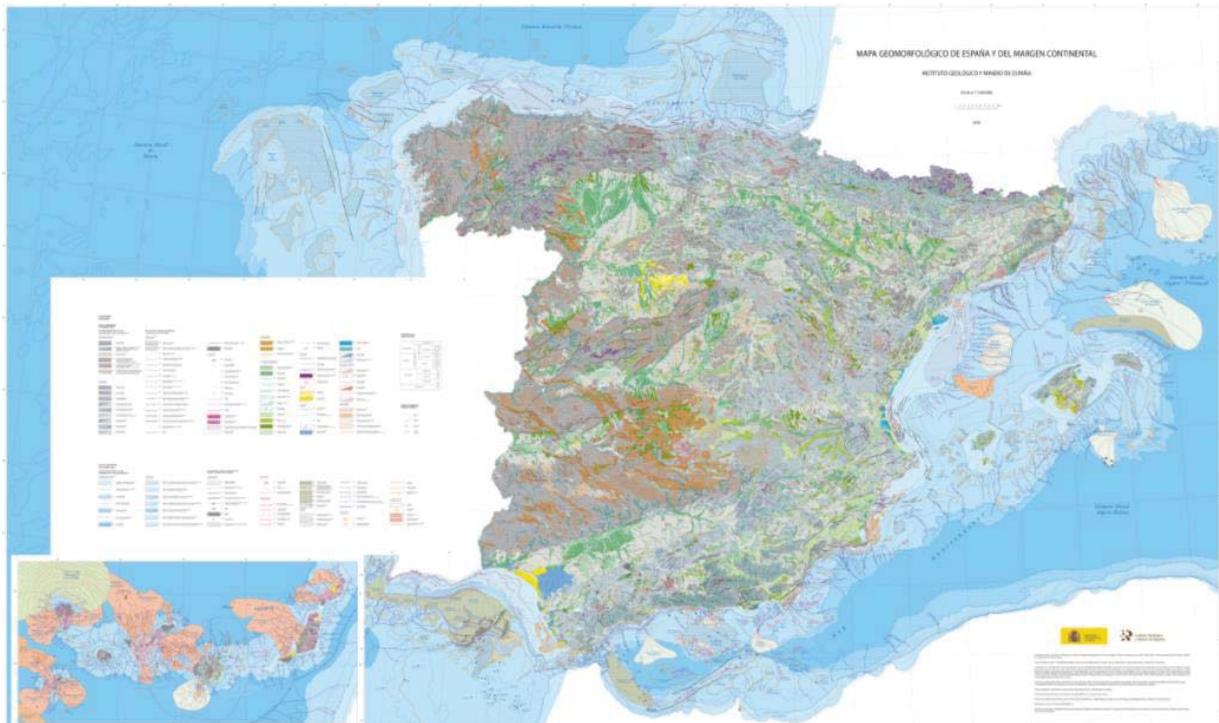


FIGURA 1: MAPA GEOMORFOLÓGICO NACIONAL A ESCALA 1:1.000.000 (IGME, 2005).

También, existe un mapa geomorfológico del área, publicado en la Memoria del Mapa geológico de España (del Olmo *et al.*, 1982) pero que no alcanza el nivel de detalle necesario para una aplicación del mapa al ser a escala 1:50.000 (Figura 2).

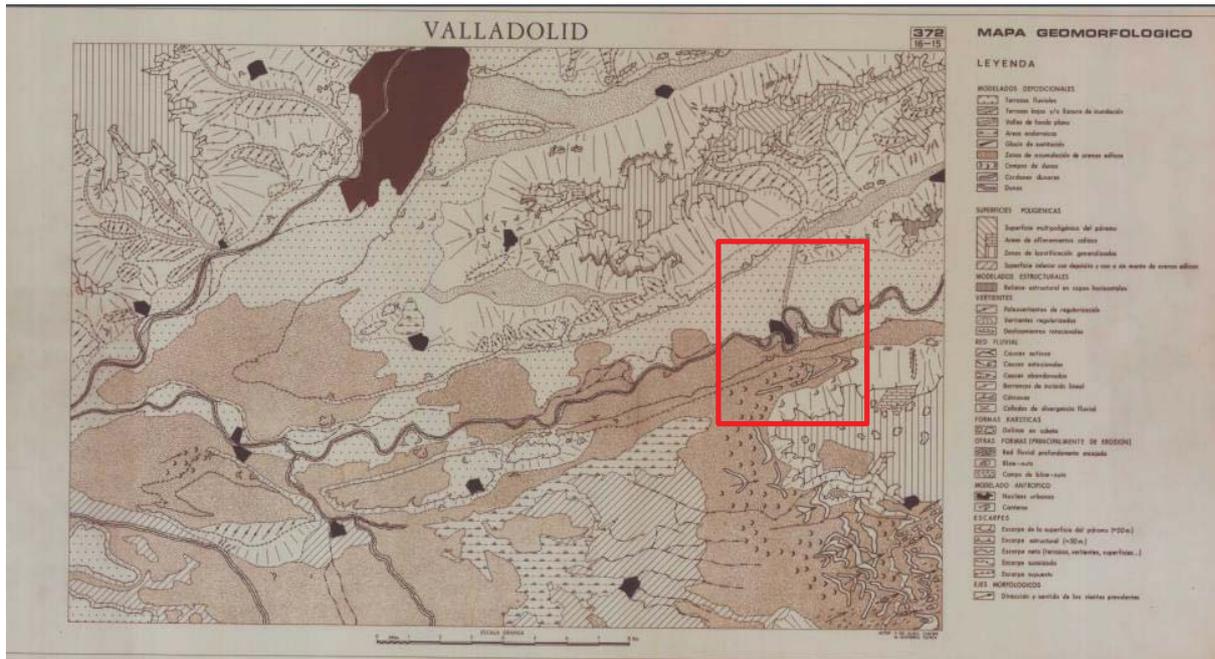


FIGURA 2: MAPA GEOMORFOLÓGICO EN LA MEMORIA DEL MAPA GEOLÓGICO 372 (DEL OLMO *et al.*, 1982). EN ROJO, EL ÁREA DE ESTUDIO DE ESE TRABAJO.

2. Zona de estudio

La zona de estudio es el valle fluvial en el que está emplazado el municipio de Tudela de Duero. Dicho valle esta esculpido por el río Duero antes de la desembocadura de su afluente, el río Pisuerga.

La delimitación elegida para este trabajo (Figura 3) ha incluido parte de la superficie del páramo de La Parrilla por el sur. Por el noreste el cerro de La Mambla y por el noroeste las estribaciones del Páramo del Perdigón.

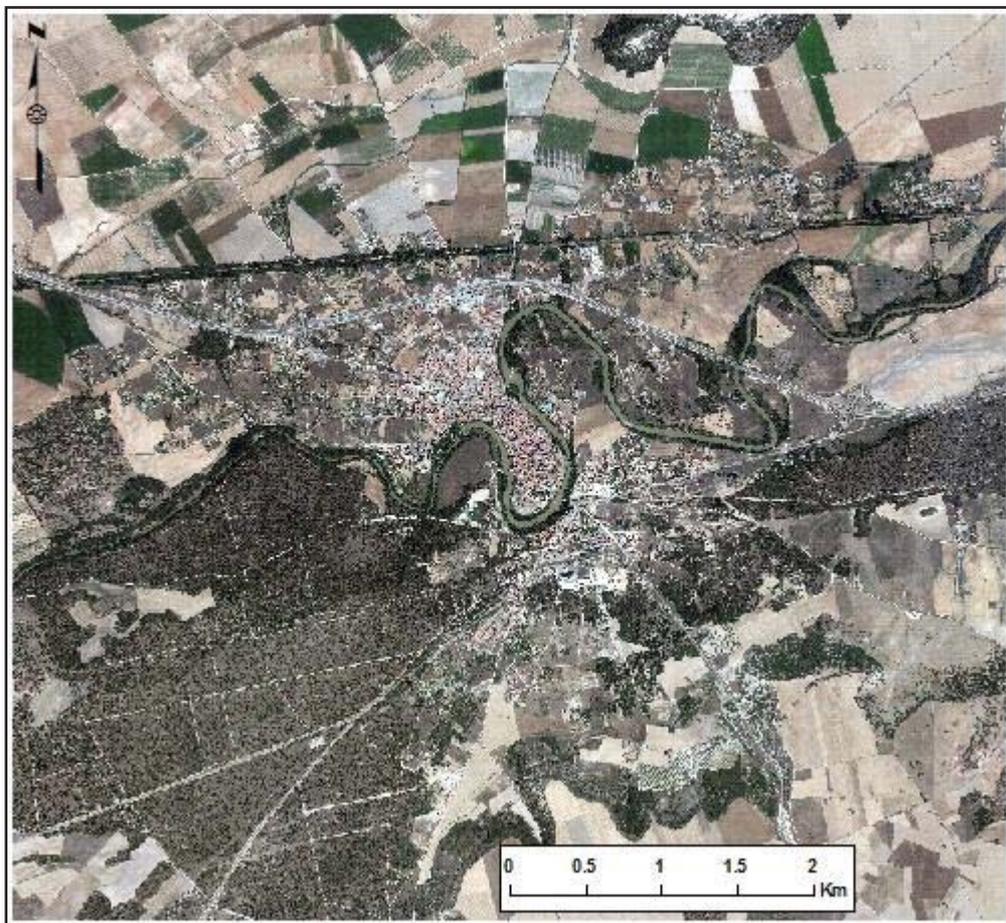


FIGURA 3: ORTOFOTOGRAFÍA DEL ÁREA DE ESTUDIO.

2.1. Marco geológico

La cuenca del Duero es la cuenca Cenozoica más grande de la Península Ibérica, con casi 50.000km² (Santisteban *et al.*, 1996).

Los materiales más comunes son siliciclásticos (rocas clásticas sin carbonatos de alto contenido en silíceo) en texturas que van desde las gravas a las arcillas. Dependen altamente de sus áreas fuente: la composición de los elementos con área fuente en el norte y el este es lítica, mientras que las derivadas desde el sur y suroeste van desde arcósicas a líticas.

Los carbonatos también están bien representados con los volúmenes más grandes en el centro de la cuenca (incluyendo el área de estudio). Las evaporitas se dan solamente en la mitad este de la cuenca, principalmente hacia el centro y noreste.

Los modelos de la cuenca muestran una distribución de las facies en forma de ojo de toro (Santisteban *et al.*, 1996), con conos de deyección en la periferia de la cuenca y ambientes lacustres en el centro. Con estos modelos se interpreta que la cuenca era endorreica hasta época Plio-Cuaternaria.

Durante el Mesozoico, el área que ocupaba la Cuenca del Duero era marina abierta hacia el norte y el este. El resto era terrestre, bajo un régimen extensional. Al sur estaba el Macizo Hespérico, que abastecía de sedimentos a la cuenca bajo un clima tropical que llegó a generar perfiles lateríticos.

Al final del Paleoceno comenzó la fase compresional conocida como la Orogenia Alpina, causando el levantamiento de los bordes de la cuenca y la regresión de los ambientes marinos hacia el noroeste. Esta fase supuso la progresión de sistemas aluviales hacia el centro de la cuenca (Alonso-Gavilán *et al.*, 2004). La forma de la cuenca cambió acentuadamente, pasando de un paisaje más plano a tener un sistema más o menos ordenado de canales que se dirigían a un río principal en el centro de la cuenca.

En el Neógeno comenzó a darse una modificación a largo plazo, cuando la red fluvial de vertiente Atlántica comenzó a capturar algunos de los sistemas fluviales endorreicos del suroeste de la Cuenca (Santisteban *et al.*, 1996). La incisión resultante de estos nuevos ríos exorreicos inició el proceso de drenaje de la cuenca y la evacuación de grandes volúmenes de sedimentos en el Océano Atlántico.

Mientras tanto, las subsidencias relacionadas con las fallas, favorecieron la continuidad de deposiciones lacustres en el centro y noreste de la cuenca, que seguía siendo endorreica

(Santistebanet *et al.*, 1996). En los bordes de la cuenca, sobretodo en el noreste, había abanicos aluviales que alimentaban los sistemas fluviales conectados con los lagos centrales.

Durante un tiempo, coexistieron los sistemas lacustres y la red fluvial, hasta que el drenaje de la cuenca capturó y guió la parte este de la cuenta al Atlántico mediante un río Duero Ancestral (Santistebanet *et al.*, 1996), dando terminada la fase de endorreísmo.

2.2. Clima

Los datos de los que se dispone para realizar el estudio son los correspondientes a Valladolid. Teniendo en cuenta la cercanía y el relieve, considero que la realidad climática de Valladolid no es muy distinta de la porción de la cuenca del Duero de Tudela de Duero.

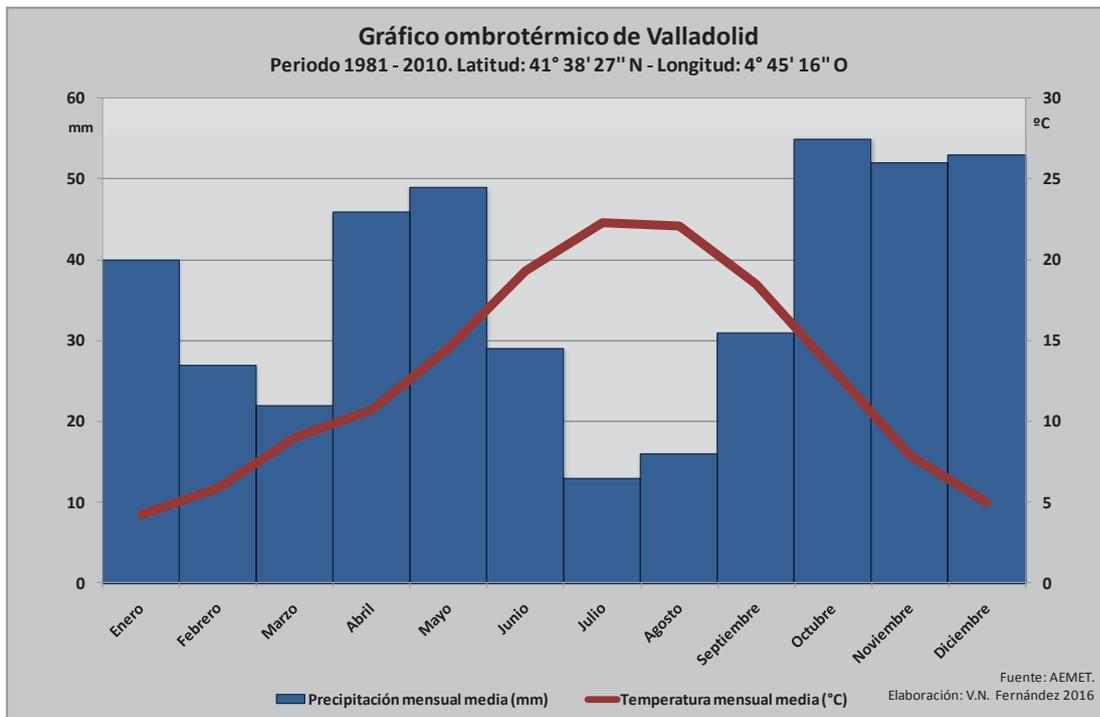


FIGURA 4: GÁFICO OMBROTÉRMICO DE VALLADOLID.

	Datos de Valladolid para el periodo 1981-2010												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Anual
Precipitación mensual media (mm)	40,0	27,0	22,0	46,0	49,0	29,0	13,0	16,0	31,0	55,0	52,0	53,0	433,0
Humedad relativa media (%)	83,0	72,0	62,0	62,0	60,0	52,0	45,0	48,0	56,0	70,0	79,0	84,0	64,0
Número medio mensual de días de precipitación superior o igual a 1 mm	6,3	5,2	4,8	7,8	7,9	4,5	2,1	2,3	4,3	7,5	7,1	7,7	67,7
Número medio mensual de días de nieve	3,0	2,1	0,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,4	8,8
Número medio mensual de días de tormenta	0,0	0,1	0,2	1,4	3,6	3,6	2,9	2,6	1,8	0,7	0,1	0,0	17,5

FUENTE: AEMET

TABLA 1: DATOS DE HUMEDAD Y PRECIPITACIÓN.

