



**Acumulaciones tobáceas y evolución del paisaje:
cronología y fases morfogenéticas en el Alto Ebro (Burgos)**

*Tufa buildups and landscape evolution: chronology and morphogenetic phases
in the high Ebro basin (Burgos province)*

González Amuchastegui, M.J.⁽¹⁾; Serrano Cañadas, E.⁽²⁾

(1) Departamento de Geografía, Universidad del País Vasco, Francisco Tomás y Valiente s/n, 01006 Vitoria-Gasteiz, España.
mj.gonzaleza@ehu.es

(2) Departamento de Geografía, Universidad de Valladolid. Pº Prado de La Magdalena s/n. 47011, Valladolid, España.

Resumen

Los edificios tobáceos de la cuenca alta del Ebro constituyen elementos geomorfológicos singulares de elevado significado ambiental. En el Alto Ebro la evolución geomorfológica ha estado dirigida por la incisión del río Ebro, así como por una intensa karstificación y el relleno tobáceo de los principales valles. Se han establecido tres fases de construcción tobácea escalonadas sobre los fondos de valle, la primera corresponde al Pleistoceno reciente (24-22 ka), y las otras dos al Holoceno (3,9-4,8 ka). Coincidiendo con el inicio de la ocupación antrópica del territorio, la precipitación tobácea cesó y los ríos comenzaron a incidir sus cauces hasta generar importantes terrazas. La erosión de los edificios tobáceos puede ser causada tanto por la actividad humana como por respuestas complejas del sistema natural.

Palabras clave: Toba, antropización, evolución geomorfológica, Pleistoceno, Holoceno, Alto Ebro.

Abstract

Tufa buildups of the high Ebro basin river are geomorphological elements of high environmental interest. In High Ebro basin geomorphological evolution has been led by the incision of the river Ebro, the intense karstification and the tufaceous filling of the main valleys. In this paper some relict and present-day tufas have been studied; three Quaternary tufa sedimentation stages have been established: first one corresponds to Late Pleistocene, and the others have an Holocene age. During the Holocene, coinciding with first human settlement, tufa sedimentation stopped and the down cutting processes on valley deposits started on. The erosion process on tufa buildings may be caused both human activity and complex responses of the natural system.

Key words: Tufa buildups, human impact, geomorphologic evolution, Pleistocene, Holocene, High Ebro basin.



1. Introducción

El río Ebro en su curso alto desde Valderredible hasta Zamanzas y su afluente el Rudrón, ocupan la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica (Figura 1) en una zona de transición subatlántica, y configuran profundos valles encajados entre 100 y 200 metros, en verticales cañones calcáreos (Figura 2A y B), sobre las parameras. El Ebro se desplaza de este a oeste primero, de sur a norte más tarde y de nuevo de oeste a este, adaptándose a las diferentes unidades morfoestructurales que condicionan la morfología general del valle (González Pellejero, 1986; García Fernández, 1992; Serrano *et al.* 2009). Ambos ríos atraviesan un conjunto de alineaciones montañosas de naturaleza calcárea que han sufrido una intensa karstificación, y como consecuen-

cia se ha producido el relleno tobáceo de algunos de los principales valles. Los edificios tobáceos se asocian unas veces al propio valle del Ebro y las más a los valles de sus afluentes (Rudrón, Sedanillo, San Antón, Moradillo), conformando un potente relleno carbonatado.

El sector drenado por el río Ebro constituye uno de los espacios con más edificios tobáceos de la Cordillera Cantábrica, con formaciones singulares (Orbaneja, Frías, Tubilla) de gran entidad en toda la Montaña de Burgos. A pesar del interés de los estudios de las tobas como indicadores ambientales del pasado reciente, los edificios tobáceos de este ámbito han sido poco estudiados. La génesis de las acumulaciones tobáceas está estrechamente vinculada a unas condiciones ambientales

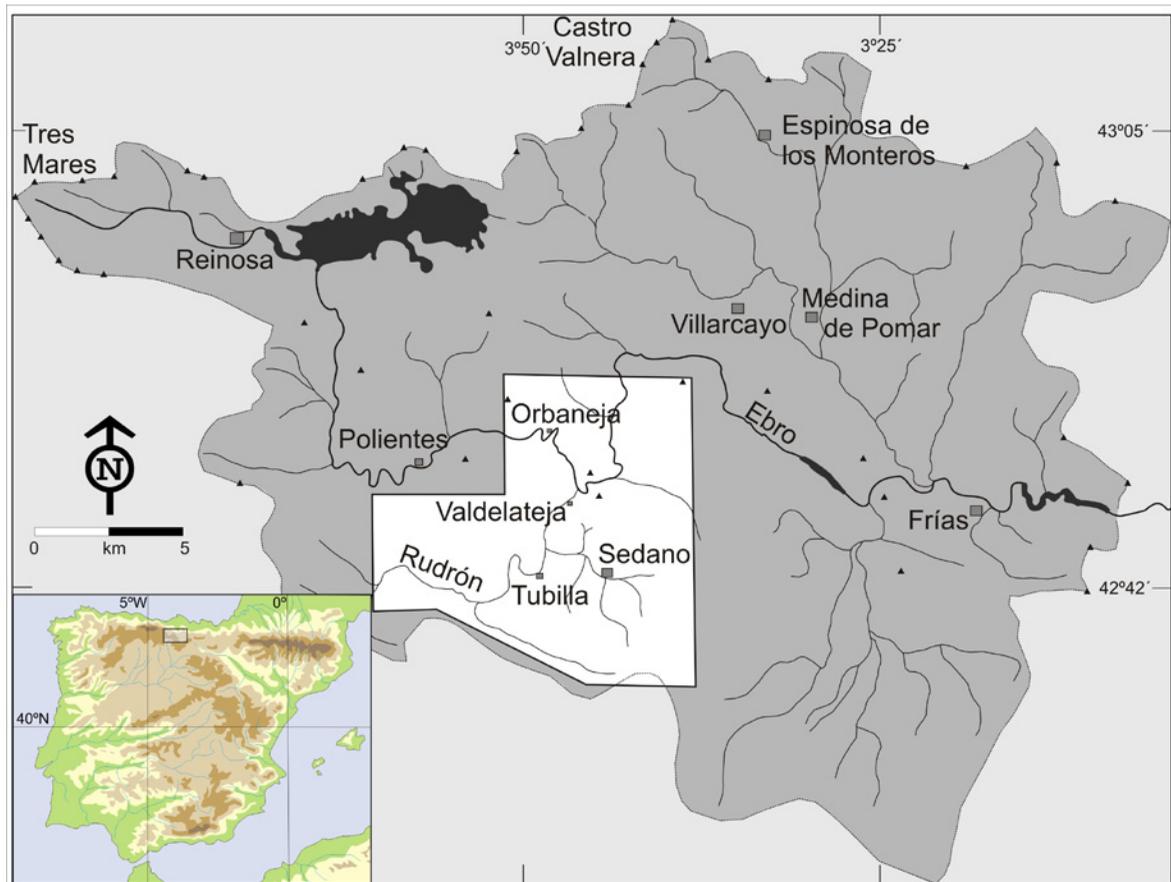


Figura 1. Localización del área de estudio.
Figure 1. Location of study area.

específicas, cálidas, con disponibilidad hídrica y aguas sin carga sedimentaria ni solutos agresivos, de ahí su importante significado ambiental; pero además su extremada fragilidad y rápida respuesta frente a los cambios dinámicos, sean de origen ambiental o antrópico, erigen a estas formaciones en valiosos indicadores ambientales de carácter geomorfológico. Por otro lado la localización de los edificios tobáceos en parajes de elevada calidad hídrica, insolación, fitoestabilización de laderas, los convierten en ámbitos propicios para la ocupación humana, de ahí la reiterada ubicación de núcleos de población, en ocasiones Conjuntos Histórico Artísticos sobre edificios tobáceos (Orbaneja del Castillo y Frías, en la zona de estudio). No se puede entender este patrimonio sin comprender la génesis y evolución de los edificios tobáceos, aprovechados por las sociedades del pasado y del presente en una estrecha trabazón entre el patrimonio natural y cultural. Las tobas de la zona de estudio son valiosos testimonios de la dinámica natural y sobresalen por su interrelación con la ocupación humana. Su génesis durante el Holoceno, cuando ya estaba habitado este espacio, establece una estrecha relación entre la evolución de estos edificios, la historia, el patrimonio cultural y natural, y la geodiversidad (González Amuchastegui y Serrano, 2007; Serrano *et al.* 2009; Pellitero *et al.* 2011), en un territorio de singular valor paisajístico. Pero además es necesario conocer su estructura y la evolución en el tiempo de cada edificio.

La zona ha sido descrita por Ortega Valcárcel (1974), González Pellejero (1986) y García Fernández (1992), quienes analizaron prioritariamente las formas estructurales y de modelado fluvial del valle y realizaron las primeras referencias a las tobas de Tubilla del Agua, Valdelateja, el Tobazo y Orbaneja del Castillo (González Pellejero, 1986). Con posterioridad se inició el estudio de la evolución ambiental cuaternaria de la cuenca alta del Ebro, en un intento de síntesis regional que conecte y valore los ambientes contrastados de la alta montaña y el fondo de valle (González Amuchastegui y Serrano, 1996,

2005; González Amuchastegui *et al.*, 2000, Serrano *et al.* 2009). Los edificios tobáceos también han sido objeto de estudio como yacimientos paleobotánicos (García Amorena *et al.* 2011, Carrión *et al.* 2012). Estos estudios muestran un sistema de formas complejo, con edificios que contienen fases de construcción y destrucción alejadas en el tiempo, desde el Pleistoceno hasta la actualidad en los edificios de mayores dimensiones.

El objetivo de este estudio es establecer la evolución geomorfológica y ambiental del Pleistoceno reciente y Holoceno en el Alto Ebro y sus consecuencias paisajísticas, desde Valderredible hasta Zamanzas. Para ello se establece una secuencia geomorfológica clara y una cronología de los edificios tobáceos y los elementos significativos asociados a las tobas (culturales, paleoflora, paleosuelos) y al paisaje, y se valora la incidencia de la ocupación humana en la evolución geomorfológica y paisajística de los valles del Alto Ebro. De este modo, se busca establecer un modelo de la evolución reciente de estos valles del Alto Ebro correlacionable con las montañas y depresiones de su entorno.

2. Metodología

El estudio de las huellas morfológicas y sedimentarias derivadas de la construcción tobácea en el Alto Ebro se ha centrado en el análisis de las acumulaciones tobáceas que salpican las laderas y rellenan los fondos de valle. Para ello, se ha llevado a cabo su cartografía, descripción morfoestratigráfica, litoestratigrafía y dataciones. Asimismo se analiza el significado geomorfológico de los depósitos asociados a diferentes ambientes contrastados —derrubios ordenados y acumulaciones coluvionares— de distintas fases.

La cartografía geomorfológica se ha realizado a dos escalas diferenciadas. Por una parte, una cartografía geomorfológica a escala 1/25.000 orientada a la localización de las tobas, su emplazamiento y génesis. Por otra, se ha realizado una cartografía de los edificios

más importantes a escala 1/5000 y 1/2500 con el objetivo de analizar su estructura. La utilización conjunta de ambas escalas permite delimitar la extensión de las formas tobáceas de cada fase, su evolución en detalle y establecer correlaciones morfoestratigráficas (Lukas, 2006) de los edificios tobáceos con las formas de erosión, los depósitos fluviales y de las laderas. Estos métodos posibilitan definir las principales fases de configuración de la red hidrográfica, desde el Pleistoceno medio hasta la actualidad, así como la localización temporal de cada edificio y la evolución del conjunto.

La reconstrucción detallada de cada edificio se ha realizado mediante el levantamiento de columnas litoestratigráficas verticales, re-

construcciones horizontales y establecimiento de facies mediante criterios litoestratigráficos. Se han clasificado, conforme a las clasificaciones de autores previos, facies detríticas calcareníticas (phytoclast e intraclast tufa, crossed tube facies), facies de origen físico-químico y biogénicas (tallos, tallos cruzados, estromatolíticas, phytohermios), facies de encharcamiento y de edafización (Buccino *et al.*, 1978; Ordóñez y García del Cura, 1983; Pedley, 1990; Pentecost, 2005), a las que se ha atribuido un código para su representación.

Finalmente se han datado 6 muestras de tres edificios tobáceos mediante acelerador de espectrometría de masas (AMS) aplicado a materia orgánica de paleosuelos y carbones

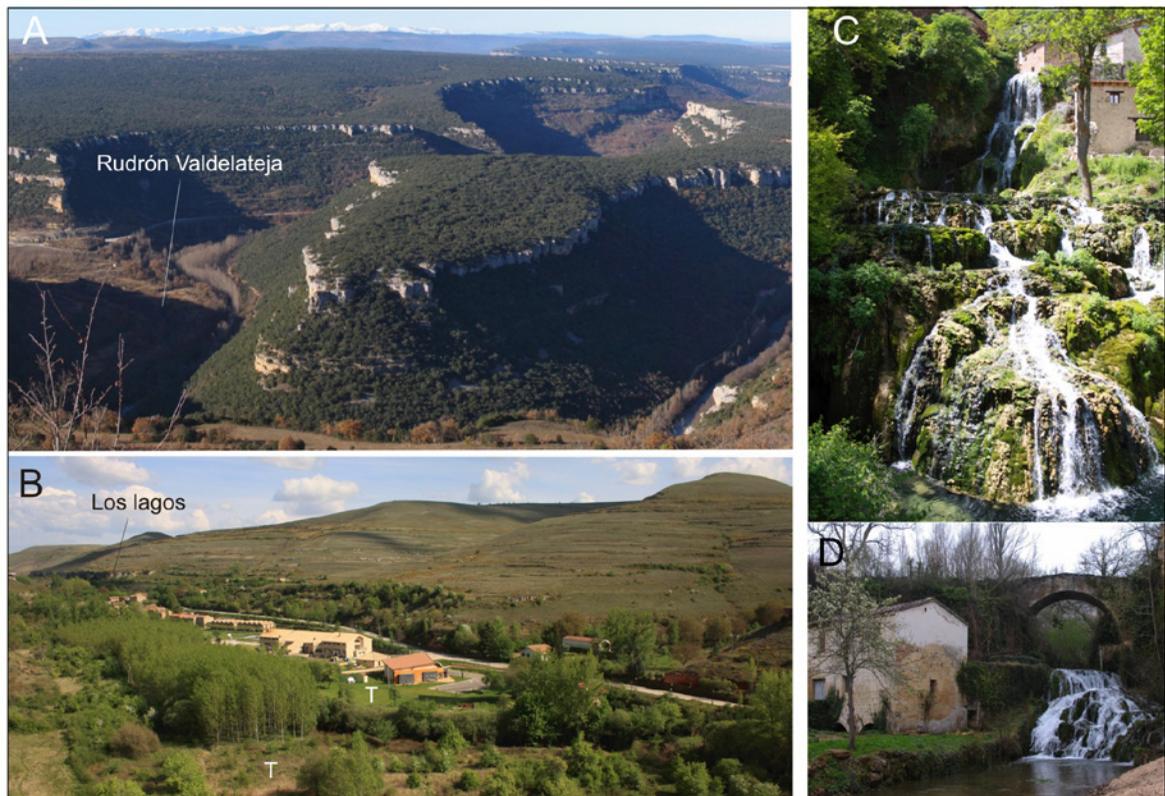


Figura 2. A. Cañones del Alto Ebro y localización del edificio tobáceo de Rudrón-Valdeleiteja en la confluencia con el Ebro. B. Valle de Sedano, localización del edificio tobáceo de Los Lagos. T, terraza calcarenítica. C, Orbaneja del Castillo, toba funcional. Molino de Los Lagos (Sedano), toba funcional.

Figure 2. Canyons of the High Ebro and tufa buildups of Valdeleiteja Rudrón in the confluence with Ebro river B. Sedano Valley, tufa buildup location of Los Lagos. T, calcarenite terrace. C, Orbaneja del Castillo, functional tufa. Molino de Los Lagos (Sedano), functional tufa.

contenidos en las tobas (Laboratorios de datación de la Universidad de Groningen y Beta Analytic). Las edades obtenidas mediante radiocarbono han sido calibradas mediante el programa Intcal09.14c (Reimer *et al.* 2009). En todos los casos se ha empleado 2 sigma (95,4%) de porcentaje de superficie comprendida en la distribución y la más elevada probabilidad de área relativa.

3. El contexto geomorfológico: rasgos estructurales y morfológicos

La zona de estudio se localiza (42°57'N-42°42'N/3°58'E-3°38'E) en la vertiente meridional de la Cordillera Cantábrica (Figura 1) con un relieve definido por hoces y cañones inscritos en amplias parameras. La estructura geológica, la acción fluvial y la karstificación son los factores responsables de la morfología de este sector (Ortega Valcárcel, 1974; González Pellejero, 1986; García Fernández, 1992; Serrano *et al.* 2009).

La complejidad morfoestructural del área deriva en un relieve plegado de cobertera donde alternan amplios sinclinales y apretados anticlinales dominados por las calizas y margas cretácicas. En los fondos de valle afloran margas calcáreas turonenses, y a techo se emplazan las calcarenitas bioclásticas, que afloran en el parameras de la Pata del Cid y las hombreras de Sedano; las calcarenitas y margas grises del Santoniense que afloran en las laderas; y las calizas, con dolomías, areniscas, arcillas y margas, del Santoniense-Campaniense que conforman las altas parameras de Sedano. Los mayores espesores de las series calcáreas y sus amplios afloramientos en las parameras actúan como colectores, y junto a la alternancia con las margas, favorecen la existencia de fuentes en los contactos entre las calizas y las margas a diferentes niveles estratigráficos. Las aguas sumidas en las parameras, circulando dirigidas por los buzamientos, afloran en los valles, en el contacto entre las calizas y las margas, en las porciones medias y bajas de las laderas. La sucesión estratigráfica es, pues, la responsable de la

existencia de fuentes vauclosianas (Pozo Azul, Fuentes de Tubilla) o de gravedad (Orbaneja, Rudrón) que alimentan a los ríos principales. Asociados a estas fuentes, se desarrollan el conjunto de sistemas tobáceos que caracterizan los fondos y laderas de los valles del Ebro, Sedano y Rudrón.

El relieve se caracteriza por amplias plataformas estructurales, ubicadas en torno a 900-1100 m. de altitud, alternantes con relieves estructurales poco acentuados, rellanos elevados a 1200 metros y crestas estructurales que no sobrepasan los 1.260 m. (Figura 2 A y B). Entre los amplios sinclinales que conforman el sinclinal colgado de La Lora y las plataformas sinclinales de Sedano y Bricia, la sucesión de pliegues apretados —anticlinal y combe de Huidobro, sinclinal colgado de La Mesa—, y los frentes monoclinales de La Penilla, se inscriben profundas incisiones de carácter fluvial y fluviokarstico. Las plataformas altas han sido retocadas por una superficie de erosión que configura la amplia planitud característica de los ámbitos sinclinales. Las parameras se desarrollan en calizas, areniscas, margas y dolomías; las calizas de las parameras han favorecido el desarrollo de una amplia variedad de formas kársticas (dolinas, lapiaces, sumideros y simas) a partir de las cuales se ha producido la infiltración y la circulación de agua hipogea, favoreciendo la conservación parcial de la morfología original, superficie de erosión, fluviales y estructurales.

El paisaje actual es consecuencia de una larga evolución en la que la paulatina incisión fluvial del río Ebro y sus afluentes, Rudrón y Sedanillo-Moradillo, ha elaborado una sucesión de hoces y cañones inscritos en las amplias plataformas erosivas y estructurales. Esta incisión se inicia a finales del Terciario sobre los materiales calcáreos y genera desniveles de hasta 600-700 m entre los fondos de valle y las gargantas, en una incisión fluvial y fluviokarstica lenta y larga en el tiempo que genera una amplia sucesión de meandros encajados adaptados a las líneas tectónicas principales y secundarias (González Pellejero,

1986). Como consecuencia de la intensa karsificación, las fases de incisión fluvial alternan con períodos de relleno tobáceo que generan terrazas tobáceas en los valles de Sedano y Rudrón, con características morfologías aplanadas, escalonadas en los fondos de los valles e inexistentes en los valles más encajados y cañones.

4. Los edificios tobáceos

Los edificios tobáceos de este sector del Alto Ebro se asocian a dos contextos geomorfológicos bien diferenciados, ladera y fondo de valle (Tabla 1) que determinan la tipología de las acumulaciones tobáceas y su magnitud.

En este trabajo, se realiza una descripción de las facies que componen los conjuntos tobáceos del Alto Ebro para su reconstrucción dinámica y de las variaciones genéticas y ambientales. Son numerosos los estudios centrados en la descripción y caracterización sedimentológica de las facies tobáceas; entre ellos, pueden destacarse los trabajos de Ordoñez y García del Cura (1983), Pedley (1990), Ford y Pedley (1996), Pentecost (2005), Arenas-Abad *et al.* (2010) y Vázquez-Urbez *et al.* (2011). En este estudio se ha seguido la clasificación ya clásica establecida por Pedley (1990) y Ford y Pedley (1996), quienes definieron las facies básicas de los depósitos tobáceos. Se han descrito las siguientes facies mediante sus códigos:

Tabla 1. Edificios tobáceos inventariados en el Alto Ebro.
Table 1. Inventory of the tufa bulups of the High Ebro Basin.

Río	Edificio	Contexto geomorfológico	Altitud m s.n.m.	Lugar
San Antón	Fuente Tobas	Ladera	~ 900/950	Terradillos de Sedano
	La Cárcava	Ladera	~ 900	Terradillos de Sedano
Rudrón	El Tobazón	Ladera	~ 850	Tubilla del Agua
	La Toba	Ladera	~ 850	Tubilla del Agua
	Tubilla-La Fuentona	Fondo de valle	810-710	Tubilla del Agua
	La Tobaza	Ladera	~850	Tubilla-Covanera
	Balneario	Fondo de valle	670	Valdelateja
	Valdelateja	Fondo de valle	660	Valdelateja
	Ebro-Rudrón	Fondo de valle	650-670	Valdelateja
Sedanillo	Los Tobizos	Ladera	~950	Moradillo de Sedano
	Fuente La Toba	Ladera	~900	Moradillo de Sedano
	Los Lagos-Sedano	Fondo de valle	770-790	Sedano
	El Moral	Fondo de valle	740	Sedano
	Tobazares-la Tobona	Ladera	~800	Covanera
	Las Tobazas	Ladera	~930	Gredilla de Sedano
Ebro	El Tobazo	Ladera	820-690	Villaescusa
	Cª del Agua-Orbaneja	Ladera	800-720	Orbaneja del Castillo
	La Tobaza	Ladera	~730	Orbaneja del Castillo
	El Tobazo	Ladera	~650	Tubilleja de Ebro

• **Depósitos tobáceos autóctonos.** Constituyen un fitohermio (Phytoherm tufa, Pft) con precipitación de carbonato cálcico in situ; son tobas autóctonas que presentan dos tipos de facies principales: facies compuestas por láminas gruesas (Phytoherm boundstone, Pedley, 1990), formadas por la calcificación de cianobacterias (Riding, 2002) que se generan en ambientes fluviales someros con escasa carga de fondo y en tobas asociadas a surgencias, siendo las tobas estromatolíticas el ejemplo más común (Ford y Pedley, 1996). Otro tipo frecuente es el que se asocia a estructuras vinculadas a las hidrofitas y macrofitas semiacuáticas (caráceas, briofitas) en posición vertical o parcialmente reclinadas paralelas a la dirección del flujo de agua (Phytoherm framestone, Pedley, 1990). Presentan una corteza carbonática en torno a los tallos, compuesta por láminas que pueden llegar a alcanzar los 2 mm. de espesor. Esta facies es muy común en zonas embalsadas aguas arriba de las barreras tobáceas o asociadas a canales inactivos.