El clima de Tudela de Duero podemos definirlo como "mediterráneo de interior", es decir, mediterráneo por el ritmo y cuantía de las precipitaciones (unos 433 mm anuales), un ritmo definido sobre todo por la escasez de precipitaciones durante los meses de julio a septiembre (Figura 4), que dan lugar a una acusada aridez estival. Y mediterráneo también por la relativa escasez del total de precipitación anual media recogida. Incluso en los meses más lluviosos, no llueve más de 10 días al mes (Tabla 1). Las precipitaciones en forma de nieve son escasísimas, dándose menos de 10 días al año.

	Datos de Valladolid para el periodo 1981-2010												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Anual
Temperatura mensual media (°C)	4,20	5,90	9,00	10,70	14,50	19,30	22,30	22,10	18,50	13,20	7,90	5,00	12,7
Media mensual de las temperaturas máximas diarias (°C)	8,2	11,2	15,2	16,9	21,0	27,0	30,7	30,1	25,6	18,9	12,4	8,6	18,8
Media mensual de las temperaturas mínimas diarias (°C)	0,2	0,7	2,8	4,6	7,9	11,6	14,0	14,1	11,3	7,6	3,5	1,3	6,6

FUENTE: AEMET

TABLA 2: DATOS DE TEMPERATURAS.

Pero estamos ante un clima mediterráneo con un matiz frío. La temperatura anual media (Tabla 2) es de 12,7°C, con una media de máximas diarias de 18,8°C pero una media de las mínimas de 6,6°C. El periodo en el que hay días de heladas de 7 meses. Se dan 5 meses con medias por debajo de los 10°C. Este matiz frío se debe a la localización en el interior de la Península Ibérica, alejado y aislado de las influencias marinas, y a una elevada altitud (en torno a 700m).

	Datos de Valladolid para el período 1981-2010												
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiem.	Octubre	Noviem.	Diciem.	Anual
Número medio mensual de días de niebla	10,4	3,7	1,6	0,9	0,9	0,6	0,3	0,2	0,9	3,0	7,1	9,2	39,8
Número medio mensual de días de helada	15,9	12,8	6,7	2,3	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	5,8	12,4	56,2
Número medio mensual de días despejados	3,5	4,3	6,0	3,9	3,5	7,8	14,1	11,8	7,5	4,2	3,5	3,2	72,8
Número medio mensual de horas de sol	101,0	147,0	215,0	232,0	272,0	322,0	363,0	334,0	254,0	182,0	117,0	89,0	2624,0

FUENTE: AEMET

TABLA 3: DATOS REFERENTES A LAS NIEBLAS.

Las nieblas son características en Valladolid capital aunque también en la provincia en general, teniendo casi 40 días de nieblas en la zona.

2.3. Vegetación

La vegetación “natural” esta constituida por restos dispersos de vegetación arbórea y arbustiva, reducidos básicamente a los límites entre parcelas agrícolas, y a los espacios no aprovechables por la agricultura (laderas de los páramos, en su parte más escarpada). En estos lindes entre parcelas agrícolas, encontramos *Quercus rotundifolia* y *Quercus faginea* (quejigo) en el Páramo de La Parrilla. En las laderas del mismo páramo también hay quejigo (DOTVANET 1998) y *Pinus halepensis* (pino carrasco).

Destaca un espacio de vegetación natural mejor conservada y de mayor continuidad: el bosque-galería de las orillas del río Duero. Encontramos especies como *Salix alba*, *Alnus glutinosa*, *Fraxinus angustifolia*. Algo parecido a este bosque-galería, pero de origen totalmente antrópico, es la doble cinta de vegetación arbórea y arbustiva que flanquea el canal del Duero.

Finalmente, vamos a considerar como vegetación natural también la principal masa arbórea de toda la zona: el pinar que recubre el manto de arenas eólicas. Se trata de un pinar intensamente antropizado (aprovechado durante siglos para resina y piñón) pero casi abandonado desde hace décadas y muy naturalizado por su evolución, lo que confiere un importante valor como masa de vegetación “natural” por su extensión y continuidad. Estos pinares están poblados por *Pinus pinea* (pino piñonero) y en menor medida *Pinus pinaster* (pino resinero). También algunos quejigos. Dichas especies son autóctonas, pero lo que vemos hoy día es resultado de la selección de especies más lucrativas y de repoblación, como es el caso de los pinos (Allué *et al.*, 1995)

2.4. Usos del suelo

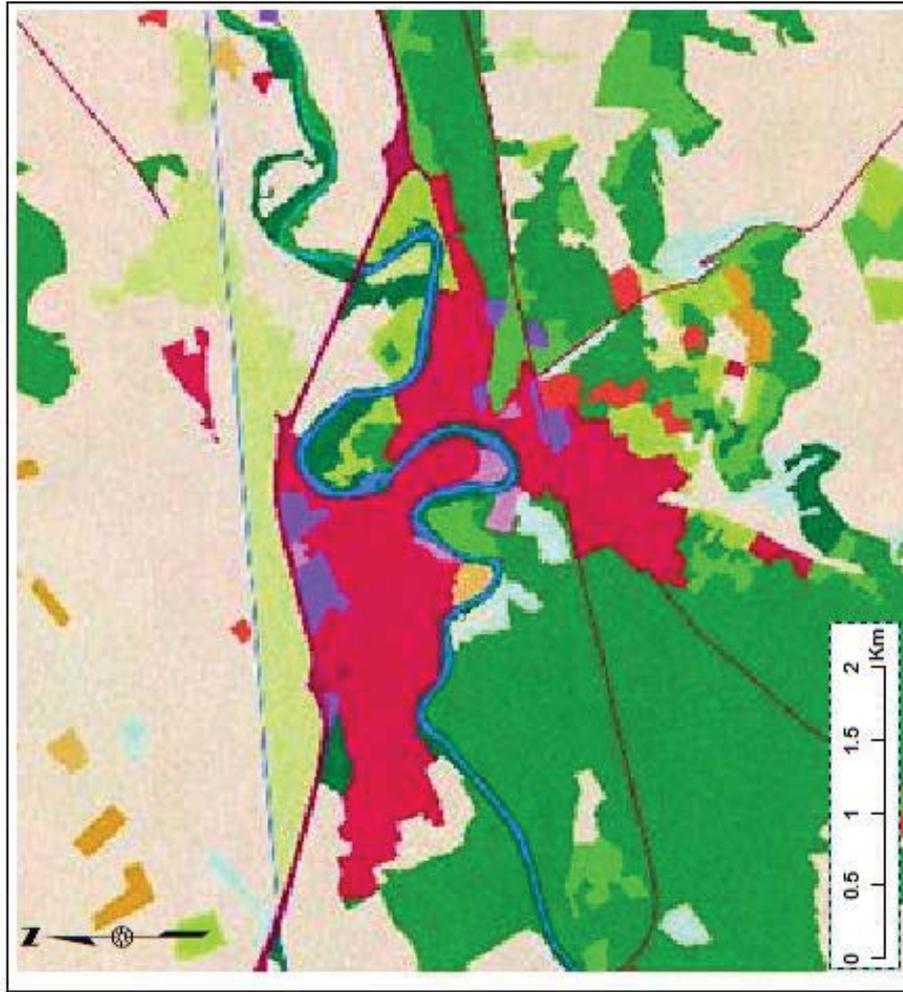


FIGURA 5: MAPA DE USOS DE SUELO. FUENTE: SIOSE.

De un primer vistazo a los usos del suelo actuales (Figura 5), según el proyecto CORINE Land Cover, hay tres manchas que predominan por encima de las demás. Estas son las correspondientes a usos urbanos, bosques naturales y zonas agrícolas mixtas.

La mancha predominante para suelos urbanos es el de urbano continuo, que corresponde con la mayor densidad en edificación, toda en torno al meandro del Duero. También hay urbano discontinuo, sobretodo en el sur, correspondiente a asentamientos más o menos dispersos.

La mancha de zonas agrícolas mixtas supone buena parte del carácter cerealista y hortícola que ha tenido Tudela a lo largo de su historia, cuya variedad se puede apreciar en la Figura 6.

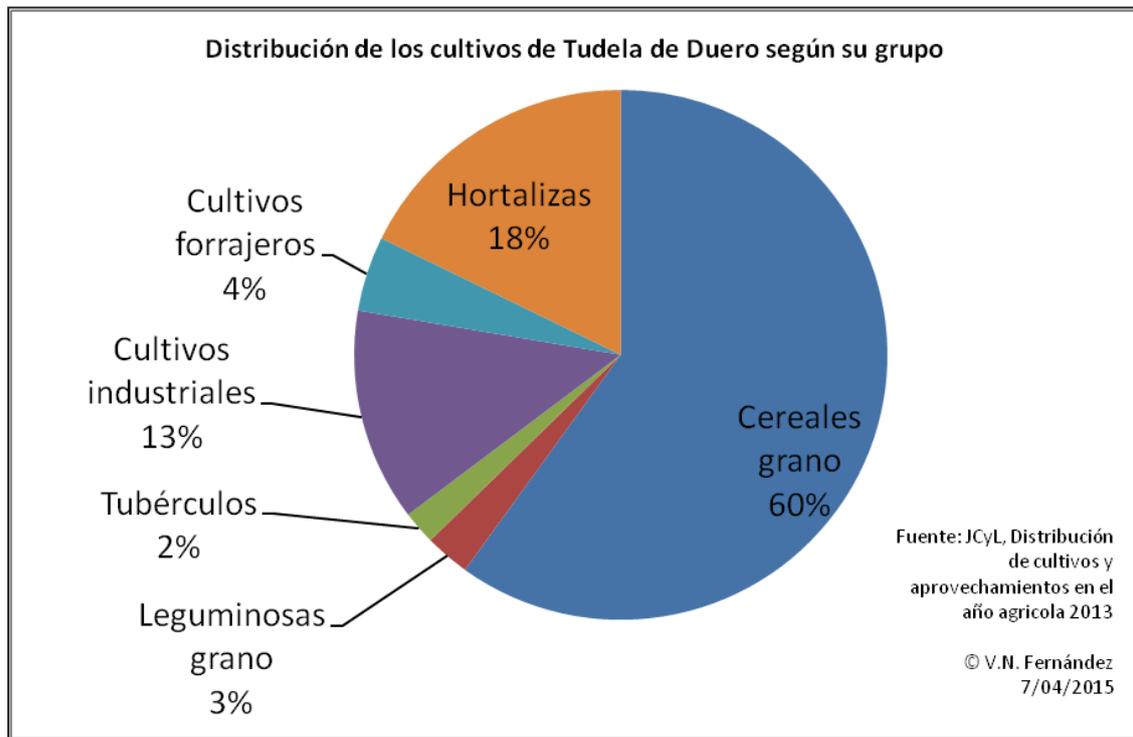


FIGURA 6: DISTRIBUCIÓN DE LOS CULTIVOS DE TUDELA DE DUERO SEGÚN SU GRUPO.

3. Metodología

Ha sido necesario documentarse sobre la elaboración de mapas geomorfológicos para decidir la manera más aceptada de representar los elementos. También se explicará la herramienta utilizada para gestionar toda la información.

3.1. La leyenda

Se ha dado un repaso de los variados sistemas cartográficos para definir como es la mejor trama de colores y formas para un mapa geomorfológico fluvial para ambientes fluviales a una escala 1:25.000. Esta selección de entramado y colores ha intentado, en la medida de lo posible, ser intuitiva, pero cumpliendo siempre con las normas aceptadas en la Geomorfología internacional.

3.1.1. Sistemas cartográficos

Existen diferentes sistemas cartográficos desarrollados para la elaboración de mapas geomorfológicos desde los años 50 del siglo XX, cuando se desarrolla el sistema geomorfológico polaco (Peña Monné, 1997). Los sistemas cartográficos utilizan diferentes capas de información, símbolos, tramas y colores para representar el relieve.

El sistema francés del profesor Tricart ha sido el más utilizado, con una orientación morfogenética, representando el origen de las formas de relieve. El sistema alemán es principalmente morfográfico, representando de una forma compleja la energía del relieve. Otros sistemas se centran en los procesos y la estructura como el sistema suizo. El sistema cartográfico mejor adaptado a la morfología fluvial y áreas llanas es el sistema I.T.C. holandés, desarrollado por Verstappen y Zuidam (Peña Monné, 1997).

En los 90 se desarrollan sistemas cartográficos que aúnan las diferentes características de los anteriores. Así, se desarrolla el SC¹, de la Sociedad Española de Geomorfología (SEG) que se inspira en la conexión entre el SC holandés y el francés. El IGUL (Instituto de Geografía de la Universidad de Lausanne) desarrolla un SC que aúna los principios del francés y del suizo (Peña Moné, 1997).

¹ Sistema cartográfico

Todos los sistemas se basan en las capas de información y en la asignación de colores en función de las diferentes génesis (fluvial, glaciario, kárstico, laderas, etc.), muchas de ellas aceptadas e incorporadas en este trabajo. El desarrollo de los SIG ha permitido su aplicación a la cartografía geomorfológica, lo cual ha sido de suma importancia en la interpretación y representación de las formas de la superficie terrestre.

3.1.2. Representación de los elementos



FIGURA 7: LEYENDA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.

En el mapa hay representados 29 elementos como podemos ver en las Figuras de la 14 a la 19. Se ha elegido adaptar las representaciones desde los sistemas cartográficos francés y holandés por ser un área fluvial plana.

Los elementos estructurales (Figura 7) han sido representados con colores naranja-arena claros por su tamaño y el impacto visual que podrían tener si se representaran con colores oscuros. El mayor escarpe de la hoja, que es el del Páramo de "La Parrilla", se ha representado con flechas pequeñas, para acentuar visualmente la energía del relieve. Para otros elementos que resaltan, como las laderas de los páramos o los cerros testigos, se ha elegido poner líneas que den la sensación de "abultamiento" o subida en altura. Lo mismo se ha hecho para los anteceros, pero directamente en sus laderas, para no confundirlos con los cerros testigo.

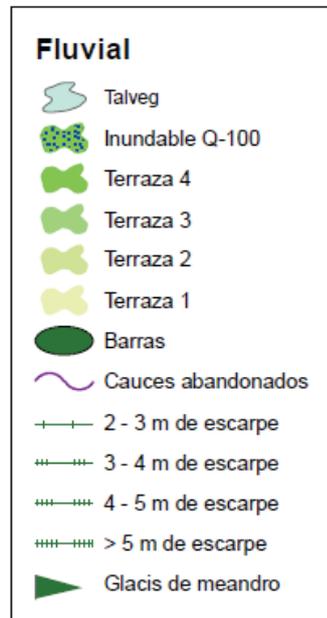


FIGURA 8: LEYENDA DE LOS ELEMENTOS DE GÉNESIS FLUVIAL

Lo fluvial (Figura 8) se ha representado con distintos tonos de verde (Pellicer Corellano, 1997), exceptuando el Talweg y los cauces abandonados. En los sistemas cartográficos el talweg se representa en azul, dado que ponerlo de verde daría la sensación de área encharcadiza o cauce estacional más que de sección mojada de un río. Los cauces abandonados se confundirían con los escarpes de terraza si también estuvieran en verde.

El área inundable se representa en verde con una trama de puntitos de un verde más oscuro. El color y la trama dan la sensación de área encharcadiza, y aunque la definición de "área inundable" no es

sinónimo de encharcadiza, se entiende muy bien que el agua puede llegar allí.

Las terrazas simplemente se han representado con verdes desde uno mas oscuro para la terraza mas reciente hasta el mas claro para la terraza mas antigua. El color verde oscuro da la sensación de mayor vegetación por tener agua cerca, por lo que la trama es muy intuitiva.

Los glaciares de meandro y las barras se representan en el mismo color oscuro aunque se distinguen muy bien por la forma. En el caso de los glaciares de meandro, la parte ancha del triangulo se orienta hacia la parte baja del meandro.

Los escarpes de terraza se han representado en el mismo verde pero con diferente número de palitos dependiendo de los metros del escarpe que marquen.



FIGURA 9: LEYENDA DE LOS ELEMENTOS MODIFICADOS O CONSTRUIDOS POR EL SER HUMANO.

Los elementos antrópicos (Figura 9) se han representado en diferentes tonos de gris. Concretamente al poblamiento se le ha dado una transparencia del 50% para que se distinguieran las terrazas por debajo.

Los canales artificiales se representan en un azul diferente al del talweg con el borde gris porque cualquier otro tono de gris podría confundirse con otro tipo de vías rodadas.



FIGURA 10: LEYENDA DE LOS ELEMENTOS CON DINÁMICA DE LADERAS.

La dinámica de laderas (Figura 10) se ha representado en tonos marrones con líneas que representan el cambio de altura y su estabilidad. Todo el área de estudio tiene las laderas regularizadas, por ser muy antiguas, pero este hecho se representa igualmente con estas líneas.



FIGURA 11: LEYENDA CON LOS ELEMENTOS KÁRSTICOS.

El karst (Figura 11) se representa con tonos azules, como se hace convencionalmente. Las dolinas tienen línea hacia dentro que responden a esa bajada en altura que se nota sobre el terreno. Las surgencias se representan con ese símbolo convencionalmente.

Lo eólico (Figura 12) también se ha representado en un color intuitivo como es el amarillo. El manto eólico se ha con un borde amarillo y un entramado naranja y transparente dejar ver las terrazas de debajo. Las dunas tienen el mismo tono con una línea naranja que representa su cumbre, aunque hay es difícil de ver sobre el terreno debido a la fosilización (ya no mala conservación de las dunas).



FIGURA 12:
LEYENDA CON
LOS ELEMENTOS
CON DINÁMICA
EÓLICA.

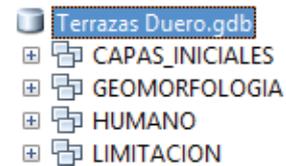
convencional e representado para poder de amarillo y que decir que se desplazan) y

3.2. La utilización de SIG como herramienta principal

El mapa se hará dibujando sobre capas georreferenciadas con el software ArcGIS. A continuación se explica el procedimiento a grandes rasgos.

En una GDB abro varios dataset de entidades:

- **CAPAS INICIALES:** Capas con las que voy a trabajar. Están bajadas de organismos oficiales y sin editar.
- **GEOMORFOLOGÍA:** Aquí se irán metiendo las capas que se vayan creando, como las de terrazas o relieve kárstico.
- **HUMANO:** Aquí se meterán las capas de elementos antrópicos
- **LIMITACIÓN:** Será el dataset donde vaya el recuadro georreferenciado que delimite la zona de estudio.



El estudio geomorfológico se hará a partir de las capas que se expondrán a continuación.

1. Ortofotografía aérea (ver Figura 3)
2. Modelos digitales del terreno

Se elige hacer un MDT a partir del ráster de la zona que ofrece el IGN, con un valor Z de 1 m para poder conseguir la mejor resolución posible en altura. Se elige una escala de verdes para la altitud, dado que se ven mejor los cambios de relieve y las sombras que si estuviera en una escala de grises (Figura 13).

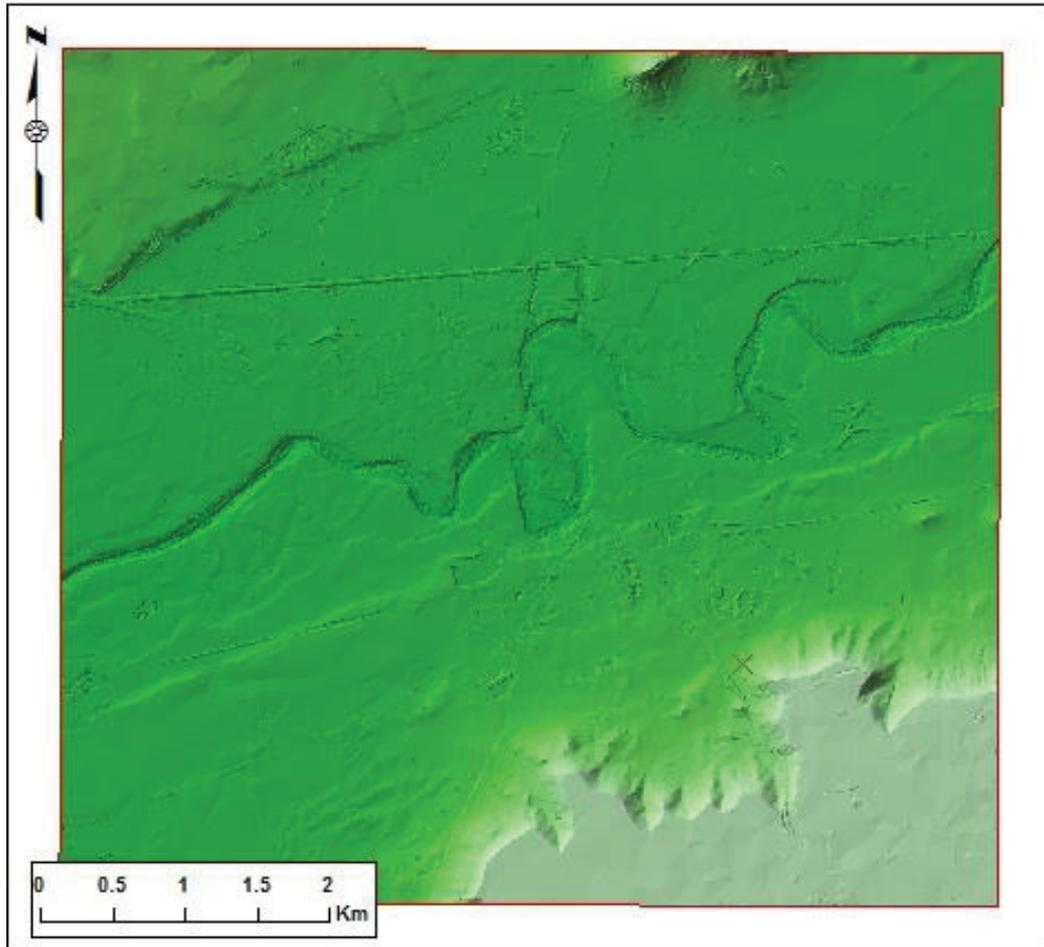


FIGURA 13: MODELO DIGITAL DEL TERRENO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Al ser un relieve fluvial tan plano, exceptuado los cerros y el páramo, y puesto que este es un trabajo para estudiar principalmente las terrazas, se decide exagerar por 3,5 la escala Z para que los saltos de terrazas sean más visibles. En las figuras 14, 15 y 16 se muestra el detalle de cómo queda esta exageración de 3,5.

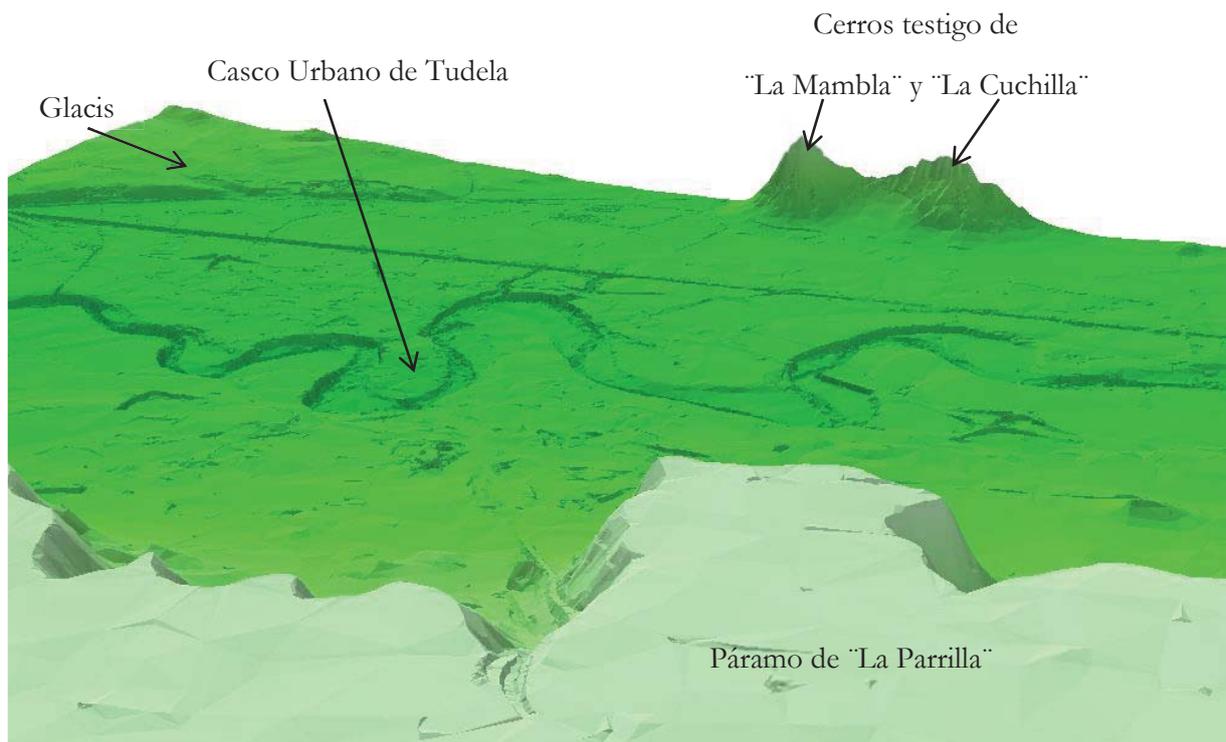


FIGURA 14: MODELO DIGITAL DEL TERRENO VISTO DESDE EL S.E.

En este detalle del MDT (Figura 14) con vista desde el páramo de La Parrilla, se pueden apreciar los "escalones" de la sección mojada, la zona inundable y el comienzo del glacis.

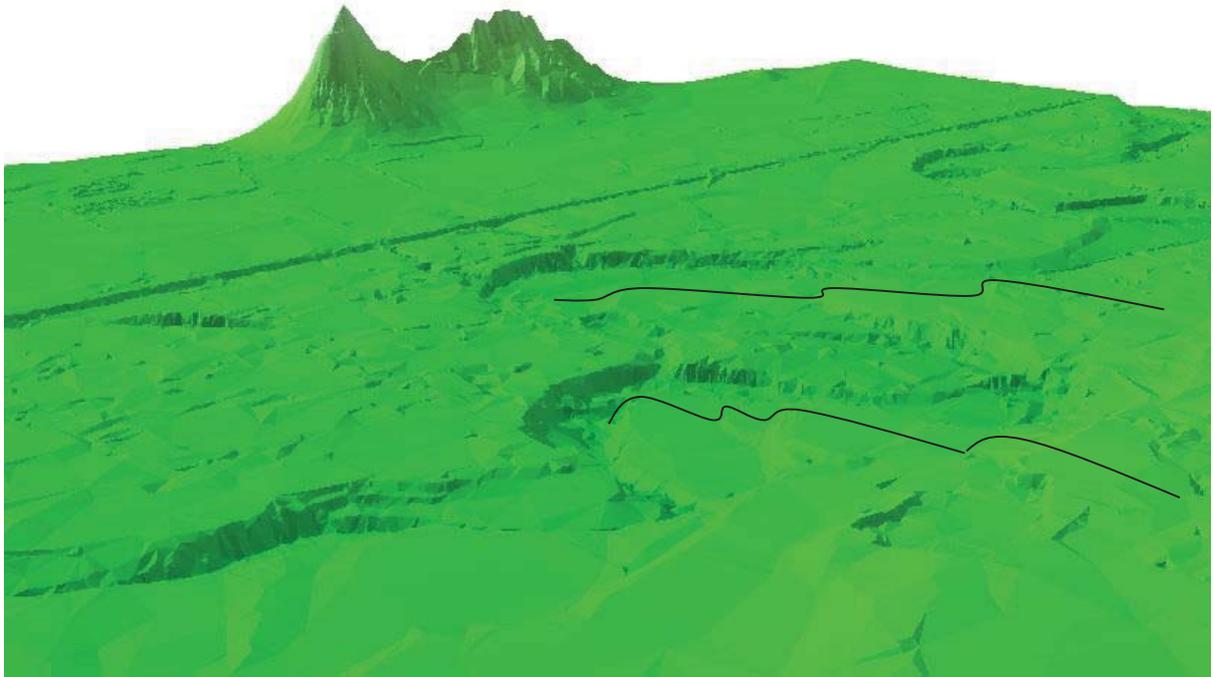


FIGURA 15: MODELO DIGITAL DEL TERRENO VISTO DESDE EL S.O.

En este otro detalle (Figura 15) es apreciable el escalón (glacis de meandro) de las terrazas más cercanas al cauce. Las líneas en negro marcan los glacis de meandro.

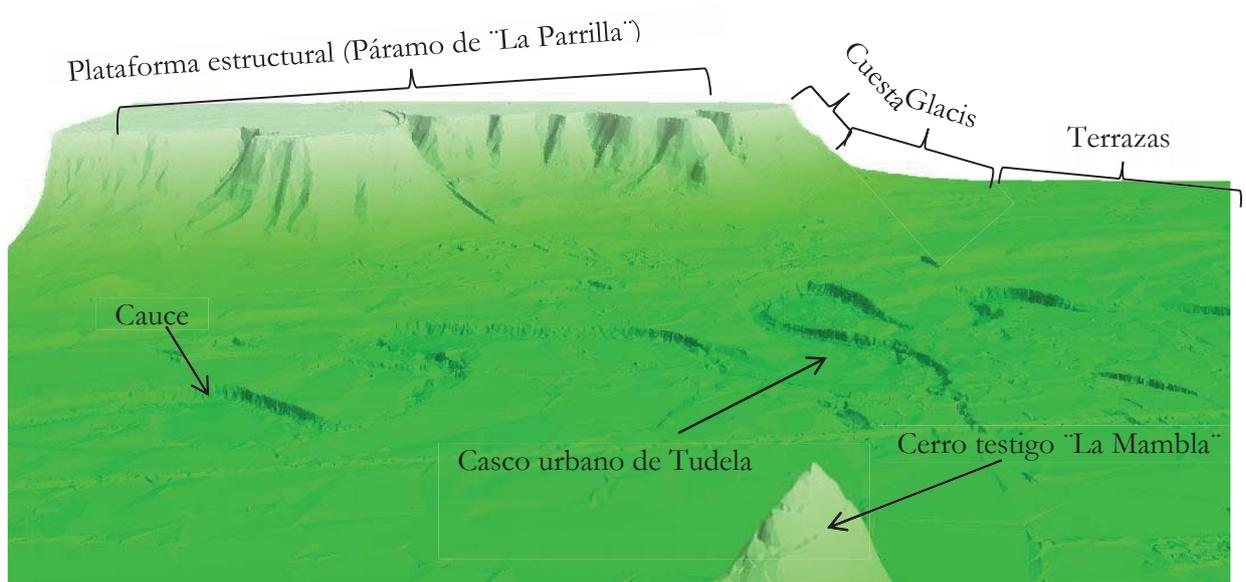


FIGURA 16: MODELO DIGITAL DEL TERRENO VISTO DESDE EL N.

Desde esta vista desde la mambla (Figura 16) también se pueden apreciar los cambios de las últimas terrazas, meandros y el glacis del Páramo de La Parrilla.

3. Capa de pendientes

Esta capa es especialmente útil para detectar los aprovechamientos mineros antiguos y modernos, que se localizan en varios puntos del área de estudio.