• **Depósitos tobáceos clásticos.** Son depósitos alóctonos procedentes de la destrucción de acumulaciones tobáceas frecuentemente situadas aguas arriba (Clastic tufa, Pedley, 1990). En función de su tamaño se clasifican en facies macrodetríticas o microdetríticas (Ford y Pedley, 1996).

– Facies fitoclásticas (Pt): facies macrodetríticas constituidas por acumulaciones cilíndricas en disposiciones caóticas con hojas y porciones de ramas y troncos cementadas antes y después del transporte (Phytoclast tufa, Pedley, 1990). Se generan en corrientes someras con canales divergentes y en sistemas de barrera derivadas de la destrucción de edificios bioconstruidos aunque también pueden acumularse al pie de cascadas y en ambientes palustres (Pedley, 1990, Glover y Robertson, 2003).

– Facies oncoideas (Cot): facies macrodetríticas caracterizadas por una fábrica grano soportada con matriz fina en proporciones variables, generada por la destrucción de

tobas autóctonas (Cyanolith “oncoidal” tufa, Pedley, 1990). Su característica esencial es la estructura oncoide, generada por núcleos recubiertos de láminas calcáreas muy irregulares superpuestas y con forma oval. Pedley (1990) atribuye las formas esferoidales a ríos de alta competencia, las formas alargadas a regímenes de flujo lento, y las formas libres a aguas tranquilas.

– Facies intraclásticas (Ict): son facies macrodetríticas de limos y arenas (Intraclast tufa, Pedley, 1990) que se generan a partir del transporte de facies finas en canales fluviales y en torno a facies de tallos en cursos de muy baja competencia. Glover y Robertson (2003) destacan que su origen es el retrabajamiento de facies detríticas.

– Facies microdetríticas (Mdt): Facies definidas por la textura micrítica (Micritic tufa, Pedley, 1990), compuesta por carbonato de tamaño limos y arcillas. Su deposición se produce en ambientes lacustres asociados a edificios de retención o palustres con aguas de muy baja competencia. Otras facies microdetríticas, que sólo son detectables mediante análisis petrológicos, como las Peloidal tufa (Pedley, 1990), no han sido descritas en los edificios tobáceos analizados.

4.1. Edificios tobáceos de ladera

Son edificios asociados a surgencias kársticas, localizados en las laderas de los valles y cañones de Ebro, Sedanillo-Moradillo, y Rudrón, en el contacto entre las calizas y las margas; sus dimensiones son muy variadas, si bien se caracterizan todos ellos por la planitud somital y las fuertes pendientes de sus frentes, con un dominio de las facies de cascada. Presentan fuertes desniveles y escaso desarrollo, son construcciones simples, en las que no es posible distinguir diferentes fases de construcción. Se trata de depósitos tobáceos autóctonos (Pentecost y Viles, 1994), generados a partir de los procesos de precipitación carbonatada de origen físico-químico por gaseificación de las aguas, consecuencia del sal-

to de agua que se genera desde la surgencia kárstica, así como los procesos de precipitación asociados a la importante colonización de algas, musgos y bacterias existente en estos puntos. Constituyen edificios de cascada de entre 50 y 100 metros de desnivel, depósitos de acreción progradante de morfología irregular y en los que la precipitación ha superado a los procesos de erosión durante largos períodos (Pentecost, 2005). Estos edificios constituyen auténticos fitohermios (Pedley, 1990), conformados por facies biogénicas en las que juega un papel fundamental la calcificación de briofitas, musgos, algas y cianobacterias. Destacan los edificios de Orbaneja del Castillo y el Tobazo:

- **Orbaneja del Castillo.** Se localiza en un meandro encajado del Ebro culminado por formas ruñiformes con morfologías kársticas (Figura 3). El edificio se origina en el contacto entre las calizas masivas y dolomías de edad Turonense-Coniacense, y las margas grises del Turonense inferior. Es un edificio de cascada que enlaza la surgencia de la Cueva del Agua, a 750 m, responsable de la construcción del edificio tobáceo, todavía activo, con el fondo del valle. Presenta 190 m de largo y más de 650 m de ancho, con 80 m de desnivel. El edificio es plenamente activo, con cascadas en las que pueden apreciarse los procesos de precipitación tobácea actuales (Figura 2C). El rellano culminante y el desnivel hacia el Ebro han posibilitado el soporte de actividades protoindustriales ligadas a los molinos hidráulicos, y el desarrollo de una población con tipología urbana, ocupando el edificio tobáceo. Por todo ello, ha sido catalogado como lugar de interés geomorfológico sobresaliente (Serrano *et al.* 2009) que complementa su designación como Conjunto Histórico Artístico (BOE, 18/08/1993) destacando el aspecto natural condicionante de su posterior desarrollo humano.

- **El Tobazo.** Edificio tobáceo de ladera asociado a una surgencia kárstica (Figuras 3 y 4), donde afloran las aguas procedentes del páramo de La Lora. Es un edificio de cascada con la fuente principal ubicada a 827 m, en el con-

tacto entre las calizas masivas, las dolomías de edad Turonense-Coniacense, y las margas grises del Turonense inferior. El edificio, de 410 m de longitud y 310 m de ancho, tiene la culminación aplanada y se escalona en un desnivel de 120 m hasta el cauce del Ebro. Se caracteriza por las facies estromatolíticas y laminadas junto a facies briofíticas, todas ellas en cascada, hasta el fondo de valle. Es un edificio activo, muy intervenido por la acción humana (embalse, canalización de las aguas, antigua explotación hidroeléctrica), pero con procesos de precipitación tobácea activos en la actualidad.

- **Otras formaciones:** En las laderas de los valles del Rudrón, Ebro y Sedanillo-Moradillo, por debajo del contacto entre las calizas y las margas, se suceden pequeños edificios asociados a las surgencias (Figura 3, Tabla 1). Se caracterizan por la citada culminación plana y los verticalizados frentes por los que circula el agua, con depósitos lobulados y bloques desprendidos a sus pies. En algunos casos muestran claras señales de inestabilidad (La Tobaza, Figuras 3 y 4) por la construcción del depósito y la canalización del agua.

4.2. Edificios tobáceos de fondo de valle

Los edificios de fondo de valle constituyen el relleno de amplios sectores de los valles de los ríos Rudrón (Figura 5), Sedanillo-Moradillo y algunos de sus afluentes. Poseen una tipología variada de depósitos tobáceos autóctonos y alóctonos, con diferentes morfologías asociadas (terrazas calcareníticas, edificios de retención, edificios en cascada, tobas lacustres). Destacan los edificios de barrera y retención que se prolongan aguas arriba en importantes rellenos calcareníticos, aunque también hay ejemplos de edificios de transición entre los de cascada y los de barrera.

4.2.1. Edificios de barrera

Los edificios de barrera se asocian a la presencia de pequeños saltos de agua vinculados

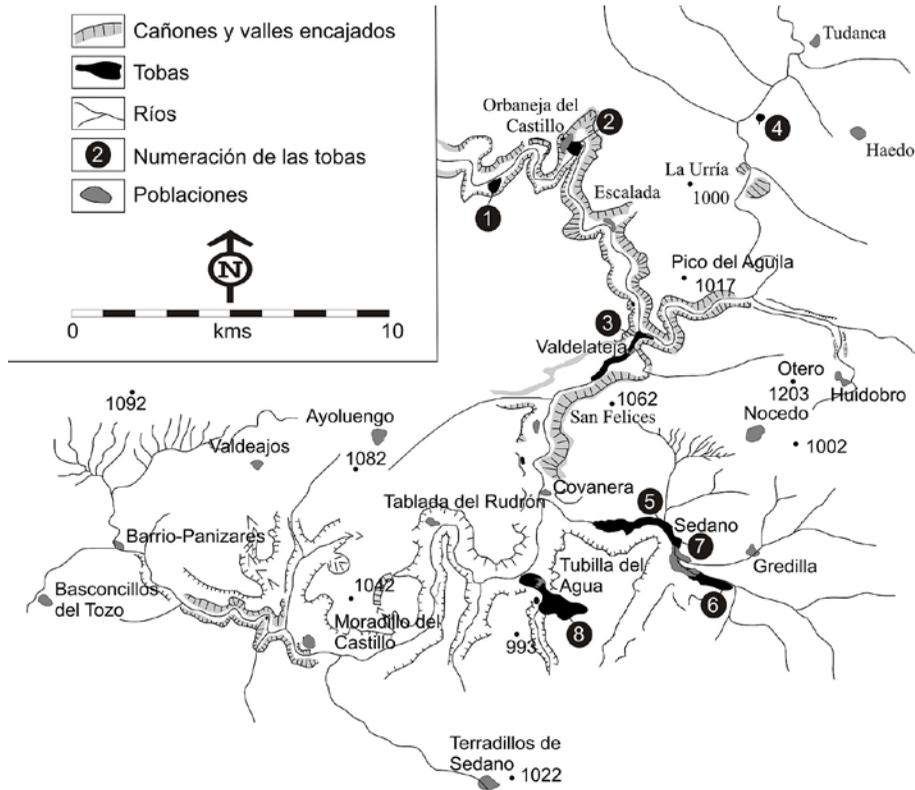


Figura 3. Localización de los principales depósitos tobáceos del Alto Ebro-Rudrón.
 1, El Tobazo de Villaescusa. 2, Orbaneja del Castillo. 3, Rudrón-Valdeleiteja. 4, El Tobazo de Tubilleja.
 5, Terrazas de Sedano. 6, Sedano-Los Lagos. 7, La Tobaza. 8, Tubilla del agua.
 Figure 3. Location of the main tuffaceous deposits of High Ebro-Rudrón system. 1, El Tobazo de Villaescusa.
 2, Orbaneja del Castillo. 3, Rudrón-Valdeleiteja. 4, El Tobazo de Tubilleja. 5, Terrazas de Sedano.
 6, Sedano-Los Lagos. 7, La Tobaza. 8, Tubilla del agua.

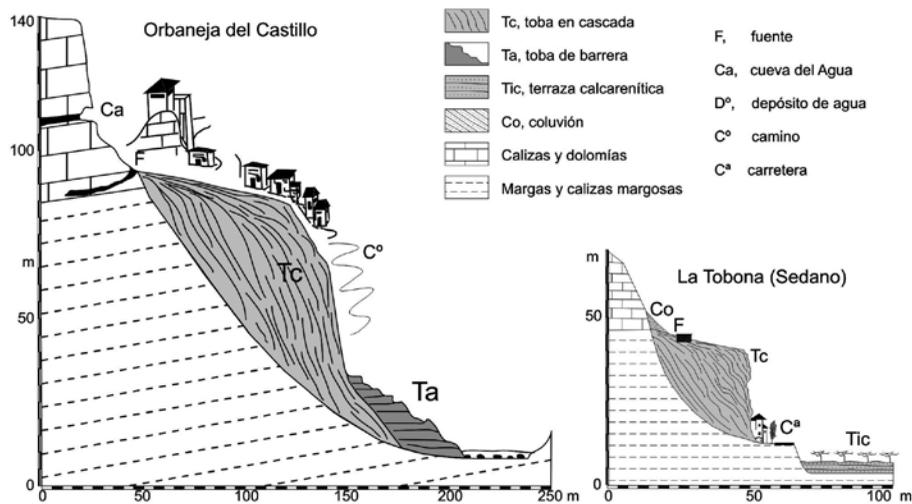


Figura 4. Edificios tobáceos de Orbaneja del Castillo y La Tobona (Sedano).
 Figure 4. Tufa buildups of Orbaneja del Castillo and La Tobona (Sedano).

a estrechamientos de origen estructural. Las rupturas de pendiente facilitan los procesos de precipitación carbonatada de origen físico-químico por gasificación de las aguas, así como los procesos de precipitación asociados a la importante colonización de algas, musgos y bacterias. En ellos predominan las facies de musgos, tallos cruzados y verticales (Ordóñez et al, 1997), así como episodios estromatolíticos.

• **Sedano-Los Lagos.** Complejo tobáceo formado por dos edificios de barrera, Cotillo (barrera 1) y Peña Hueca (barrera 2) (Figura 3). Actualmente ambos edificios no son funcionales y el río se encaja en ellos, drenando las cubetas internas por una incisión inscrita en la barrera 2, que a su salida genera una cascada tobácea plenamente funcional (Figura 2D). Ambos edificios de cascada, cuyos techos se sitúan a 10 y 3-6 m. respectivamente, presen-

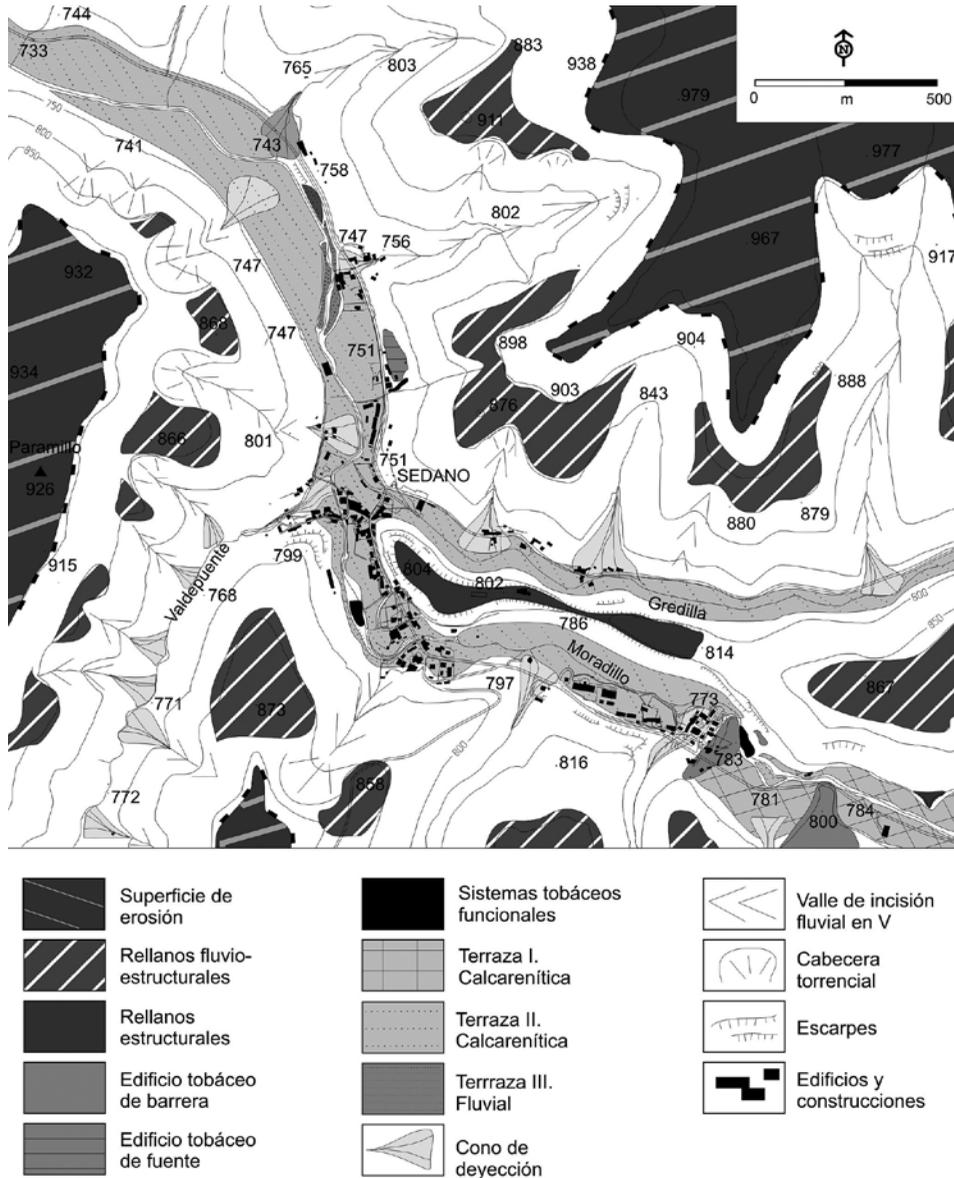


Figura 5. Esquema geomorfológico de la porción central del valle de Sedano.
 Figure 5. Geomorphological map of the central area of Sedano valley.

tan un importante desarrollo superficial a ambos lados del cauce actual del río Moradillo y corresponden a episodios cronológicamente diferenciados:

Barrera 1 (Cotillo): Edificio de 40 m de ancho por 10 de alto (Figura 6) que forma una muralla transversal, abierta en su extremo septentrional, y con afloramiento de facies bioconstruidas e intercalaciones de facies detríticas (phytoclast e intraclast tufa). Constituye un edificio de barrera.

Barrera 2 (Peña Hueca): Edificio de 50 m de ancho y 3-6 de alto (Figura 6) abierto en su porción septentrional, donde se aprecia su estructura. Dominan las facies bioconstruidas asociadas a la colonización de los musgos y la acción de algas y bacterias. Presenta intercalaciones de lechos calcareníticos en la

porción media y alta mientras que el frente concluye con distintas facies de cascada. Es un edificio de retención que reposa sobre un depósito de derrubios ordenados atribuido a las últimas fases frías del Pleistoceno reciente (Figura 7). La acumulación tobácea presenta bloques intercalados en las zonas más próximas a la ladera, y por tanto las más alejadas del antiguo talweg. El afloramiento muestra un coluvión heterogéneo formado por bloques con matriz, muy diferente de los derrubios ordenados cuyas facies denotan una morfogénesis fría.

Barrera actual: En la incisión de la barrera 2 se ha formado un nuevo edificio tobáceo asociado a un salto de agua de 2-3 m de desnivel.

- **Tubilla del Agua.** Sistema tobáceo de 2,3 km de desarrollo, que salva un desnivel próxi-

LOS LAGOS-SEDANO:

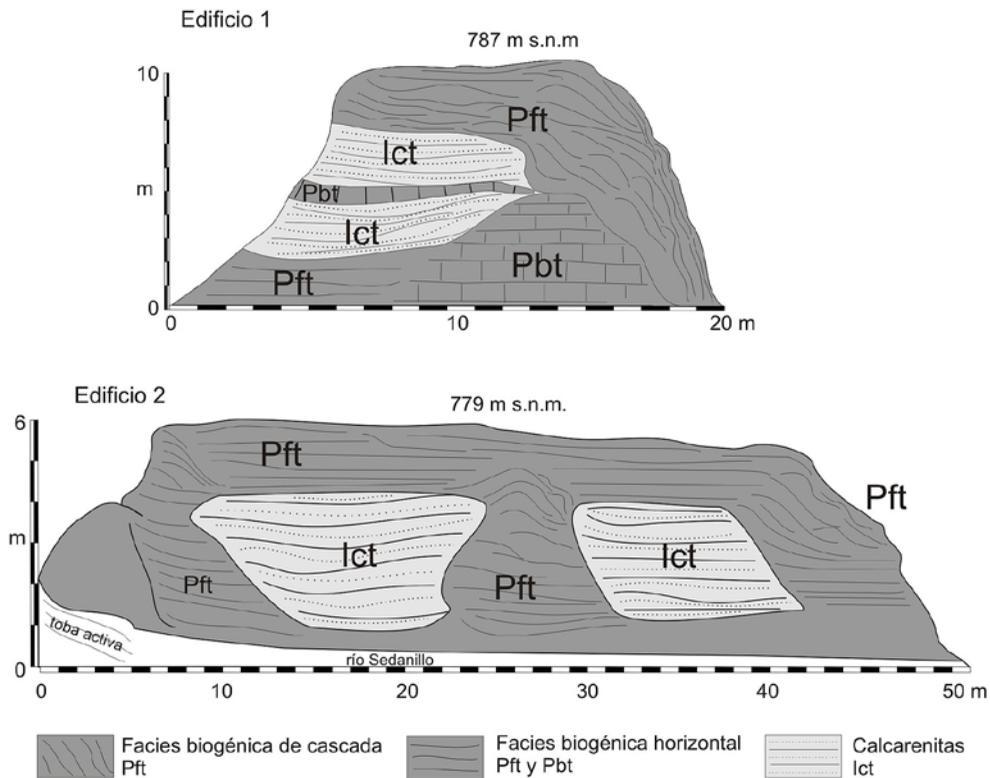


Figura 6. Perfiles litoestratigráficos del edificio tobáceo de Los Lagos (A)
 Figure 6. Lithostratigraphic profil of the tufaceous buildup of Los Lagos (A)

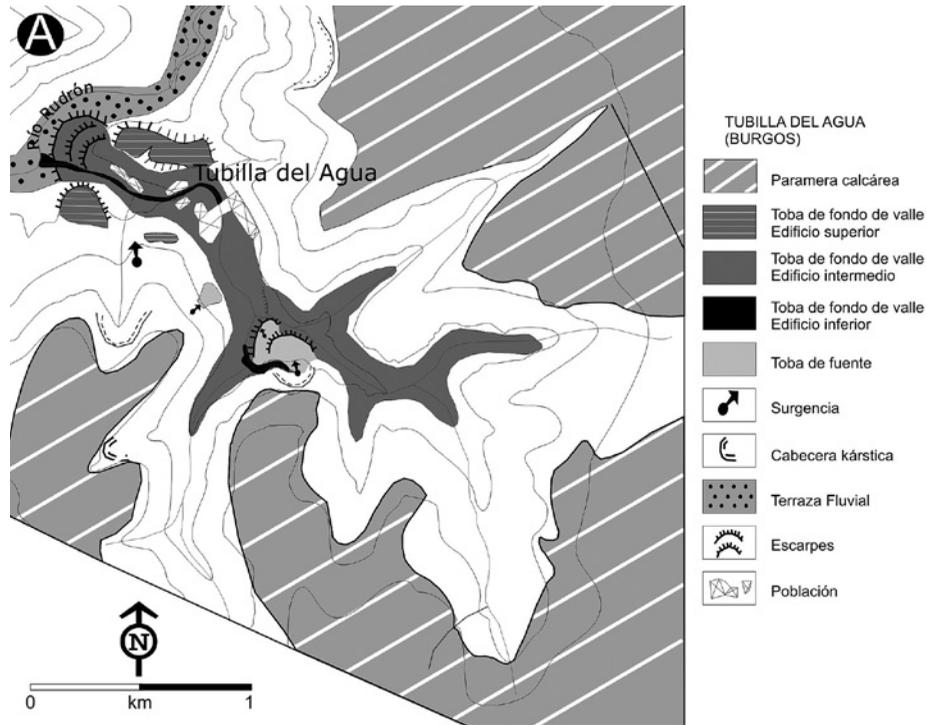


Figura 8. Esquema geomorfológico del complejo tobáceo de Tubilla del Agua.
 Figure 8. Geomorphological map of the Tubilla del Agua tufaceous system.