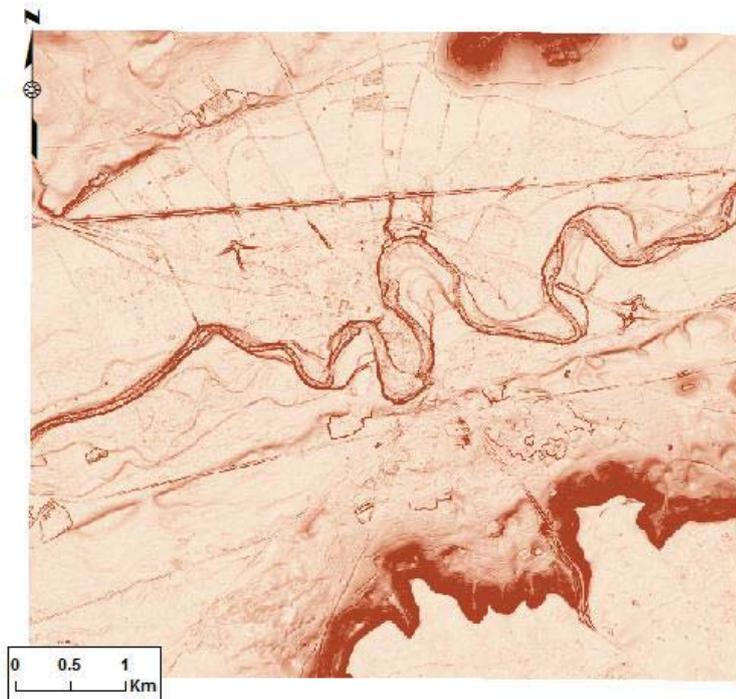


FIGURA 17: CAPA DE PENDIENTES DEL ÁREA DE ESTUDIO.

4. Usos de suelo del SIOSE (Ver Figura 5 en punto 2.4)

5. Capas de curvas de nivel de 1m, 5m, 10m y 100m hechas a partir de los MDT

Se muestran distintas capas con distinta visualización de las curvas de nivel (Figura 18). Así, las curvas que van de 100 en 100 se ven más gruesas que las van de 10 en 10.

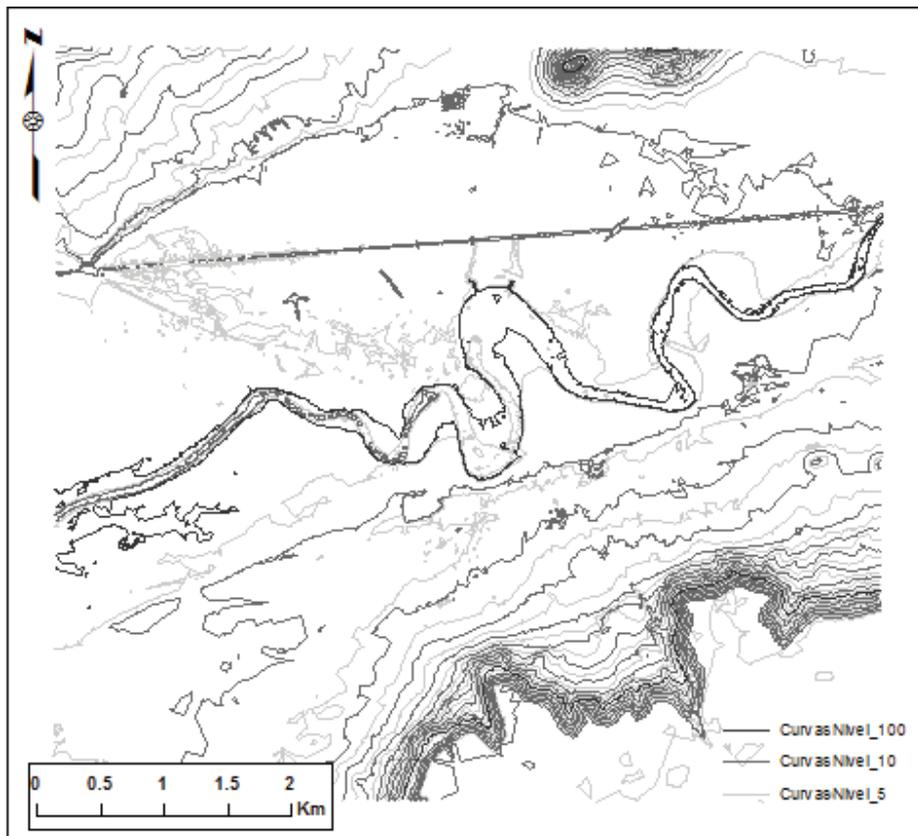


FIGURA 18: CURVAS DE NIVEL PARA EL ÁREA DE ESTUDIO.

Sin embargo, la diferencia de altitud desde el glacis hasta el área inundable es inferior a 5 metros, por lo que fue necesario crear una capa que fuese de metro a metro (Figura 19). Esta capa empasta las cuestas de las plataformas estructurales, por eso solo será usada para el análisis de las terrazas sin incluirla en el mapa definitivo. En el mapa geomorfológico se incluirá una capa de curvas de nivel de 50 en 50 m y otro pequeño de 5 en 5.

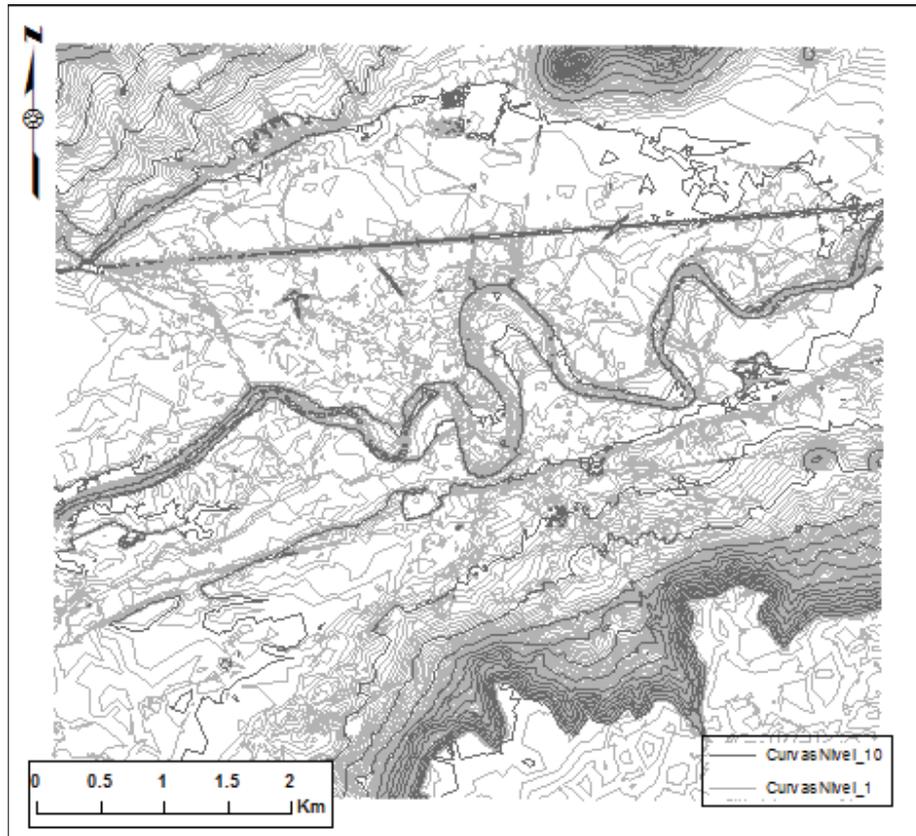


FIGURA 19: CURVAS DE NIVEL DE 10 EN 10 Y DE 1 EN 1 PARA EL ÁREA DE ESTUDIO. NÓTESE LA IMPORTANCIA DE ÉSTAS ÚLTIMAS PARA EL ANÁLISIS DE LAS TERRAZAS.

A estas capas hay que añadirles la identificación de las formas mediante trabajo de campo. Una vez reunida esta información, se utilizará la herramienta de geoprocésamiento "Clip" con las capas antes nombradas con la capa de delimitación, para así tener "recortada" el área de estudio y conseguir una mejor gestión y visualización durante toda la duración del proyecto.

Uniendo el trabajo antes citado de fotointerpretación, el trabajo de campo y representación con SIG, se han ido dibujando las diferentes formas del relieve: la sección mojada del río, la sección inundable (atendiendo a la avenida de 100 años), las terrazas, etc y también las principales construcciones como canteras, autovías o el Canal de Castilla.

4. El relieve

4.1. Unidades tectosedimentarias

Al tratarse de un relieve estructural propio de una cuenca sedimentaria, es necesario explicar las Unidades Tectosedimentarias² (Mediavilla *et al.*, 1996) para comprender el relieve del área de Tudela (Figura 20). Las TSU serán expuestas de la más antigua a la más reciente.

El sustrato sobre el que se asienta Tudela de Duero, el área de inundación y el cauce actual del río, es el más antiguo que podemos encontrar en la zona de estudio. Es Paleógeno y no aflora en ningún punto del mapa (Mediavilla, *et al.*, 1996).

La siguiente ya es la TSU 1. Se asienta desigualmente sobre sedimentación Paleógena en el entorno de la ciudad de Valladolid. Debido a estos cambios de facies, no aparece en la zona de estudio.

La siguiente TSU que encontramos en la zona de estudio es la TSU 2 (Mediavilla *et al.*, 1996). En esta fase comienza a sobreponerse el exorreísmo al endorreísmo, por lo que es una TSU fluvio-palustre. En el área de estudio aflora como la *facies Tierra de Campos*, compuesta por margas, arcillas, calizas, fangos ocres y paleocanales de arena (del Olmo *et al.*, 1982). Fue depositada en condiciones cálidas y secas (Mediavilla *et al.*, 1996).

Sobre ésta, descansa la TSU 3 que aflora en las cuestas de los páramos. Corresponde con la mayor expansión lacustre y un desplazamiento de los sistemas fluviales (Mediavilla *et al.*, 1996). En el centro de la cuenca del Duero (incluyendo el área de estudio de Tudela de Duero) la sedimentación fue eminentemente química formada por carbonatos y evaporitas. En el área de estudio, la TSU 3 aflora como la *facies de las Cuestas*, formada por fangos oscuros, arcillas calcáreo-limolíticas grises, calizas, dolomías, pero sobre todo margas, yesos y arcillas (Mediavilla *et al.*, 1996; Corrochano y Armenteros, 1989). Las condiciones climáticas eran húmedas y algo cálidas.

² En adelante TSU, siglas en inglés de Tectosedimentary Units.

La TSU 4 la encontramos en los páramos. Es una unidad compleja, compuesta por tres ciclos sedimentarios: (1) progresión de ambientes aluviales sobre los lacustres, (2) expansión de lo lacustre y (3) progresión final de facies carbonáticas hacia las áreas lacustres centrales (Mediavilla *et al.*, 1996). En el área de estudio está representada por el final de la *facies de Cuestas* y por la *Superficie del Páramo*. Están formadas principalmente por calizas, margas, limos arenosos y costras. Las condiciones climáticas fueron progresivamente secas y progresivamente más húmedas (Mediavilla *et al.*, 1996).

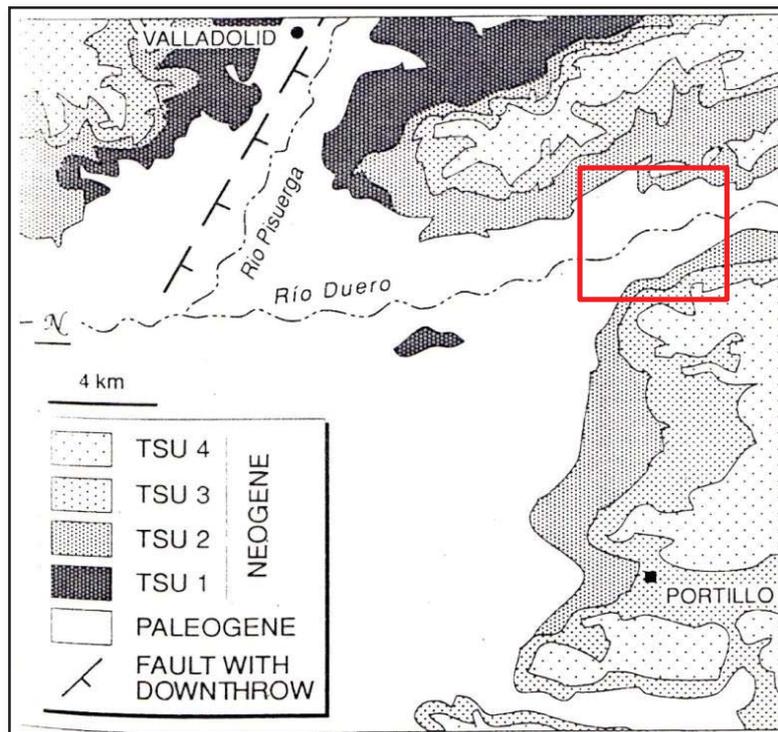


FIGURA 20: UNIDADES TECTOSEDIMENTARIAS. EN ROJO, EL ÁREA DE ESTUDIO. FUENTE: MEDIAVILLA *et al.*, 1996.

4.2. Morfoestructuras

Las morfoestructuras del área de estudio son características del relieve tabular: plataformas estructurales, cerros testigos y anteceros. Su génesis está en la erosión diferencial de materiales blandos (alternancia de margas, calizas, yesos, arcillas, etc) en disposición horizontal. La red fluvial va incidiendo y erosionando estos materiales, dando forma al relieve tabular que vemos en el valle de Tudela de Duero.

En la (Figura 21) se muestra un corte del área de estudio en el que es evidente la estratificación horizontal antes nombrada y la erosión fluvial de forma diferencial.

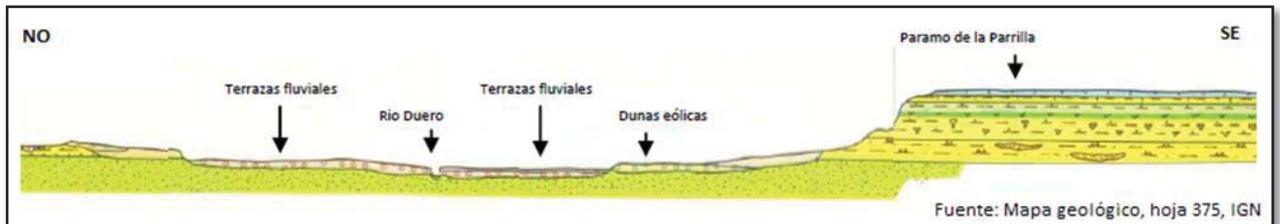


FIGURA 21: CORTE GEOLÓGICO DEL ÁREA DE ESTUDIO.

5.2.1. Plataforma estructural

Se puede definir una plataforma estructural (localmente llamada páramo) como una morfoestructura formada por estratigrafía horizontal y elevada del resto del espacio que las rodea. En el área de estudio tenemos el Páramo de "La Parrilla" al suroeste y las estribaciones del Páramo del "Perdigón".

En el Páramo de La Parrilla está el punto más alto de la zona de estudio, con 861 m.s.n.m.. Estos materiales son las calizas de la superficie del páramo, de época Miocena-Pliocena. Constituyen calizas grises blanquecinas del Vallesiense Superior, muy karstificadas y con grietas rellenas por "Terra rossa". Estas arcillas de descalcificación constituyen un recubrimiento generalizado sobre la formación caliza (del Olmo *et al.*, 1982).

5.2.2. Laderas de las plataformas estructurales

Son los laterales inclinados que unen la superficie de los páramos con el fondo de valle o con los glacis. En el caso de Tudela de Duero, las laderas, o cuestas, unen la superficie del páramo con los glacis.

El modelado fundamental que hay en el área de estudio son laderas regularizadas. Debido a esta regularización, las laderas están tapizadas por coluviones.