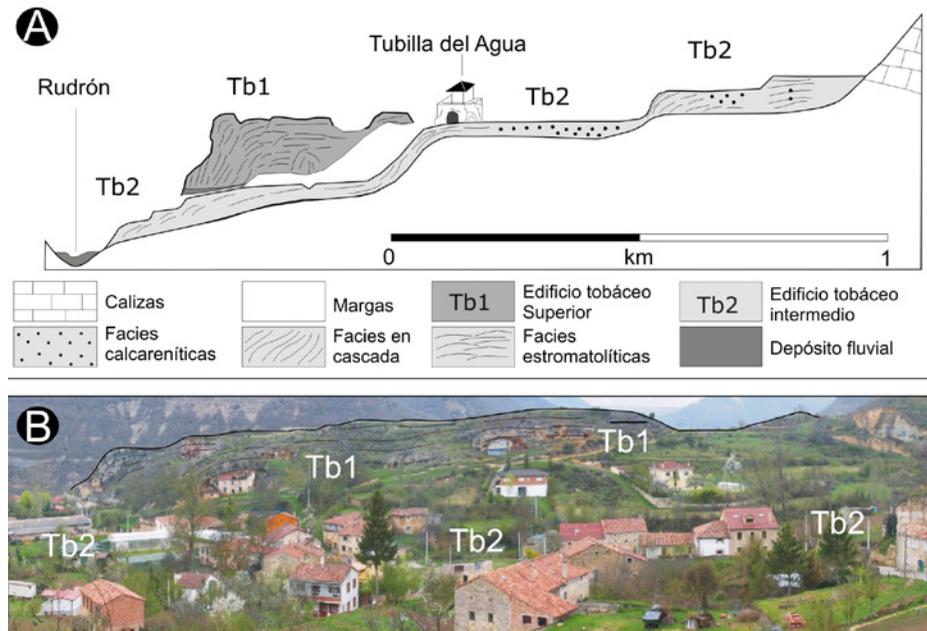


Figura 9. Tobs de Tubilla del Agua.. A, Perfil geomorfológico. D, Vista de la porción inferior del edificio tobáceo. Tb1, Edificio tobáceo superior. Tb2, Edificio tobáceo intermedio.
 Figure 9. Tubilla del Agua tufaceous system. A, Geomorphological profil. D, View of the lowest part of the tufaceous system. Tb1, Upper tufaceous buildup. Tb2, Médium tufceous buildup.

edificio con el fondo del valle, mediante una secuencia de cascadas tobáceas y rellanos calcareníticos. Es el de mayor extensión, con 1500 m de longitud y hasta 200 m de anchura en las porciones superior e inferior. Su estructura está formada por una sucesión de niveles biogénicos, facies de musgos con oncolitos y tallos, alternantes con calcarenitas detríticas (Figuras 8 y 9).

– Edificio inferior (tb3): Inscrito en el edificio medio, es un complejo activo de 900 m de largo y una decena de ancho formado por una sucesión de cascadas y remansos con plena funcionalidad. Alternan morfologías muy variadas, en cascada de amplio desarrollo, tipo cron, según la clasificación de Pentecost y Viles (1994).

• **Rudrón-Valdelateja** (Figuras 2A y 3): Sistema de cascadas y rellanos tobáceos en donde se diferencian tres niveles: uno superior colgado 20 m sobre el cauce actual, otro medio, a 10 m, ambos inactivos y un último inferior, que enlaza con las aguas del Ebro. En total el complejo tobáceo ocupa una extensión que supera los 2 kilómetros en el fondo del valle, con una anchura máxima de 130 m, y un desnivel de 120 m. El desnivel entre los valles del Rudrón y el Ebro implica que el primero quedó colgado respecto al del Ebro durante la incisión de este río, con una pendiente media entre ambos de 1,1⁰ (5,5%). Este desnivel propició una conexión mediante rápidos que favorecieron la precipitación de carbonatos y la construcción tobácea, posiblemente relacionados con un gran deslizamiento de ladera aguas arriba (González Pellejero, 1986).

4.2.2. Depósitos calcareníticos

En los fondos de los valles se localizan rellenos detríticos originados por la destrucción parcial de los edificios tobáceos situados aguas arriba. El análisis estratigráfico de estas formaciones muestra un medio con sedimentación tobácea discontinua e irregular, en la que alternan períodos de sedimentación de

limos y restos tobáceos detríticos (phytoclast e intraclast tufa, crossed tube facies, Buccino *et al.*, 1978, Ordóñez y García Del Cura, 1983), con facies asociadas a aguas tranquilas, con más o menos energía (estromatolíticas y biogénicas) y facies de encharcamiento con presencia de materia orgánica.

Entre estos depósitos destaca la terraza tobácea de Sedano (Figuras 5 y 11) que ocupa el fondo del valle a lo largo de 2 km, con una anchura de 230 m, y en la actualidad está incidida por el río. Presenta incisiones de los valles laterales y sobre su superficie reposan conos de deyección que retocan su morfología aplanada. Esta terraza presenta dos niveles (Figura 5) separados por un edificio tobáceo de barrera con morfologías onduladas formado por estructuras de origen biogénico asociadas a un antiguo salto de agua poco pronunciado. Se trata de una terraza calcarenítica generada por la destrucción de los edificios de barrera situados aguas arriba, que alternan con facies biogénicas, de tallos y musgos, así como fases de edafización, sobre las que reposan niveles detríticos (Intraclast tuffa) que forman el amplio relleno del valle y le confieren la característica morfología aplanada (Figuras 5 y 11).

4.3. La edad de los depósitos tobáceos

Las 8 dataciones existentes en los depósitos tobáceos, de las cuales 6 han sido realizadas para este trabajo (Tabla 2) permiten situar las tobas en su contexto cronológico. En Tubilla del Agua el edificio superior, colgado a 43 m sobre el paleocauce del Rudrón, presenta una edad entre 26,5-27,7 cal ka BP y 29,1-29,9 cal ka BP. Este edificio se generaría durante el Pleistoceno Reciente (MIS 2), inmediatamente anterior a los derrubios ordenados que modelan las laderas de los valles estudiados. Existe una mención que sitúa en 300.000 años un estróbilo de *Pinus nigra* (Carrión *et al.* 2012), sin embargo las dataciones recientes por AMS parecen confirmar una edad más reciente, Pleistoceno superior, para estos edificios, acorde con la cronología estudiada en el Ebro en la zona de Frías.

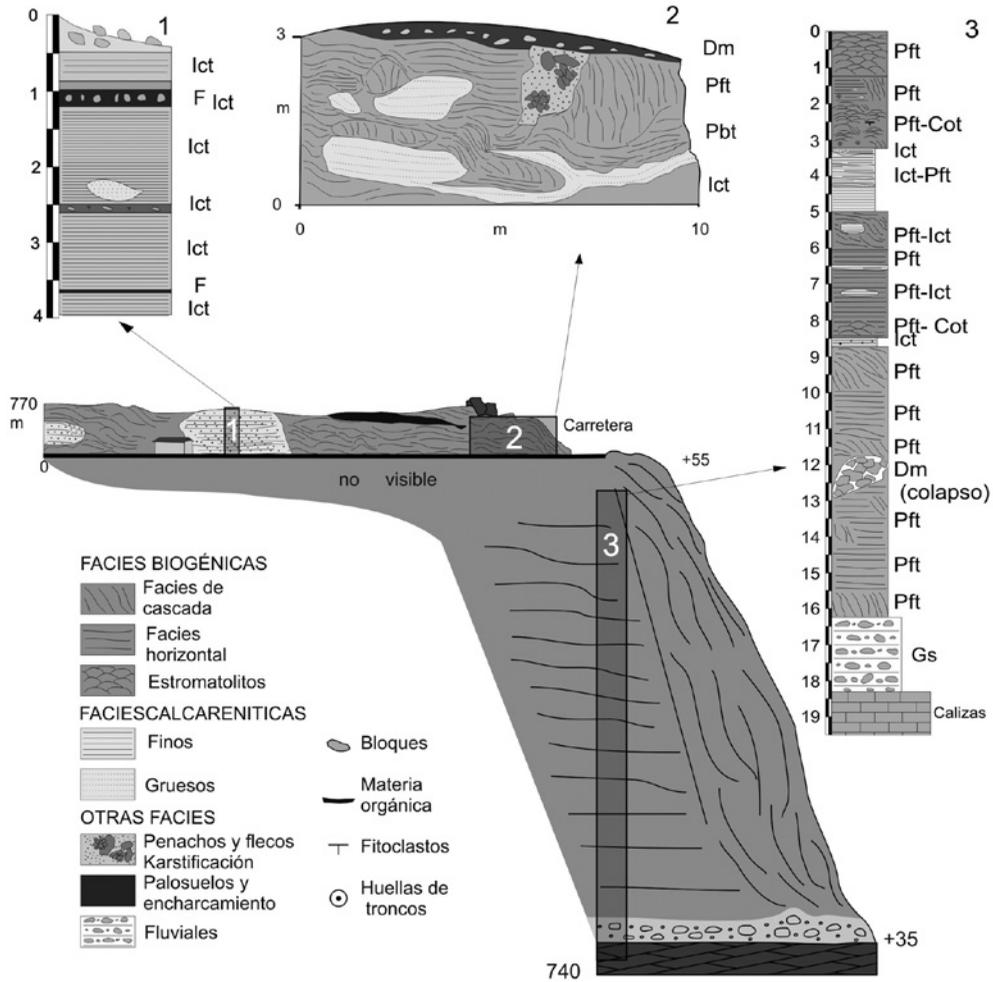


Figura 10. Tobas de Tubilla del Agua. Perfil idealizado y columnas litoestratigráficas del edificio tobáceo superior. Pft, Phytoherm tufa. Cot, Cyanolith oncoidal tufa. lct, intraclast tufa. Dm, diamicton masivo. Gs, Gravas estratificadas. F, finos.
 Figure 10. Tubilla del Agua tufaceous system. Model profil and lithostratigraphic columns of the high tufa buildup. Pft, Phytoherm tufa. Cot, Cyanolith oncoidal tufa. lct, intraclast tufa. Dm, diamicton masivo. Gs, Stratified gravels. F, finos.

En el Edificio Medio de Tubilla del Agua hemos obtenido una edad de 4,2-4,4 cal ka BP, y existía una datación previa de 2,7-2,8 cal ka BP (García Amorena *et al.* 2011), lo que sitúa este edificio en el Holoceno reciente (Subboreal).

Las muestras pertenecientes al edificio tobáceo superior (Tubilla 4 y Tubilla 7) y al medio (Tubilla 1) permiten confirmar su génesis en dos fases distintas. Entre ambos periodos, du-

rante el LGM, Tardiglacial y Holoceno inicial, se aprecia una fase de dismantelamiento del Edificio Superior, y de incisión del valle del Rudrón, hasta dejar colgado el edificio a 55 m sobre el cauce actual.

Una datación última de 1,3-1,5 cal ka BP en el edificio tobáceo inferior de Tubilla del Agua (García Amorena *et al.* 2011; Carrión *et al.* 2012), sin precisar el lugar en las publicaciones, señala la fase de construcción última del

edificio inferior, que permanece activo.

En Sedano la terraza calcarenítica muestra una edad de 5,5-5,6 cal ka B.P. y 4,3-4,4 cal ka BP, coetánea del edificio medio de Tubilla. Se trata de una fase de construcción holocena, concretamente en el final del Atlántico y del Subboreal. Este periodo ha sido registrado también en los ríos Purón y Molinar (González Amuchastegui y Serrano, 2007), consolidándose como una fase de construcción tobácea en el Alto Ebro asociada

da a unas condiciones templadas y húmedas del final del Atlántico y el Subboreal.

5. Discusión

5.1. Evolución geomorfológica

Las acumulaciones tobáceas analizadas corresponden a distintas fases de precipitación carbonatada, de manera que se han definido

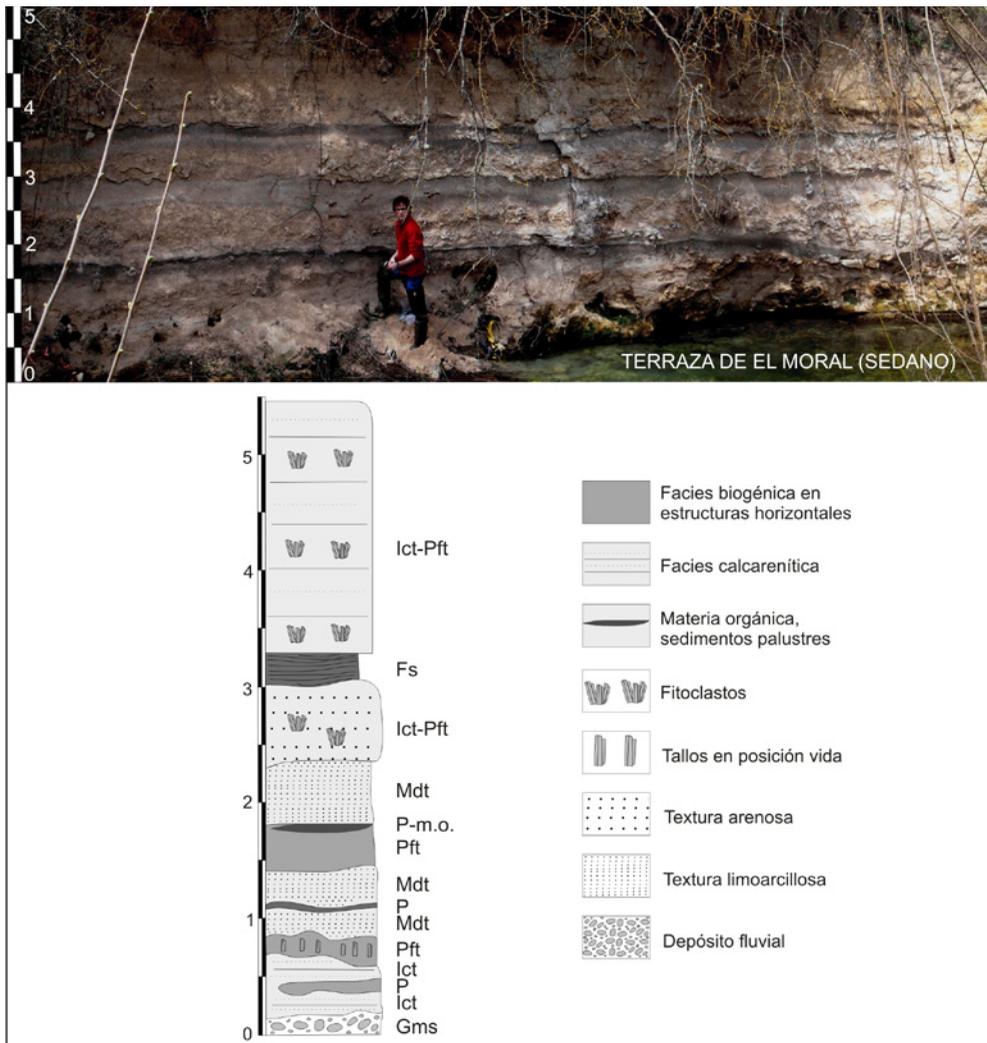


Figura 11. Perfiles litoestratigráficos del edificio tobáceo de la terraza calcarenítica de Sedano. Pft, Phytoherm tufa. Ict, intraclast tufa. Fs, Finos estratificados. Mdt, Microdetrital tufa. P, Paleosuelo. Mo, Materia Orgánica Dm, diamictón masivo. Gms, Gravas masivas estratificadas.

Figure 11. Lithostratigraphic profile of the calcrenite terrace of Sedano. Pft, Phytoherm tufa. Ict, intraclast tufa. Fs, Stratified fines. Mdt, Microdetrital tufa. P, Paleosol. Mo, organic matter. Dm, diamicton masive. Gms, Masive stratified gravels.

Tabla 2. Dataciones AMS realizadas en el Alto Ebro
 Table 2. AMS Datations of the High Ebro Basin

Número Muestra	Complejo Tobáceo	Posición Edificio	Facies ¹	Cronología C ¹⁴ a BP	Cronología 2 σ cal a BP ²
GrA-38017	Tubilla 1	Medio	M.O.	3950±35	4290-4450
TUAG.BU.01 ³	-	Medio	CaCO ₃	2650±40	2730-2850
TUAG.P ³	--	Inferior	CaCO ₃	1570±40	1370-1540
GrA-38059	Tubilla 4	Superior	M.O.	24620±120	29120-29910
GrA-38029	Tubilla 7	Superior	M.O.	22410±100	26570-27760
Beta-271244	SedanoCM2	Medio	M.O.	4840±30	5580-5620
Beta-271245	SedanoEM3	Medio	M.O.	4780±30	5470-5590
Beta-271246	SedanoHM4	Medio At	M.O.	3950±20	4380-4440

1. M.O. Materia orgánica. 2. Calibración realizada con la aplicación Intcal09.14c Uso de 2 sigma y más elevada probabilidad de área relativa (Reimer *et al.* 2009). 3. Amorena *et al.* 2011.

cuatro fases de crecimiento tobáceo. El significado ambiental de los derrubios ordenados y las acumulaciones tobáceas cuaternarias, su posición morfoestratigráfica y la datación por radiocarbono de 6 muestras (Tabla 2), tres en Tubilla del Agua y 3 en el río Moradillo, permiten establecer la evolución geomorfológica para el conjunto del área, con 4 fases de construcción tobácea:

1.- Fase de construcción tobácea. Fase antigua de formación de las tobas más altas (Tubilla del Agua, Sedano-Los Lagos y Rudrón-Valdelateja). Previa al último máximo frío (LGM), datadas en torno a 29-26 ka (Tabla 2) y reposando sobre ellas derrubios ordenados de origen frío, su periodo de formación finalizaría en el MIS 2, poco antes del último algi-do, por lo que se asocian a un periodo templado situado entre dos fases frías. Dadas las condiciones de avance glaciar registradas en la Cordillera Cantábrica en torno a 40 ka BP (Jalut *et al.* 2010, Moreno *et al.* 2010, Serrano *et al.* 2012a y 2012b), estos edificios podrían haberse construido entre esta fase y el LGM.

2.- Fase de destrucción de los edificios tobáceos. Paralización de los procesos de precipitación tobácea y desarticulación de los edificios como consecuencia del cambio en las condiciones ambientales hacia una fase fría. El periodo de incisión comprendería gran parte del Pleistoceno reciente final, y

desmantelaría estos edificios, colgados 30 m sobre el río Rudrón. Este desmantelamiento e incisión significa un abrupto cambio dinámico y ambiental que afecta a la mayor parte del Pleistoceno final, coincidiendo con el momento de formación de importantes depósitos de derrubios ordenados de tipo periglacial. En los ámbitos del interior peninsular con altitudes superiores a los 600 m., las fases frías recientes se han caracterizado por la formación de derrubios estratificados (Asensio *et al.*, 1994; González Martín *et al.*, 2000), siendo éstos los depósitos correlativos de la morfogénesis periglacial dominante en el MIS 2. Correspondería, pues, al recrudescimiento climático del LGM, cuando el medio respondió mediante la desarticulación de los depósitos tobáceos anteriores y la génesis de importantes depósitos de derrubios estratificados de ladera, especialmente patentes en las proximidades de la localidad de Sedano.

3.- Fase de construcción tobácea. Segunda fase de construcción de edificios que reposan sobre los depósitos fríos del Cuaternario reciente contemporáneos del LGM. Se generarán, pues en un periodo Fini-Pleistoceno u Holoceno inicial. Estas formaciones se pueden correlacionar con las tobas datadas en los ríos Purón y Molinar, en el Ebro, datadas al inicio del Holoceno, entre en 8,3 ka y 5,7 ka, con continuidad de algunos edificios hasta hace 4,7 ka. Los bloques y coluviones insertos en

las tobas denotan condiciones templadas en las laderas, sin facies de ordenación ni gelifluxión, señalando la conclusión de las condiciones frías, así como el carácter discontinuo de la precipitación carbonatada a lo largo de este periodo. Las fases cálidas y húmedas por su parte, han facilitado las condiciones necesarias para el desarrollo de importantes relleños tobáceos en el mundo mediterráneo, considerándose los depósitos correlativos de importantes fases de karstificación dominantes durante el MIS 1 (Vaudour, 1986, Horvatincic et al, 2000, Ordóñez et al, 2005). De este modo, coinciden con una fase de construcción tobácea que en zonas próximas (González Amuchastegui y Serrano, 2007) se prolonga a lo largo del Holoceno hasta el Subboreal.

4.- Fase destrucción tobácea. Periodo de erosión y destrucción tobácea que se sitúa entre las fases de construcción Preboreal y el Subboreal. Unas condiciones más frías y la sequedad relativa de estos periodos que afectaría a la cubierta vegetal podrían generar un ambiente propicio para la destrucción tobácea. Sin embargo, esta fase no afecta a todos los edificios y tiene una menor entidad que la anterior, en la cual no sólo se produce el desmantelamiento de tobas, sino también la incisión en el sustrato. Esta fase puede atribuirse a cambios en el sistema natural, de orden pequeño y sin implicaciones generales, o a las primeras intervenciones antrópicas en el medio, con respuestas diferenciadas.

5.- Fase de construcción tobácea. Tercera fase de construcción tobácea, atribuida al Atlántico Final y Subboreal a partir de las dataciones de Tubilla del Agua y Sedano, hace entre 2,7 y 4,4 ka. El Subboreal se muestra como un periodo especialmente propicio para la construcción tobácea tal y como queda reflejado en las muestras datadas en los edificios intermedios de Tubilla, Moradillo y los de Rudrón-Valdelateja, y en los valles próximos de la cuenca del Ebro, Purón y Molinar (González Amuchastegui et al. 2000; González Amuchastegui y Serrano, 2007). El fin de las condiciones muy frías y el paso a un período más cálido fue testigo de la recupe-

ración de las condiciones cálidas y húmedas y de la cubierta vegetal, generándose un ambiente propicio para la construcción tobácea, el relleno de los valles fluviales en Moradillo, Tubilla, Rudrón y Ebro, y la construcción de importantes edificios tobáceos de ladera, como los de Orbaneja y el Tobazo.

En este sentido llama la atención el hecho de que el período Subboreal sea tan activo desde el punto de vista de la precipitación de carbonatos pues en el mundo mediterráneo se produce una ralentización de los procesos de crecimiento tobáceo, como consecuencia de un empeoramiento climático y la expansión de las prácticas agrícolas (Vaudour, 1994; Goudie et al., 1993).

6.- Fase destrucción tobácea. Fase de incisión y destrucción parcial de los edificios tobáceos y encajamiento de la red fluvial a partir del Subboreal, con posterioridad a 3,9 ka, y para el conjunto de los ríos de la cuenca alta del Ebro, proceso que se intensifica durante el Eneolítico-Bronce y Hierro. En Sedano, la incisión de las terrazas calcareníticas y los conos de deyección que reposan sobre éstas, señalan una degradación de las laderas con rápidos transportes de sedimentos en las cuencas pequeñas, y un incremento de la capacidad de incisión en las mayores. En la zona de estudio el megalitismo se desarrolló durante el periodo Subboreal (Delibes et al. 1993; Utrilla y Rodanés, 1997; Moreno, 2001) y la incisión de las terrazas es contemporánea del empobrecimiento de la cubierta vegetal y del coluvionamiento generalizado de las laderas, en cuyo interior se han hallado restos arqueológicos. El megalitismo exigió una organización social de cierta complejidad y una intensa intervención sobre un medio caracterizado por la fragilidad, sobre todo en lo que a las acumulaciones tobáceas se refiere, constituyendo una intensa presión sobre el medio en todo el alto Ebro.