En el caso del Páramo de La Parrilla (Figura 22), está formado por cantos aristados con matriz limoarcillosa. En lo que respecta al Páramo del Perdigón, la hoja de estudio no abarca el área de cuestas, sino que solamente el glacis y la terraza. Pero el trabajo de campo y la memoria del mapa

geológico (del Olmo, Gutiérrez Elorza, & Molina, 1982) indica la misma composición que el Páramo de La Parrilla.

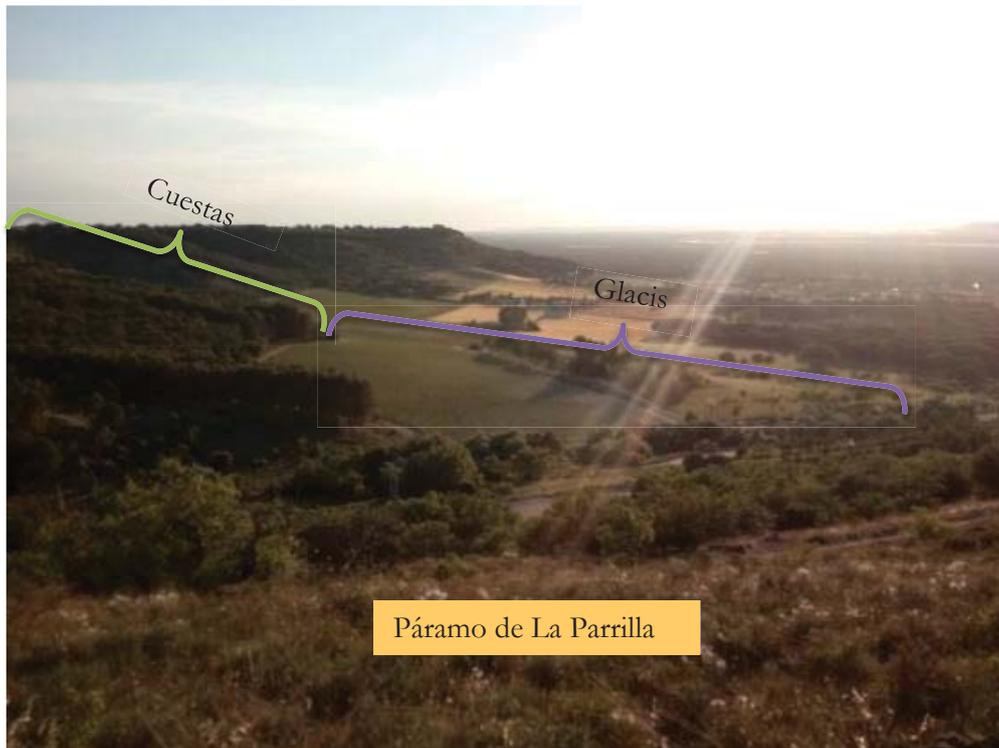


FIGURA 22: VISTA SEE-SO DE LAS CUESTAS Y GLACIS DEL PÁRAMO DE LA PARRILLA.

5.2.3. Valles

El valle formado por el río Duero (Figura 23) es un valle plano con sucesiones de terrazas escalonadas. Es un valle fluvial que será explicado en el apartado 6.2.

En el margen derecho del río tenemos gravas cuarcíticas con matriz areno-limosa (del Olmo *et al.*, 1982) pertenecientes a las terrazas del área. La pendiente desde la zona inundable hasta el glacis es del orden de 1-2% a lo largo de sus 2km-2,5km dependiendo del meandro del río que se tome. Es por este margen por el que discurre el arroyo Jaramiel de manera perpendicular al cauce del Duero, que forma otro valle plano al norte de la Mambla y la Cuchilla, fuera del ámbito de estudio. Hay otros pequeños cauces aparentemente sin nombre que son estacionales y con poca competencia.

En el margen izquierdo, por encima de las terrazas, hay un manto dunar que será explicado en el apartado 6.5.



FIGURA 23: VISTA DEL ÁREA DE ESTUDIO DESDE LA PARRILLA. SE PUEDE APRECIAR LA COINCIDENCIA DE ALTURA EN LAS PARTES MAS ALTAS DE LOS PÁRAMOS Y DE LOS CERROS DE LA MAMBLA Y LA CUCHILLA. FOTO: VIRGINIA N FERNÁNDEZ, 05/2017.

5.2.4. Cerros testigo

Podemos definir un cerro testigo como una forma exenta con la superficie plana, resultante de la erosión y desgajamiento de una porción de una plataforma estructural. Por esto, los estratos son los mismos que los de los páramos.

En el área de estudio hay dos: los cerros "La Mambla" y "La Cuchilla" (Figura 24). Están a 829 y 842 m.s.n.m respectivamente. En su nivel superior, mantienen el estrato de calizas de la superficie de los páramos. Destaca la presencia de minas de cuarzo caliza, además de cuevas poco antes de llegar a la cima de "La Mambla".

El estrato superior es el mismo que el de la cuesta de los páramos, compuesto por los cantos aristados de caliza y yeso con matriz limo-arcillosa del Astaraciense-Vallesiense.



FIGURA 24: CERROS DE LA MAMBLA Y LA CUCHILLA. FOTO: VIRGINIA N. FERNÁNDEZ, 02/2017.

5.2.5. Antecerros

La definición de antecerro es similar a la de cerro testigo “ forma exenta con la superficie plana, resultante de la erosión y desgajamiento de una porción de una plataforma estructural” con la diferencia de que no tiene los mismos estratos que el Páramo: ha perdido los superiores, en este caso los calizos.

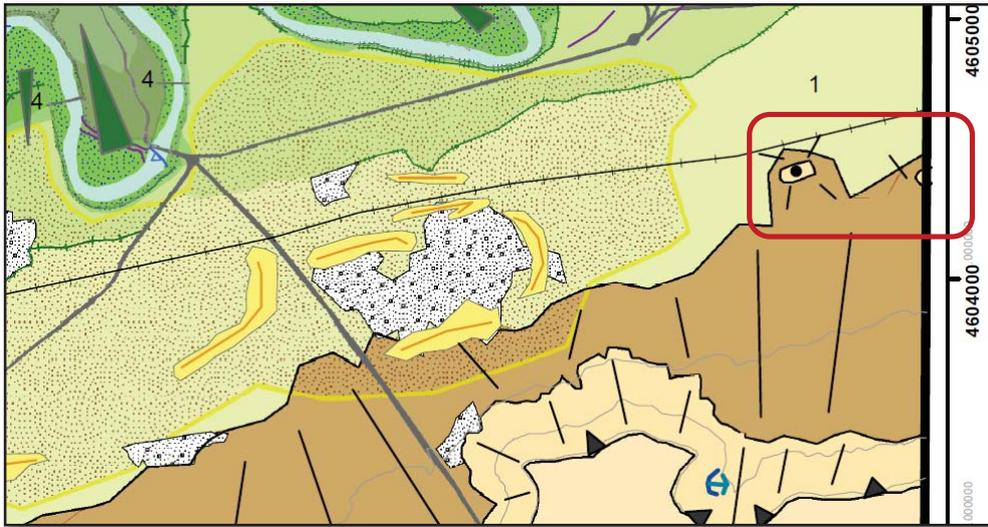


FIGURA 25:
EN GRANATE,
EL
ANTECERO
DE LA HOJA
DE ESTUDIO.

En el caso del área de estudio (Figura 25) hay uno y parte de otro que enlazan con el glacis del Páramo de La Parrilla. En la parte superior, tienen un encostramiento de gravas calizas con matriz limo arenosa (del Olmo *et al.*, 1982). Este encostramiento se da también aparece en la superficie del glacis.

6. El modelado

Consecuencia de este relieve tabular y de los materiales por los que está formado, tenemos el karst debido a los materiales calizos, las formas fluviales por el exorreísmo que experimenta la cuenca y el modelado dunar como testigo fósil de paleoclimas.

6.2. Modelado fluvial

El río Duero discurre en una amplia llanura aluvial de entre 4 y 5 km de anchura. El valle se elabora en los sedimentos paleógenos y neógenos (Sánchez del Corral Jiménez *et al.*, 2002) de forma disimétrica como vemos en la Figura

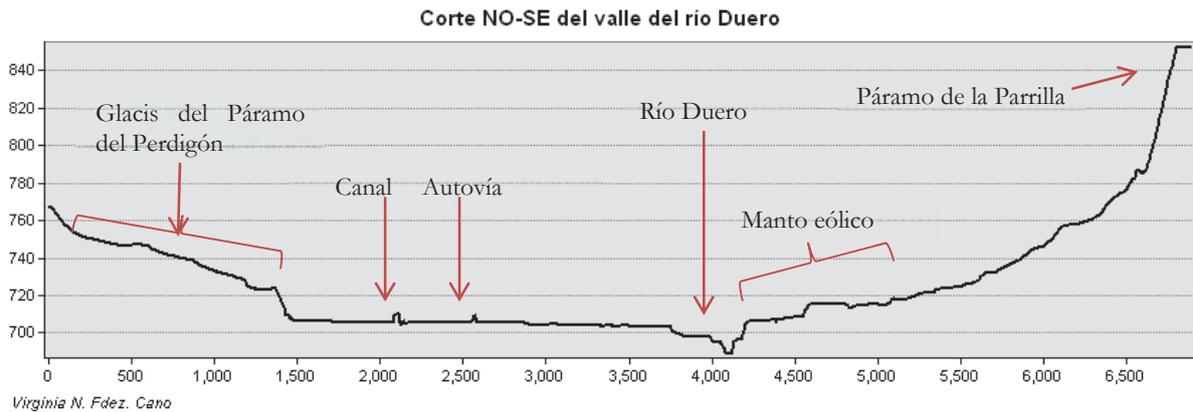


FIGURA 26: CORTE NO-SE DEL ÁREA DE ESTUDIO.

En el margen derecho está el glacis del Páramo del Perdigón, con pendientes de 3-4% que enlaza con la llanura aluvial, con una pendiente de entre un 1-2% según el tramo que se analice. El margen izquierdo tiene mucha más pendiente, del orden de 3-5%.

Teniendo en cuenta las pendientes y la forma disimétrica del valle, podemos deducir que el río Duero en este sector estaba más al norte en épocas pasadas y que se ha desplazado hacia el sur. Esto explicaría también la pendiente más acusada hay al sur del área de estudio, porque el río nunca ha estado allí. Este recorrido del cauce hacia el sur no ha sido directo, si no que ha habido pequeñas fluctuaciones norte-sur debido a la dinámica de los meandros aunque el cauce entero se haya desplazado hacia el sur. Esto explicaría porque hay meandros abandonados ligeramente hacia el norte y el sur del cauce actual y no solo en el norte.

6.2.1. El cauce fluvial

El cauce de la zona de estudio forma parte del curso medio del río en su perfil longitudinal, por lo que la erosión no es tanta como en sus tramos altos. La pendiente, de 6.9% en el tramo el área de estudio, es baja: en los 6,9 km del área de estudio, el río baja solamente 10 m.

El cauce fluvial es meandrizante. En el área de estudio, el río recorre 12 km en una longitud de valle de 6,9km. Por lo tanto el coeficiente de sinusoidad es $12/6,9 = 0,575$, siendo éste un coeficiente muy alto, por los meandros cerrados que hay, especialmente en el centro del área de estudio.

Estos canales se forman por la alternancia de velocidades en un mismo canal que conllevan a la formación de surcos y umbrales (Figura 27).

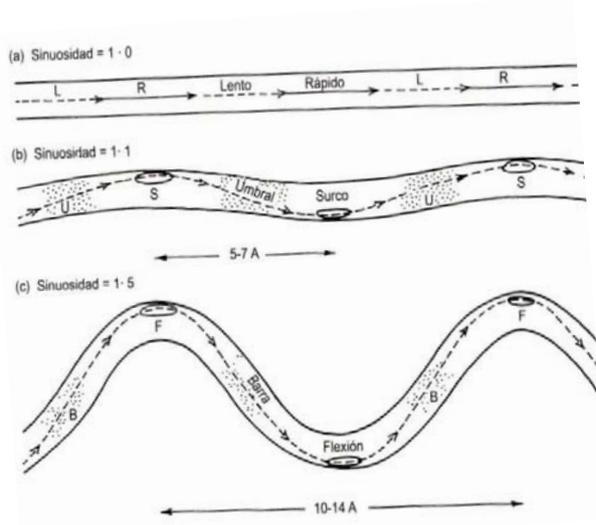


FIGURA 27: EVOLUCIÓN DE UN CAUCE RECTILÍNEO A MEANDRIFORME. FUENTE: GUTIÉRREZ ELORZA, M., 2009.

Los meandros van dejando una rampa escalonada a medida que se van acentuando (Figuras 28 y 9) llamada glacis de meandro. Esta rampa se convierte en un lugar de depósito y el lado contrario se convierte en un lugar de erosión, encajado, con forma cóncava y mayor velocidad del agua como podemos ver en la Imagen. Esta rampa escalonada y llena de sedimentos, al tener una pendiente baja, es más propensa a saturarse.

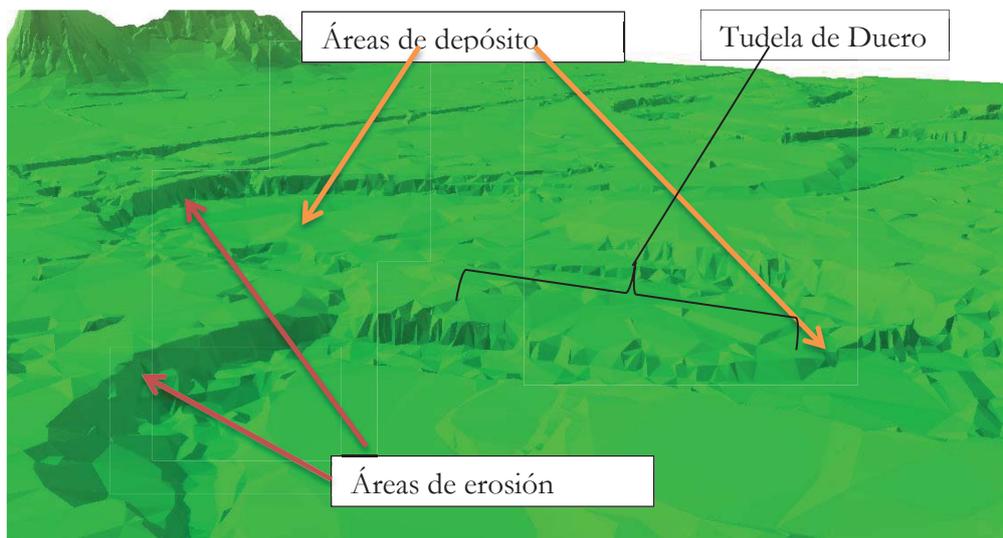


FIGURA 28: MDT EXPLICATIVO PARA LA MORFOLOGÍA DE LOS MEANDROS.

El ancho del canal se mantiene más o menos constante a lo largo del recorrido, siendo una excepción el ensanchamiento que se produce al sur del pueblo, en el área denominada "el arenal" (Figura 29). Aquí, el agua tiene más velocidad y ha ensanchado el cauce. El flujo ha ido erosionando el surco por el sur y ha dejado una barra de punta formada por arenas al norte del meandro, que le ha dado su toponimia.

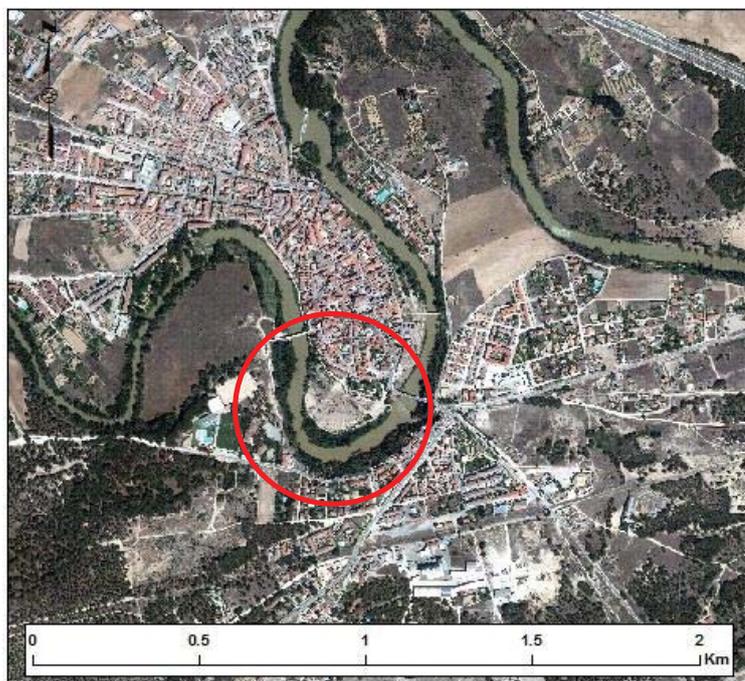


FIGURA 29: EN ROJO, LA ZONA LLAMADA "EL ARENAL".

6.2.2. Llanura de inundación

El área inundable es aquella que es ocupada por la lámina de agua cada cierto periodo de retorno. El periodo de retorno es el tiempo que tarda en repetirse una inundación con caudal semejante y se expresa con Q: Q-10, Q-25,..., Q-500. Los ríos tienen varias líneas de inundación dependiendo de la intensidad con la que se produzcan, definida por el periodo de retorno.

Para señalar el área de inundación en este trabajo se ha elegido la línea de inundación para un periodo de retorno de 100 años (Figura 30) según el estudio de inundaciones oficial del municipio realizado en 2013 por la empresa AETEC Ingeniería y sin publicar, solamente consultable en el archivo del ayuntamiento (AETEC Ingeniería, 2013). A partir del estudio de AETEC, se ha ido dibujando la delimitación con ArcGIS a partir de la foto aérea con el objetivo de incluirlo en el mapa geomorfológico.

Podemos resumir el área inundable en esta zona de estudio como las áreas de los antiguos cauces y las áreas de depósito de los meandros. Por lo general, los paleocauces más recientes se sitúan a una

altura de 1 m o menos del actual cauce, aparte de que el freático tiene también un nivel alto en los márgenes del río y paleocanales. Por lo que el agua en seguida vuelve a ocupar esos lugares durante las crecidas.

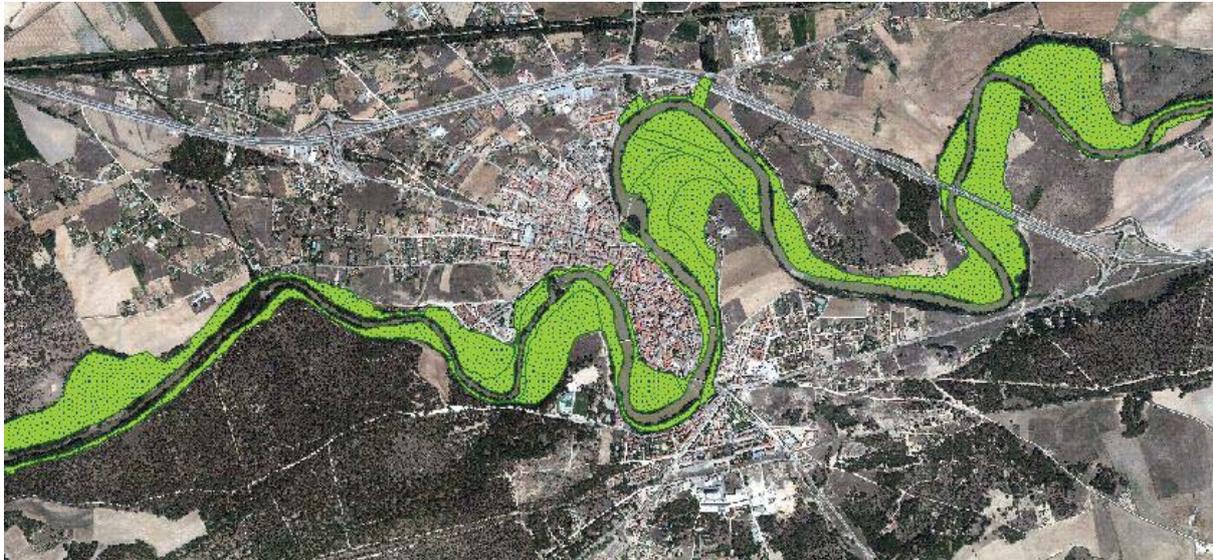
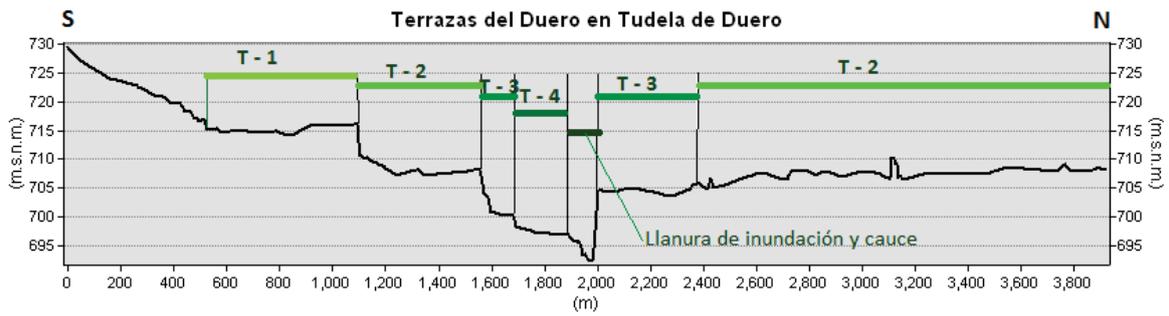


FIGURA 30: DELIMITACIÓN DEL ÁREA INUDABLE Q-100 SEGÚN EL ESTUDIO DE AETEC (AETEC, 2013). ELABORACIÓN: V.N.FERNÁNDEZ.

6.2.3. Las terrazas fluviales

Podemos definir una terraza como una llanura de inundación abandonada y colgada sobre el cauce actual (Leopold *et al.*, 1964). En el caso del área de estudio, tenemos una secuencia de terrazas de acumulación aluviales que además no son pareadas, según la definición de Gutiérrez Elorza (Gutiérrez Elorza, 2008). Las terrazas de acumulación aluvial son terrazas no formadas por la erosión de un sustrato rocoso, si no por material aluvial. Las terrazas pueden ser pareadas o no: son pareadas si las terrazas de ambos lados del río son simétricas. Las terrazas del área de estudio no son pareadas, dado que la terraza 1 ha sido erosionada al norte de la hoja.

Las terrazas del río Duero en el sector de Medina del Campo-Tordesillas-Toro hay 14 niveles (Pérez González, 1979) y 21 niveles en la cuenca del Almazán (Rodríguez García y Pérez González, 2002). En el área de estudio de Tudela de Duero se ven cuatro de estos niveles.



Elaboración: V.N.Fernández Cano, 2017.

FIGURA 31: SECUENCIA DE TERRAZAS S - N EN EL MEANDRO O DEL DUERO. ELABORACIÓN PROPIA.

No hay dataciones de terrazas pero si hay estimaciones y aproximaciones a través de fósiles y utensilios prehistóricos encontrados (Tabla 4 y Figura 31).

TABLA 4: TENTATIVA DE CRONOLOGÍA DE LAS TERRAZAS DEL DUERO Y SUS AFLUENTES TORMES Y PISUERGA SEGÚN SANTISTEBAN Y SHULTE., 2007. EN ROJO, LA EQUIVALENCIA PARA LAS TERRAZAS DE ÁREA DE ESTUDIO. EN VERDE, LA LLANURA DE INUNDACIÓN Y EL CAUCE.

Terrace sequences for the Duero River and tributaries

		Santónja & Pérez-González (1984), Santónja & Pérez-González (1997)			
		Duero	Tormes and W Salamanca	Pisuerga	
		H (m)	H (m)	H (m)	
HoL		T21	+3-5	+5	
L. Pleist.	MPaleol.	T20			
	u. Acheul.	T19		+6-8'	
		T18	+8-12		+10
		T17		+12-14'	
Middle Pleistocene	middle Acheulian	T16	+18-22	+18-20	+20
		T15	+24-30'	(+22-24)'	
		T14	22	+34'	+30'
		T13		(+35-40)'	
	Early Acheulian	T12	+40-48	+42-44	
		T11	+54-56	+50-54'	+40
		T10	+62	+62-64'	
		T9	+74-80'	+78-80	
Early Pleistocene	Early Acheulian	T8	+82-84		
		T7	+96-100		
		T6	+102-107	(+100)'	+60
	pre-Acheulian	T5	+110-114		+80
		T4	+126-134	+108	+120
		T3	+141-144		
T2		+120			
Neogene (u. Turclian)	T1			(+165)'	

De la tabla de equivalencias (Tabla 4), podemos resumir que las terrazas del área de estudio son del Pleistoceno Medio-Superior. La llanura de inundación para Q-100 sería Holocena, junto con el resto del cauce (actual). En la Tabla 5 se muestra una correlación entre los datos del estudio de Santisteban y Shulte, 2007 con los del área de estudio.

Terraza	Altitud (m.s.n.m.)	Altitud sobre el cauce (m) (=693)	Edad estimada
Llanura de inundación	695 - 693	2	(T-21) Holoceno
Terraza 4	701 - 695	8	(T-18) Pleistoceno Superior
Terraza 3	706 - 701	13	(T-17) Pleistoceno Superior
Terraza 2	712 - 706	19	(T-16) Pleistoceno Medio
Terraza 1	730 - 712	37	(T-13) Pleistoceno Medio

Elaboración propia Virginia N. Fernández.

TABLA 5: CORRELACIÓN DE LAS TERRAZAS DEL ÁREA DE ESTUDIO CON LAS DE SANTISTEBAN Y SHULTE, 2007.

La T-1 se encuentra al sur del área de estudio en contacto con el glacis del Páramo de "La Parrilla", entre los 730 – 712 m.s.n.m. No tienen equivalente en el margen derecho, por lo que debemos suponer que fue erosionado por la dinámica del río. Es la terraza más antigua de área, siendo del Pleistoceno Medio. Por encima tiene el manto eólico, por lo que la terraza es más antigua que el mismo. En el escarpe de estas terrazas hay tres canteras de áridos por la calidad de sus arenas y gravas para la construcción.

La T-2 se encuentra entre los 712 – 706 m.s.n.m. Tiene un desarrollo mayor en el margen derecho del río, donde se supone que fue erosionada la T-1. En esta terraza se pueden empezar a distinguir algunos paleocauces. En el margen izquierdo está cubierta por el manto dunar, pero el margen derecho está ocupado por los campos de cultivo de regadío y de cereal.

La T-3 se sitúa entre los 706 – 701 m.s.n.m. En ella se conservan la mayor parte de los paleocauces de la hoja. Tiene poco desarrollo en la parte erosiva de los meandros debido a la pendiente: el escalón puede ser de 2-5m en esas áreas. Aquí se localiza mucho regadío a lo largo del río y también el casco histórico de Tudela en el meandro central del área de estudio. Esta terraza está parcialmente cubierta por el manto de arenas en el margen izquierdo del río. Incluso hay algunos paleocauces rodeados de arena a ambos lados, por lo que suponemos que el río, en su dinámica cambiante, en algún momento se ha metido en el manto de arenas y ha dejado meandros abandonados ahí. De esta información también podemos deducir que el manto eólico se formó en el mismo periodo que esta terraza.

La T-4 se encuentra casi en el área de inundación, entre los 701 – 695 m.s.n.m. Solo está presente en las partes deposicionales de los glaciares de meandro. Los usos que se le da son de cultivos de regadío dado que esta área pertenece a la línea de inundación Q-500.

La llanura de inundación para una Q-100 se encuentra aproximadamente por encima de 2 m del nivel del talweg. Hay algunos paleocauces muy recientes de principios de Holoceno. El uso de este suelo es recreativo, para cultivo o no tiene ningún uso productivo. En el caso de las áreas inundables del meandro cercano al pueblo, se han instalado parques y adecuado caminos paralelos a la ribera. En el caso del área inundable del meandro situado al oeste de pueblo, no tienen ningún uso ni siquiera forestal, por la frecuencia con la que el río ocupa ese suelo.

Podemos concluir con que el río comenzó asentándose en el norte en el Pleistoceno inferior-medio y a partir del Pleistoceno Medio se fue encajando dejando colgada la terraza 1 y por ende el gran escarpe que separa a estas terrazas. Durante este tiempo el río llegó directamente hasta su nivel actual, si no que se movió varias veces de norte a sur, llevándose la terraza 1 que habría en la margen derecha del río. A partir del Pleistoceno superior se encaja por debajo de los 706 m.s.n.m., dejando varios cauces abandonados según iba cambiando su dinámica hasta encajarse a los 695 m.s.n.m. en los que se encuentra actualmente el talweg.

6.2.4. Paleocauces

Los paleocauces son visibles a partir de la Terraza 2. Corresponden a estrangulamientos, acortamientos y derivas de meandros antiguos.

Se puede intuir un meandro abandonado en la Terraza 1 por la disposición de las curvas de nivel de 1m. Pero dada la antigüedad de la terraza, es dudoso que se haya conservado. Aun así, con las curvas de nivel es bastante claro, por lo que se necesitaría un estudio más a fondo del lugar.

Los indicios de que el río ha cambiado su cauce son visibles sobre todo al oeste de la hoja de estudio (Figura 32). Comenzando por el Oeste, vemos paleocanales encima del área inundable que corresponden a una génesis de deriva de meandro: la parte cóncava del canal ha avanzado hacia el norte.

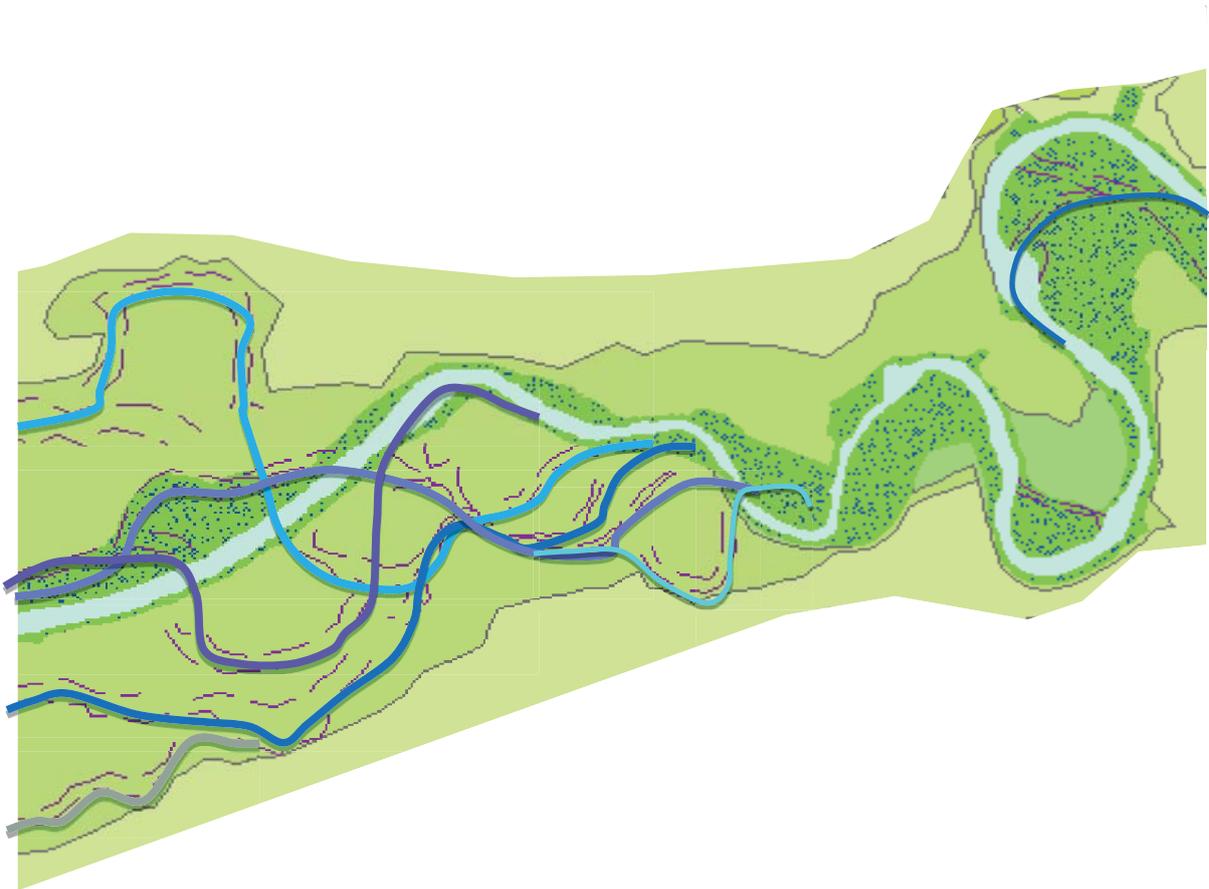


FIGURA 32: DETALLE DEL MAPA EN EL QUE SON APRECIABLE LOS PRINCIPALES CANALES ABANDONADOS Y UNA POSIBLE RECONSTRUCCIÓN.