Dado que estos procesos serán posteriores a 3,9 ka y no existen crisis climáticas pronunciadas en este periodo (Subatlántico y Atlántico), pero sí un poblamiento intenso (Edad del Bronce y Edad del Hierro), la intervención hu-

mana sobre el territorio y los consiguientes cambios en los procesos geomorfológicos de ladera y de fondo de valle, es la hipótesis para la destrucción de las tobas. En este sentido, apoya esta hipótesis la presencia constatada de procesos de precipitación tobácea plenamente activos en la actualidad.

La intensificación de la incisión en las tobas durante el Eneolítico-Bronce y Hierro es un proceso generalizable a numerosos valles peninsulares y del mundo mediterráneo (González Martín y Rubio, 2000; Guendon et al, 2003) y la interpretación ambiental para los cambios en la dinámica de las tobas es válida hasta la última incisión de los valles, cuando la influencia antrópica conduce a un proceso de incisión generalizado, al igual que ocurrió en numerosos parajes del mundo mediterráneo (Vaudour, 1986, 1994; Goudie *et al.*, 1993; Weisrock, A., 1986). Las causas de esta incisión parecen, pues, relacionarse con la ocupación humana del territorio, inicialmente incipiente y poco a poco cada vez más intensa, provocando profundos cambios en el paisaje derivados de la intensificación de usos a los que fue sometido el territorio. Por todo ello puede definirse la evolución holocena en esta zona como una secuencia climato-antrópica, tal y como fue establecido para otros ámbitos del mundo mediterráneo (Vaudour, 1994).

7.- Dinámica actual. Con posterioridad a la última fase de destrucción y ya en tiempos recientes, algunos sistemas tobáceos de la zona de estudio inician dinámicas de construcción tobácea que son plenamente funcionales en la actualidad, tal y como ocurre en otros ámbitos donde estos procesos han sido monitorizados, estableciéndose importantes tasas de precipitación tobácea (Vázquez-Urbez et al, 2010).

5.2. Implicaciones ambientales

En relación con las condiciones ambientales en las que se suceden las fases de construcción y destrucción tobácea, se pueden realizar varias observaciones. En las proximidades del Alto Ebro (Campoo y Valle del Trueba, a

50 y 40 kms de distancia respectivamente) se ha detectado un periodo de frío intenso y sequedad, con glaciares de menor extensión que en fases glaciares previas, y relacionados con el LGM (Serrano *et al.* 2012a). Las tobas más antiguas serían anteriores a este periodo, que se corresponde con un período de incremento en la producción de materia orgánica en los Picos de Europa, que alcanza el máximo en torno a 21-22 ka (Serrano *et al.* 2012b). A esta fase templada le seguiría un periodo frío y seco, coincidente con el LGM en Europa, al que correspondería la producción de derrubios ordenados que tapizan las laderas y la destrucción parcial de la familia más antigua de tobas. Tras este periodo frío y seco se ha detectado en la turbera de la Piedra (Basconzillos del Tozo, a 15 km de Tubilla del Agua) un último periodo frío caracterizado por la cubierta de bosque atlántico perteneciente al Tardiglacial, o Dryas III (Muñoz *et al.* 1996). En el valle del Ebro, inmediatamente al este de la zona estudiada —ríos Molinar, Purón e Inglares—, se han detectado varias generaciones de edificios tobáceos cuya construcción se inicia en las primeras etapas holocenas, Preboreal, para prolongarse durante el Boreal y el período Atlántico, alcanzando su techo en el Subboreal, a partir del cual se inicia una fase definida por la incisión de los valles (Llanos *et al.* 1998; González Amuchastegui y Serrano, 2005, 2007). Este proceso se prolonga, pues, a lo largo de todo el Holoceno, con períodos de máxima eficacia, como el Subboreal, lo que tiene un significado extensible al conjunto de los ríos de la cuenca alta del Ebro. En la turbera de la Piedra se constata una mejoría climática en la transición Pleistoceno Holoceno y el Preboreal, seguida de una deforestación acusada durante el Boreal, y la recuperación del bosque atlántico al inicio del periodo Atlántico (Muñoz *et al.* 1996). Estas variaciones están acordes con las construcciones tobáceas de la fase Finipleistocena Holocena y la ruptura posterior. No existen datos polínicos posteriores, pero es clara la señal de unas condiciones biotásicas con génesis de tobas durante el Subboreal. Tras este periodo existen nítidas coincidencias de la intervención humana, por

una parte, la construcción de megalitos, que implica una ocupación más intensa del territorio con un incremento constructivo en torno a 5100-5150 a BP (Delibes *et al.* 1993), la aparición de cereal en la turbera de La Piedra a partir de ~2500 a BP (Muñoz *et al.*, 1996), al final del Subboreal, la deforestación antrópica de la zona de Estacas de Trueba (Carrión *et al.*, 2012) desde 4140 a BP y la extinción del *Pinus nigra* en esta zona (Iriarte *et al.* 2001; Carrión *et al.* 2012). Moreno (2001) ha señalado los emplazamientos buscados por las culturas megalíticas (ambientes húmedos y templados, kársticos, con aguas abundantes, en llanos elevados con rupturas topográficas, entre otros), que coinciden con las condiciones óptimas para el desarrollo de las tobas, por lo que su dinámica y evolución será alterada con la ocupación humana de estos territorios, la intensificación ganadera y la agricultura. Todas estas coincidencias indican, junto a las reflexiones expuestas más arriba sobre la incisión y aterramiento de las tobas subboreales de Sedano, una secuencia climato-antrópica para la evolución geomorfológica de los últimos 2500 años (Subatlántico). La intervención humana es intensa y condiciona los procesos geomorfológicos mediante la alteración de la vegetación y los suelos.

6. Conclusiones

El estudio morfológico de los valles y laderas, la tipología de los depósitos analizados y su significado ambiental, la estratigrafía y los datos cronológicos obtenidos, han permitido establecer la evolución geomorfológica del Alto Ebro. El curso alto del río Ebro desde Valderredible hasta Zamanzas se caracteriza por las formas de génesis tanto estructural como climático-ambiental, que han guiado su evolución geomorfológica, con sucesión de fases en las que ha predominado la incisión, a veces muy intensa, y otras el relleno sedimentario, siempre de menor intensidad, ambas claramente vinculada a los cambios ambientales, y en los últimos tiempos holocenos a las modificaciones introducidas por la actividad humana sobre el territorio. En la

zona de estudio se ha constatado el predominio de las tobas ubicadas en las laderas y asociadas a la alternancia de calizas y margas, si bien existen numerosos edificios de fondo de valle, los de mayor interés como geoindicadores ambientales. Los depósitos tobáceos muestran una amplia gama de facies -facies de cascada (phytoherm barrage), biogénicas (phytoherm tufa), de musgos, estromatolitos, de tallos, detríticas (intraclastic y phytoclast tufa).

El significado paleoclimático de las tobas ha permitido definir para las etapas finales del Pleistoceno reciente, seis etapas en las que tres fases de construcción tobácea se corresponden con los momentos de biostasia, mientras que las tres fases desarticulación e incisión de los edificios tobáceos se caracterizan por ser periodos de transición y recrudescimiento climático, con coluvionamiento de los valles.

Una primera fase de construcción se genera en el Pleistoceno reciente (24-22 ka), en una fase inmediatamente anterior al periodo frío conocido como LGM. Este tendrá en el alto Ebro unas importantes consecuencias geomorfológicas, mediante el modelado de laderas con derrubios ordenados. Los periodos de incisión serán intensos, afectando a las tobas, las terrazas fluviales y a los fondos de valle, por lo que procesos no asociados al clima, como tirones hídricos y capturas, no son descartables en el estado actual de la investigación, pues desconocemos la cronología de la configuración definitiva de la red hidrográfica del Ebro.

El Holoceno es una etapa muy propicia para el relleno tobáceo de los valles. Sin embargo, la precipitación tobácea no es continua a lo largo de todo este periodo ya que a las construcciones postglaciares del Holoceno inicial, le siguen momentos de erosión de los edificios (Boreal) acordes con lo sucedido en otros ámbitos del valle del Ebro, y a ellos le sucede una fase constructiva con marcado carácter regional (3,9-4,8 ka). En Tubilla del Agua y en el valle de Sedano las dataciones de los edifi-

cios tobáceos asociados a esta etapa señalan el Subboreal como el período más propicio para ello.

A partir del Neolítico y coincidiendo con las primeras ocupaciones humanas del territorio capaces de modificar el paisaje, en los edificios tobáceos se ralentizan las tasas de precipitación carbonatada, hasta su paralización e inicio de los procesos de incisión de los depósitos, que quedan colgados en torno a los 8 m. sobre los cauces actuales. Esta destrucción coincide con la génesis de conos de derrubios, así como indicadores polínicos en las turberas del entorno. Este brusco cambio reciente permite establecer una relación entre la morfogénesis de la zona y la intervención humana en el medio; de manera que la evolución holocena puede ser definida como una secuencia climato-antrópica. Dicha secuencia tiene lugar prioritariamente a partir del Subboreal final y el Subatlántico en la zona de estudio.

Finalmente, los edificios tobáceos que tapizan laderas y valles del Alto Ebro (Orbaneja del Castillo, Tubilla del Agua, Valdelateja, Valle de Moradillo) constituyen elementos geomorfológicos singulares de alto valor por su carácter como indicadores climáticos, ambientales y de la interacción con la actividad humana, además de por su elevado valor didáctico, y constituyen valiosos testimonios de la interrelación entre la evolución geomorfológica, la historia y el patrimonio cultural y natural.

Agradecimientos

Este estudio se ha realizado en el marco del Grupo de Investigación Consolidado y de Alto Rendimiento 9/UPV00155.130-14570/2002, del Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología de la Universidad del País Vasco, que ha financiado las dataciones realizadas, y del Grupo de Investigación Reconocido PANGAEA de la Universidad de Valladolid. El trabajo ha sido parcialmente financiado por el proyecto CGL-2010-19729. Deseamos agradecer a Ramón Pellitero su colaboración en el campo.