En el meandro donde se asienta el pueblo hay un pequeño paleocanal que discurría paralelo al meandro principal. En este caso, el cambio es antropogénico, puesto que en los años 90 se llevaron a cabo obras de transporte de tierra hacia ese meandro, para construir un parque y adecuar una modesta playa. Y por ser un cambio antropológico y reciente, es una de las áreas que primero se inunda.

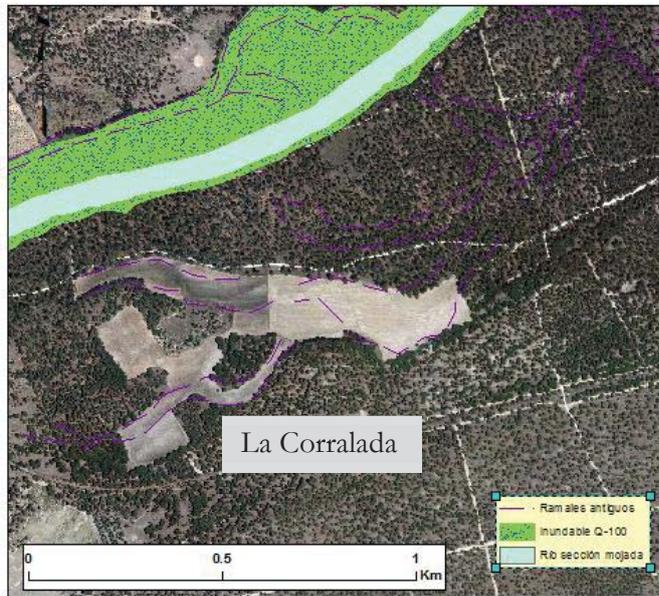


FIGURA 33: ORTOFOTO EN LA QUE SE VE EN MORADO LOS PALEOCANALES ENTRE LAS ARENAS EÓLICAS (DEBAJO DE LA VEGETACIÓN).

Los meandros abandonados mejor conservados son los del oeste de la hoja. Son fácilmente detectables mediante ortofoto (Figura 33) y MDT. Llama la atención uno que está en el manto de dunas en un lugar llamado "La Corralada". Este lugar está en medio del pinar, entre las arenas eólicas (Figura 34). El río pudo haber avanzado hacia el sur, desmantelando las arenas eólicas, para volver posteriormente hacia el norte. El río

dejó un espacio de materiales fluviales por lo que se ha aprovechado para su cultivo y no para aprovechamiento forestal.



FIGURA 34: CAMPO DE CULTIVO RODEADO DE ARENAS EÓLICAS Y APROVECHAMIENTO FORESTAL EN EL ÁREA "LA CORRALADA". FOTO: VIRGINIA N. FERNÁNDEZ 4/2017.

6.3. Modelado de laderas

Las laderas están bien regularizadas, no habiendo encontrado deslizamientos de ningún tipo. Tienen coluvión que demuestra que ya no hay movimiento de laderas y que por lo tanto están regularizadas.

Los glaciares son formas de modelado formadas por la lixiviación o también arrollada difusa de laderas con una pendiente inferior al 10%. El agua ha ido arrastrando los materiales más finos de los páramos y los ha depositado en el pie de las cuevas (por eso a los glaciares también se les llama "piedemonte" en el caso de que sean de erosión). Los glaciares del área de estudio (Figura 22) se sitúan entre los 720 y 780 m de altura. En el área de estudio hay tres, coincidentes con las morfoestructuras: en los cerros, el páramo del Perdígón y en el de La Parrilla. Están compuestos de arenas y limos con cantos calizos aristados (del Olmo *et al.*, 1982). La diferencia que hay entre los tres glaciares es la costra de limos y margas con gravas de caliza que tiene el Páramo de "El Perdígón" y los antecerrojos, que no tiene el páramo de "La Parrilla" ni los cerros testigo.

6.4. Kárstico

Debido a las calizas, en el área de estudio hay dos elementos kársticos: dolinas y depósito de *terra rossa*. Una dolina es una depresión cerrada de forma circular o elipsoidal en planta, de metros a un kilómetro de diámetro y con una profundidad de metros a centenares de metros (Gutiérrez Elorza, 2008). Desde una clasificación genética, las dolinas del área de estudio son de disolución, que se diferencian de las de colapso en que no resultan del rebajamiento de la superficie por disolución ni por erosión interna. La mayor parte de las dolinas responden a una mezcla de sucesos en su génesis, por lo que esta clasificación en dolinas de disolución y dolinas de colapso es cuestionada (Gutiérrez Elorza, 2008).

Estas dolinas, que se encuentran todas en el Páramo de La Parrilla y en el Páramo del Perdígón, (aunque las de este último no queden dentro de la zona de estudio) son de disolución, como antes se ha señalado. Se han formado por la disolución de las calizas del páramo.

La *terra rossa* es el depósito resultante de la disolución de carbonatos. La caliza está compuesta de carbonato cálcico (CaCO_3) en un 90% y otro 10% de impurezas (arcillas, mineral de hierro, etc.). Cuando se disuelve el carbonato y se va con el agua, quedan las impurezas que se acumulan en

grietas, depresiones o en la superficie. Estas impurezas son las arcillas de descalcificación, o *terra rossa* que se puede apreciar en algunos lugares del páramo.

Un ejemplo claro de *terra rossa* está al borde de la carretera que sube al páramo. Para trazar la carretera, se aprovechó una vaguada que además se ha acentuado más con las obras y renovaciones de la carretera. En esta vaguada había una dolina, y el corte de la carretera ha dejado un buen ejemplo de cómo funciona una dolina y de la diferencia de color de la *terra rossa*. También, se ve la subsidencia de las capas de calizas más pronunciadas, consecuencia de esa infiltración de los materiales disueltos.



FIGURA 35: CORTE DE LA CARRETERA TUDELA-LA PARRILLA EN EL QUE SE APRECIA LA DOLINA CON LAS ARCILLAS DE DESCALCIFICACIÓN, CORRESPONDIENTES CON *TERRA ROSSA*. FOTO: VIRGINIA N. FERNÁNDEZ 24/05/2017.

Con el tiempo (más de 3.000 años) si hay se genera un suelo arcilloso, rojo, rico en hierro que conforma la *terra rossa* como suelo, aunque en el caso del páramo no hay un suelo como tal, si no acumulaciones en las dolinas como se ve en las figuras 35 y 36.



FIGURA 36: VISTA DE LA DOLINA DE LA CARRETERA TUDELA-LA PARRILLA. EN ROJO SE SEÑALAN LAS ARCILLAS DE DESCALCIFICACIÓN. FOTO: VIRGINIA N. FERNNDEZ 27/05/2017.

Los materiales disueltos en el agua que penetran y percolan en la superficie del páramo, afloran en las cuestas del páramo en forma de fuentes cuando ha llovido y el freático se ha llegado a saturar (Figura 37). El agua infiltrada queda atrapada entre las calizas y las margas del páramo, por lo que discurre dentro del mismo hasta aflorar en forma de surgencias. En el área de estudio hay tres surgencias; dos en el Páramo de La Parrilla (Fuente de los Frailes y Fuente de la Bodeguilla) y otra en el contacto del glacis y las terrazas en el Páramo del Perdigón.

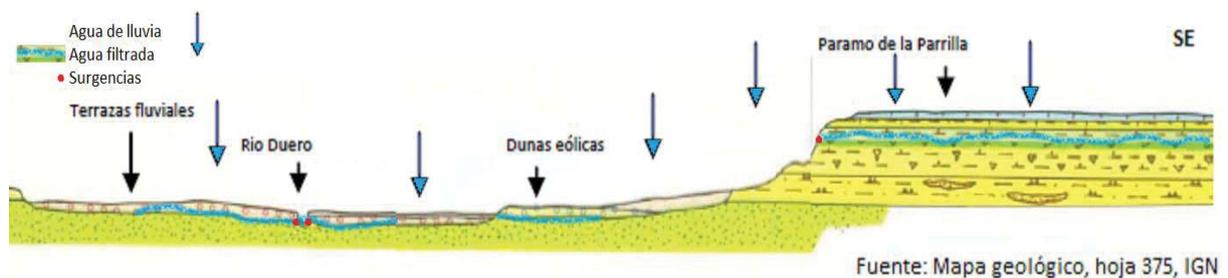


FIGURA 37: CORTE EN EL QUE SE MUESTRAN LOS ACUIFEROS.

Hay que diferenciar dos tipos básicos de acuíferos: los profundos y los subsuperficiales. Los del área de estudio son subsuperficiales y hay dos: el acuífero de los páramos y el acuífero aluvial del valle del Duero. Se trata de acuíferos de caudales escasos y que no tienen otro aprovechamiento que el regadío tradicional de las huertas en torno a Tudela de Duero (bien mediante la canalización de algunos arroyos que se forman a partir de los manantiales en los que afloran las aguas del acuífero de los páramos, bien mediante la excavación de pozos poco profundos en la llanura aluvial del Duero, que explotan directamente el acuífero de las terrazas). La mayoría de estos aprovechamientos está abandonada o tiene una utilidad muy marginal.

6.5. Modelado dunar

En el margen izquierdo del río (al pie del Páramo de La Parrilla) hay arenas de cuarzo redondeadas bien seleccionadas (del Olmo *et al.*, 1982). Corresponden a un manto dunar. Esta zona de acumulación de arenas eólicas es bien conocida desde el siglo XIX (Casiano del Prado, 1854; Hernández Pacheco, 1923; Hernández Pacheco, 1930). Se extienden al sur del área de estudio hasta el glacis, que en ocasiones lo remontan.

Sus formas están muy erosionadas debido a la fijación del manto eólico por los pinares y también por la degradación que han sufrido. La reforestación se hizo con pinos (*Pinus pinaster* y *Pinus pinea*) plantados a partir de 1859 para estabilizar el manto de dunas y evitar la degradación de los campos de cultivo (Gutiérrez-Elorza *et al.*, 2005). En el área de estudio se reconocen dunas parabólicas y cordones dunares. La dirección obtenida a partir de las dunas parabólicas indica que los vientos procedían del suroeste y este (del Olmo *et al.*, 1982).

Se estima que estas arenas no han tenido un recorrido muy grande y que son de procedencia local (Pérez González, 1979), tanto de terrazas fluviales como de sedimentos arenosos del terciario. En cuanto a la datación de las dunas, se ha hecho con termoluminescencia y muestran una antigüedad de 12.000 años aproximadamente, coincidente con épocas de enfriamiento post-glaciar del Pleistoceno superior-Holoceno inferior (Bernat Rebullal y Pérez-González, 2008) en el periodo conocido como Dryas reciente, caracterizado por un clima frío y seco.

El manto eólico es actualmente una forma relictas, pero sus periodos activos y su desarrollo se dio durante periodos fríos, con una cubierta vegetal arbustiva y un freático mucho más profundo del actual (Gutiérrez-Elorza *et al.*, 2005). Las condiciones climáticas durante el Dryas Reciente y el episodio frío 8.2 ka BP tuvieron como consecuencia unas condiciones esteparias que concuerdan con las características necesarias con la formación de mantos de dunas (Bernat Rebullal y Pérez-González, 2008). Hubo ligeras reactivaciones en el Holoceno superior (5-0,2 ka). Estas reactivaciones eólicas recientes coinciden con la expansión de la agricultura del Neolítico, la romanización y con la Pequeña Edad del Hielo medieval (Bernat Rebullal & Pérez-González, 2008).



FIGURA 38: DUNA DEL ÁREA DENOMINADA "EL SOTIL". FOTO: VIRGINIA N. FERNÁNDEZ 04/2017.

Hoy día quedan algunas formas dunares muy deterioradas. En la Figura 38 podemos ver una de las dunas mejor conservadas.

7. Evolución geomorfológica

Como conclusión y teniendo en cuenta los datos investigados en este trabajo podemos reconstruir la historia reciente (cuaternario) del área de estudio.

Durante el Plio-Pleistoceno, el área de estudio pasa de ser endorreica a ser exorreica. Comienza entonces la apertura del valle.

En el Pleistoceno Inferior y Medio el río incide en el valle de forma más acentuada, creando los glaciares y los cerros testigo.

En un principio el cauce del Duero estaría más al norte, para encajarse durante la deposición de la terraza 2 en el Pleistoceno Medio. Antes de este encajamiento debió de haber un periodo de gran energía y transporte en el que el río desmanteló la terraza 1 en su margen derecho. En este momento los glaciares ya estarían formados y similares a los de hoy, aunque menos regularizados.

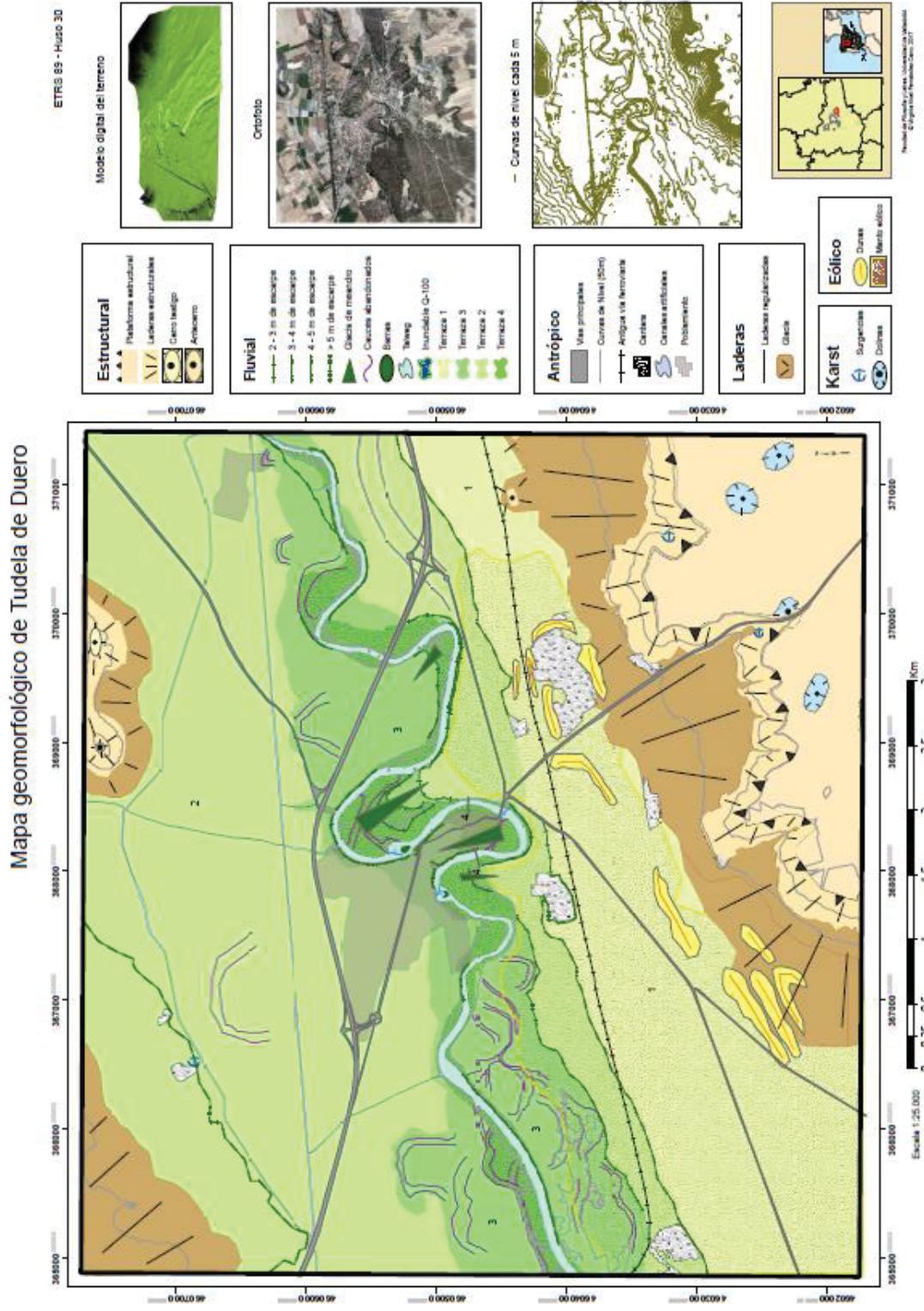
Las dolinas debieron de haberse formado entre el Pleistoceno Medio y el Superior. También la *terrasa* habría comenzado a formarse en este entonces.

Después de la deposición de la terraza 2 y durante la de la terraza 3 es cuando se forma el campo de dunas en el Pleistoceno Medio-Superior. Por esto hay cauces abandonados entre la arena sobre la terraza 3. En este periodo el manto eólico sería un campo de dunas activas y blow-outs debido al clima seco y frío del Dryas Reciente.

En el Pleistoceno superior se crea la terraza 4, que queda colgada y susceptible de ser cubierta por la lámina de agua en inundaciones Q-500.

La evolución futura de este relieve estará ligada a los procesos de estrangulamiento y desplazamiento de los meandros.

8. MAPA GEOMORFOLÓGICO DE TUDELA DE DUERO



9. Bibliografía

AETEC Ingeniería. (2013). Estudio de inundaciones en Tudela de Duero en régimen bidimensional. Informe técnico. Ayuntamiento de Tudela de Duero.

Allué, M., Costa Tenorio, M. y Moreno Sanz, M. (1995). Paisajes vegetales de Segovia (árboles, arbustos y montes de provincia). J. Abella Mardones, Evaluación y descripción del paisaje vegetal en Segovia. Segovia: Ayuntamiento de Segovia.

Alonso-Gavilán, G., Armenteros, I., Carballeira, J., Carrochano, A., Huerta, P. y Rodríguez, J. M. (2004). Cuenca del Duero. En J. A. Vera, Geología de España. Madrid: Sociedad Geológica de España; Instituto Geológico y Minero de España, pp. 550 – 556.

Bernat Rebolal, M. y Pérez-González, A. (2008). Inland aeolian deposits of the Iberian Peninsula: Sand dunes and clay dunes of the Duero Basin and the Manchega Plain. Paleoclimatic considerations. *Geomorphology*, 102, pp. 207-220.

Casiano del Prado, M. (1854). Note sur la constitution géologique de la province de Ségovie. *Bull. Soc. Géol. Franc.*, 11, pp. 330- 78.

Corrochano, A. y Armenteros, I. (1989). Los sistemas lacustres de la Cuenca terciaria del Duero. *Acta Geológica Hispánica* 24, 3-4, pp. 259 - 279.

del Olmo, P., Gutiérrez Elorza, M. y Molina, E. (1982). Mapa geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 372. Valladolid. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

Gutiérrez Elorza, M. (2008). *Geomorfología*. Madrid: Pearson Education.

Gutiérrez-Elorza, M., Desir, G., Gutiérrez-Santolalla, F. y Marín, C. (2005). Origin and evolution of playas and blowouts in the semiarid zone of Tierra de Pinares (Duero Basin, Spain). *Geomorphology*, 72, pp. 177 - 192.

Hernández Pacheco, F. (1923). Las arenas voladoras de la provincia de Segovia. *Bol. R. Sociedad Española de Historia Natural*, 23, pp. 211 - 216.

- Hernández Pacheco, F. (1930). Fisiografía, geología y paleontología del territorio de Valladolid. Mem. Com. de Investigación Paleontológica y Prehistórica, 37, pp. 38 - 95.
- Instituto Geológico y Minero de España. Área de Cartografía Geológica. (2005). Mapa Geomorfológico de España y del margen continental. Escala 1:1.000.000. Madrid.
- Leopold, L. B., Wolman, M. G. y Miller, J. P. (1964). Fluvial Processes in Geomorphology. San Francisco: Freeman.
- Mediavilla, R., Dabrio, C. J., Martín-Serrano, A. y Santisteban, J. I. (1996). Lacustrine Neogene systems of the Duero Basin: evolution and controls. En P. F. Friend, y C. J. Dabrio, Tertiary basins of Spain the stratigraphic record of crustal kinematics. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 228 - 236.
- Pellicer Corellano, F. (1997). El lenguaje cartográfico. En J. Peña Monné, Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, pp. 67-84.
- Peña Monné, J. (1997). Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones.
- Peña Monné, J. (1997). Los sistemas de cartografía geomorfológica. En Cartografía geomorfológica básica y aplicada. Logroño: Geoforma Ediciones, pp. 85-102.
- Pérez González, A. (1979). El Cuaternario de la región central de la Cuenca del Duero y sus principales rasgos geomorfológicos. Primera Reunión Regional Geológica del Duero. Libro guía de excursiones. Cuenca Duero. IOME, Madrid, pp. 717 – 740.
- Pérez-González, A. (1979). El límite Plioceno-Pleistoceno en la Submeseta meridional en base a los datos geomorfológicos y estratigráficos. Reunión del grupo español del límite Neógeno-Cuaternario. *Trab. Neóg. Cuat.* 9, pp. 23 – 36.
- Rodríguez García, J. y Pérez González, A. (2002). Terrazas del río Duero en la cuenca de Almazán (Soria). En Estudios recientes en Geomorfología. Patrimonio, montaña y dinámica territorial Valladolid: Departamento de Geografía Uva, pp. 527 - 536.
- Sánchez del Corral Jiménez, A., Pol Méndez, C., Molina Ballesteros, E. y Blanco Sánchez, J. (2002). La cuenca del Duero: formas y procesos asociados a su colmatación, dinámica fluvial, contacto

cuenca-zócalo, exhumación de la penillanura zamorana y encajamiento actual de la red fluvial. En Geomorfología y paisaje. Guía de excursiones. Valladolid: Dpto. Geografía Uva, pp. 57-89.

Santisteban, J. I. y Schulte, L. (2007). Fluvial networks of the Iberian Peninsula: a chronological framework. *Quaternary Science Reviews*, 26, pp. 2738-2757.

Santisteban, J. I., Mediavilla, R. y Martín-Serrano, A. (1996). Alpine tectonic framework of southwestern Duero basin. En P. F. Friend, y C. J. Dabrio, *Tertiary basins of Spain the stratigraphic record of crustal kinematics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 188 - 195.

Santisteban, J. I., Mediavilla, R., Martín-Serrano, A. y Darbio, C. J. (1996). The Duero Basin: a general overview. En P. F. Friend, y C. J. Dabrio, *Tertiary basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 183 - 187.

CARTOGRAFÍA

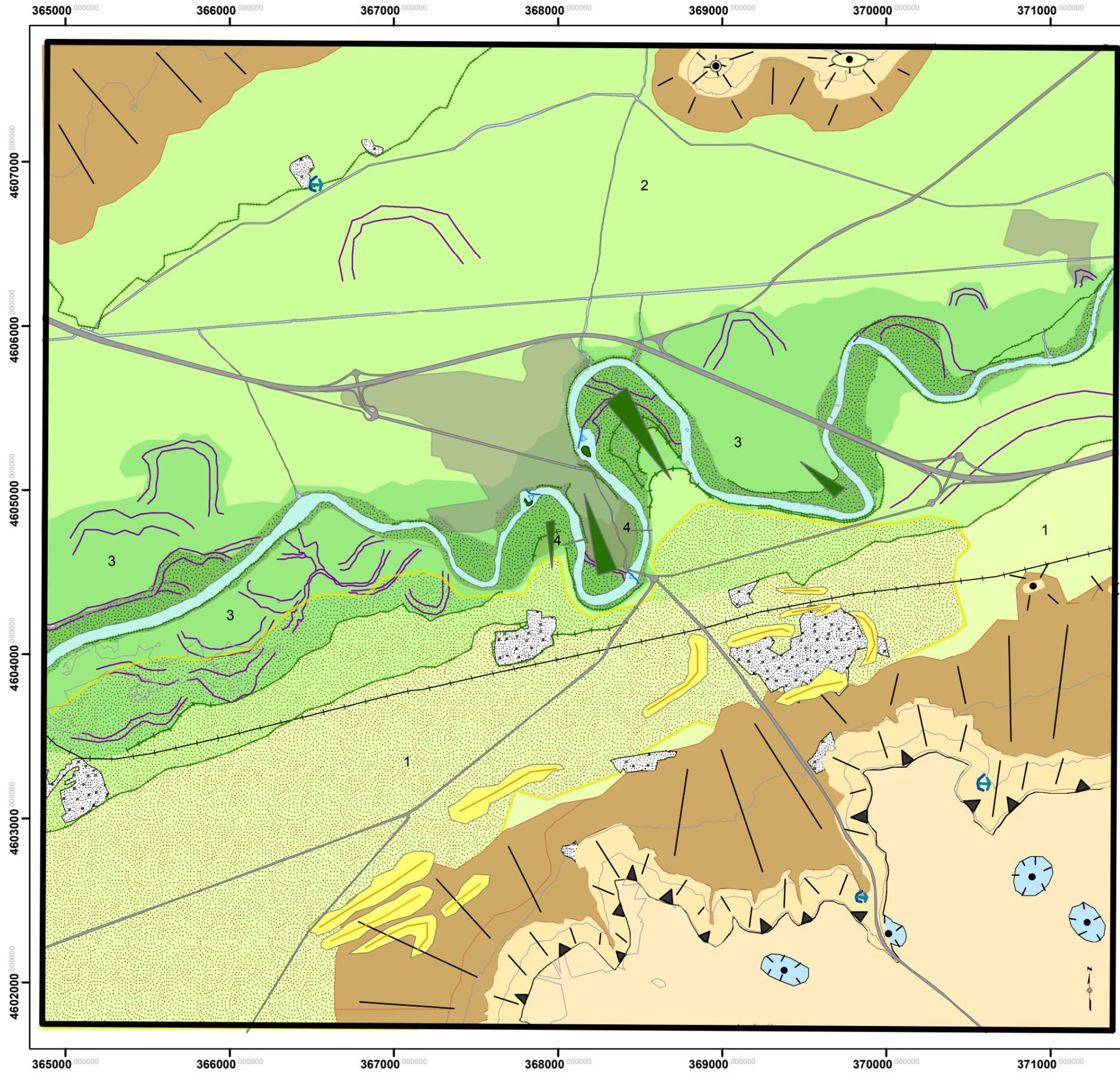
Mapa Topográfico de Valladolid. Escala 1:50.000. (1998). Servicio Cartográfico del Ejército. Serie L, Hoja 16-15. SGE.

Mapa Geomorfológico de España y del margen continental. Escala 1:1.000.000. (2005). Instituto Geológico y Minero de España. Área de Cartografía Geológica. Madrid.

del Olmo, P., Gutiérrez Elorza, M. y Molina, E. (1982). Mapa geológico de España. E. 1:50.000. Hoja 372: Valladolid. Madrid: Ministerio de Industria y Energía.

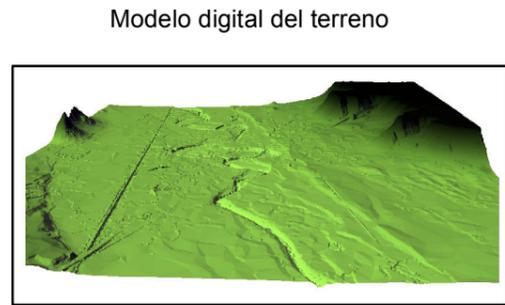
Mapa geomorfológico de Tudela de Duero

ETRS 89 - Huso 30



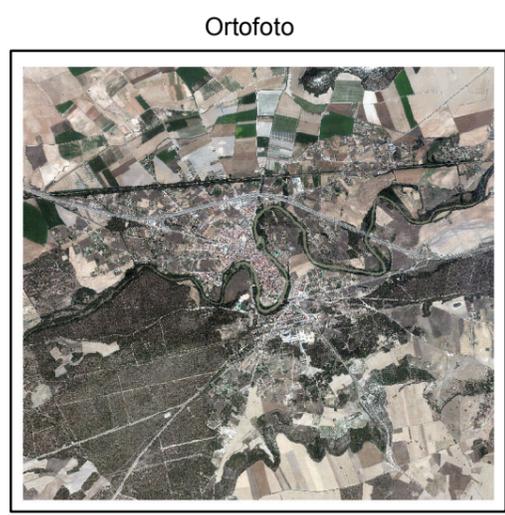
Estructural

- Plataforma estructural
- Laderas estructurales
- Cerro testigo
- Antecerro



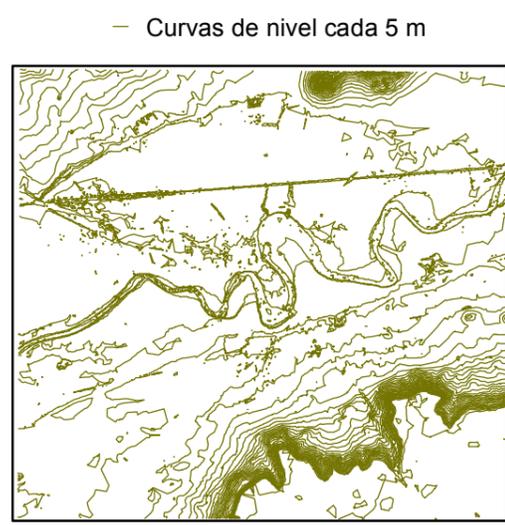
Fluvial

- 2 - 3 m de escarpe
- 3 - 4 m de escarpe
- 4 - 5 m de escarpe
- > 5 m de escarpe
- Glacis de meandro
- Cauces abandonados
- Barras
- Talweg
- Inundable Q-100
- Terraza 1
- Terraza 3
- Terraza 2
- Terraza 4



Antrópico

- Vías principales
- Curvas de Nivel (50m)
- Antigua vía ferroviaria
- Cantera
- Canales artificiales
- Poblamiento



Laderas

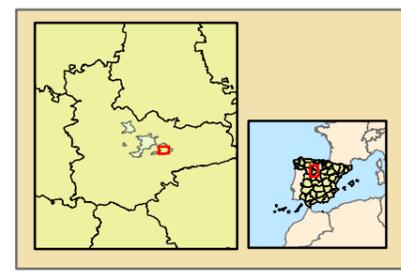
- Laderas regularizadas
- Glacis

Karst

- Surgencias
- Dolinas

Eólico

- Dunas
- Manto eólico



Escala 1:25.000 0 0.25 0.5 1 1.5 2 2.5 3 Km