Bibliografía

- Arenas-Abad, C.; Vázquez-Urbez, M.; Pardo-Tirapu, G.; Sancho-Marcén, C. (2010). Fluvial and associate carbonate deposits. In: *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes* (A.M. Alonso-Zarza and L.H. Tanner, eds). *Developments in Sedimentology*, 61, 133-175
- Asensio, I.; González Martín, J.A.; González Amuchastegui, M.J.; Lozano, M.V.; Peña Monne, J.L. (1994). Formas y procesos de ambientes fríos en la Cordillera Ibérica y la Submeseta Sur. En: *Periglacialismo en la Península Ibérica*. (A. Gómez Ortiz, ed.). Monografías de la Sociedad Española de Geomorfología, Granada, 119-145.
- Buccino, G.; D'argenio, B.; Ferreri, V.; Brancaccio, L.; Ferreri, M.; Panichi, C.; Stanzone, D. (1978). Il travertini della bassa valle del Tanagro (Campania) Studio geomorphologia, sedimentología e geochimico. *Boletino della Società Geologica Italiana*, 97, 617-646.
- Carrión, J.; Fernández, S.; González-Sampérez, P.; López-Merino, L.; Peña, L.; Burjachs, F.; López-Sáez, J.A.; García-Antón, M.; Carrión Marco, Y.; Uzquiano, P.; Postigo, J.M.; Barrón, E.; Allué, E.; Badal, E.; Dupré, M.; Fierro, E.; Munuera, M.; Rubiales, J.m.; García Amorena, I.; Jiménez Moreno, G.; Gil Romera, G.; Leroy, S.; García-Martínez, M.S.; Montoya, E.; Fletcher, W.; Yll, E.; Vieira, M.; Rodríguez-Ariza, M.O.; Anderson, S.; Peñalba, C.; Gil García, M.J.; Pérez Sanz, A.; Albert, R.M.; Díez, M.J.; Morales-Molino, C.; Gómez Manzaneque, F.; Parra, I.; Ruiz Zapata, B.; Riera, S.; Zapata, L.; Ejarque, A.; Vegas, T.; Rull, V.; Scott, L.; Abel Schaad, D.; Andrade, A.; Manzano, S.; Navarro, C.; Pérez Díaz, S.; Moreno, E.; Hernández-Mateo, L.; Sánchez Baena, J.J.; Riquelme, J.A.; Iglesias, R.; Franco, F.; Chaín, C.; Figueiral, I.; Grau, E.; Matos, M.; Jiménez Espejo, F.; Valle-Hernández, M.; Rivas-Carballo, R.; Arribas, A.; Garrido, G.; Muñiz, F.; Finlayson, G.; Finlayson, C.; Ruiz, M.; Pérez Jordá, G.; Miras, Y. (2012). Paleoflora y Paleovegetación de la Península Ibérica e Islas Baleares: Plioceno-Cuaternario. Ministerio de Economía y Competitividad, Madrid.
- Delibes, G.; Rojo, M.; Represa J.I. (1993). *Dólmenes de la Lora. Burgos*. Guía Arqueológica. Junta de Castilla y León. Salamanca, 115 pp.
- Ford, T.D.; Pedley, H.M. (1996). A review of tufa and travertine deposits of the world. *Earth Earth-Science Reviews* 41, 117-175.

- García-Amorena, I.; Rubiales, J.M.; Moreno Amat, E.; Iglesias González, R.; Gómez-Manzanares, F. (2011). New macrofossil evidence of *Pinus nigra* Arnold on the Northern Iberian Meseta during the Holocene. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 163, 281-288.
- García Fernández, J. (1992). El espacio geográfico de los páramos de La Lora. En: *II Jornadas de Geografía Física de Sedano* (J. García Fernández y J.M. Rubio Recio, dirs.). Universidad de Valladolid, 9-54.
- Glover, C.; Robertson, A.H.F. (2003). Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. *Geological Journal*, 38, 329-358.
- González Amuchastegui, M.J. (1999). Las acumulaciones tobáceas del Puente San Pedro (Sistema Ibérico). Modelo evolutivo. *Papeles de Geografía de la Universidad de Murcia*, 29, 11-125
- González Amuchastegui, M.J.; Serrano, E. (1996). Cartografía geomorfológica del Valle de Tobalina (Burgos). *Cuadernos do Laboratorio Xeológico de Laxe*, 21, 737-748.
- González Amuchastegui, M.J.; Serrano, E.; Edeso, J.M. (2000). Formaciones tobáceas holocenas y evolución reciente del valle del río Púron (Álava-Burgos). *Actas V Congreso Geológico de España*, Alicante, 365-368.
- González Amuchastegui, M.J.; Serrano, E. (2005). Quaternary tufa buildup stages in Mediterranean-Cantabric transitional environment (High Ebro Basin, Northern Spain). *Actas Sixth International Conference on Geomorphology*, p.225.
- González Amuchastegui, M.J.; Serrano, E. (2007). Evolución geomorfológica, cambios ambientales e intervención humana durante el Holoceno en la cuenca alta del Ebro: las tobas de los valles del Purón y Molinar. *Estudios Geográficos*, 263, Vol. LXVIII, 527-546.
- González Amuchastegui, M.J.; Serrano, E. (2007). Tuffa complex on High Ebro basin (Iberian Peninsula, Spain). Abstract of *International Conference on Geomorphology*, IAG, Zaragoza.
- González Martín, J.A.; Asensio, I.; Fernández, A.; García Jiménez, R.; González Amuchastegui, M.J.; Guerrero, L.; Rubio, V. (2000). Acumulaciones de origen frío en el modelado de los paisajes de la rama castellana del Sistema Ibérico y de la Submeseta sur. En: *Procesos y Formas Periglaciares en la Montaña Mediterránea*. Instituto de Estudios Turolenses. Teruel, 149-160.
- González Martín, J.A.; Rubio, V. (2000). Las transformaciones antrópicas del paisaje de los sistemas fluviales tobáceos del Centro de España. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Sección Geología, 96 (1-2), 155-186.
- González Pellejero, R. (1986). Dinámica de un espacio natural. Los cañones calcáreos del Ebro (Burgos). *Ería*, 10, 5-86.
- Goudie, A.S.; Viles, H.A.; Pentecost, A. (1993). The late-Holocene tufa decline in Europe. *The Holocene* 3 (2), 181-186.
- Guendon J.L.; Ali, A.A.; Roiron, P.; Terral, J.F.; D'Anna, A.; Díaz del Omo, F.; Baena Escudero, R. (2003). Les travertins de St. Antonin: Séquence géobotanique et climato-anthropique holocène, *Karstologia*, 41, p. 1-14.
- Horvatincic, N.; Calic, R.; Geyh, M.A. (2000). Interglacial growth of tufa in Croatia. *Quaternary Research* 53, 18-195
- I.G.M.E. (1980). Memoria mapa Geológico de España, E: 1/50.000, Sedano. Ministerio de Industria y Energía, 42 p.
- Iriarte, M.J.; Muñoz-Sobrino, C.; Ramil-Rego P.; Rodríguez-Gutián, M. (2001). Análisis palinológico de la turbera de San Mamés de Abar (Burgos). En: *Palinología: Diversidad y Aplicaciones* (Fombella-Blanco M.A., Fernández D. y Valencia, R., eds.). Servicio de Publicaciones Universidad de León, 87-93
- Jalut, G.; Turu, V.; Dedoubat, J.J.; Otto, T.; Ezquerro, J.; Fontugne, M.; Belet, J.M.; Bonnet, J.; García, A.; Redondo, J.M.; Vidal, J.R.; Santos, L. (2010). Palaeoenvironmental studies in NW Iberia (Cantabrian range): vegetation history and synthetic approach of the last deglaciation phases in the western Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 297, 330-350.
- Llanos, H.; Quinif Y.; Abalos, B. (1998). Evolución geodinámica reciente de la Sierra de Cantabria (Álava) en base a la datación U/Th de carbonatos continentales de las cuencas de los ríos Inglares y Ebro. *Boletín Geológico y Minero*, 109, 3-12.
- Lukas, S. (2006). Morphostratigraphic principles in glacier reconstruction a perspective from the British Younger Dryas. *Progress in Physical Geography*, 30, 719-736.
- Moreno Gallo, M. A. (2001). *Megalitos en el espacio. Aplicación de un Sistema de Información Geográfica al estudio de los yacimientos dolméticos y tubulares de la provincia de Burgos* Tesis Doctoral, Universidad de Burgos, Burgos, 259 pp.

- Moreno, A.; Valero, B.L.; Jiménez, M.; Domínguez, M.J.; Mata, M.P.; Navas, A.; González-Sampériz, P.; Stoll, H.; Farias, P.; Morellón, M.; Corella, J.P.; Rico, M.T. (2010). The last glaciation in the Picos de Europa Nacional Park (Cantabrian Mountains, Northern Spain). *Journal of Quaternary Science*, 25, 1076-1091.
- Muñoz-Sobrino, C.; Ramil-Rego, P.; Delibes De Castro, G.; Rojo Guerra, M. (1996). Datos paleobotánicos sobre la turbera de La Piedra (Paramo de Tozo, Burgos). En: *Biogeografía Pleistocena-Holocena de la Península Ibérica* (P. Ramil-Rego, C. Fernández Rodríguez y M. Rodríguez-Gutián, coords.). Consellería de Cultura de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela, 149-163.
- Ordóñez, S.; García Del Cura, M.A. (1983). Recent and Tertiary fluvial carbonates in Central Spain. *Special Publications International Association of Sedimentologists*, 6, 485-497.
- Ordóñez, S.; González Martín, J.A.; García Del Cura, M.A. (1997). Tipología y génesis de depósitos tobáceos fluviolacustres: el sistema tobáceo de Las Lagunas de Ruidera (Ciudad-Real-Albacete). *Cuadernos de Geología Ibérica*, 22, 333-348.
- Ordóñez, S.; González Martín, J.A.; García Del Cura, M.A.; Pedley, H.M. (2005). Temperate and semi-arid tufas in the Pleistocene to Recent fluvial barrage system in the Mediterranean area: The Ruidera Lakes Natural Park (Central Spain). *Geomorphology*, 69, 332-350.
- Ortega, J. (1974). *La transformación de un espacio rural: las Montañas de Burgos*. Tesis Doctoral, Universidad de Valladolid, Valladolid, 531 p.
- Pedley, H.M. (1990). Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*, 68, 143-154.
- Pellitero, R.; González-Amuchastegui, M.J.; Ruiz-Flaño, P.; Serrano, E. (2011). Geodiversity and Geomorphosite Assessment Applied to a Natural Protected Area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). *Geoheritage*, Volume 3, Number 3, 163-174.
- Pentecost, A.; Viles, H. (1994). A review and reassessment of travertine classification. *Geographie physique et Quaternaire*, vol. 48, 3, 305-314.
- Pentecost, A. (2005). *Travertine*. Springer-Verlag, Dordrecht, 455 p.
- Reimer, P.J.; Baillie, M.G.L.; Bard, E.; Bayliss, A.; Beck, J.W.; Blackwell, P.G.; Bronk Ramsey, C.; Buck, C.E.; Burr, G.S.; Edwards, R.L.; Friedrich, M.; Grootes, P.M.; Guilderson, T.P., Hajdas, I.; Heaton, T.J.; Hogg, A.G.; Hughen, K.A.; Kaiser, K.F.; Kromer, B.; McCormac, F.G.; Manning, S.W.; Reimer, R.W.; Richards, D.A.; Southon, J.R.; Talamo, S.; Turney, C.S.M.; Van Der Plicht, J.; Weyhenmeyer, C.E. (2009). IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0-50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51(4), 1111-1150.
- Riding, R. (2002). Structure and composition of organic reefs and carbonate mud mounds: concepts and categories. *Earth-Science Reviews*, 58, 163-231.
- Serrano, E.; González Amuchastegui, M. J.; Ruiz Flaño, P. (2009). Gestión ambiental y geomorfología: valoración de los lugares de interés geomorfológico del Parque Natural de las Hoces del Alto Ebro y Rudrón. *Cuaternario y Geomorfología*, 23 (3-4), 65-82.
- Serrano, E.; González-Trueba, J.J.; Pellitero, R.; González-García, M.; Gómez-Lende, M. (2012a). Quaternary glacial evolution in the Central Cantabrian Mountains (Northern Spain). *Geomorphology*, DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.05.001
- Serrano, E.; González Trueba, J.J.; González García, M. (2012b). Mountain glaciation and paleoclimate reconstruction in the Picos de Europa (Iberian Peninsula, SW Europe). *Quaternary Research*, 78, 303-314.
- Utrillas, P.; Rodanés, J.M. (1997). La actuación del hombre sobre el paisaje durante la Prehistoria en el valle medio del Ebro. En: *Acción humana y desertificación en ambientes mediterráneos* (J.M. García Ruiz; P. López García, eds.). CSIC-IPE, Zaragoza, 61-98.
- Valero, B.; Moreno, A.; Navas, A.; Mata, M.P.; Machín, J.; Delgado, A.; González-Sampériz, P.; Schwab, A.; Morellón, M.; Edwards, L. (2008). The Taravilla Lake and Tufa Deposits (Central Iberian Range, Spain) as paleohydrological and paleoclimatic indicators. *Palaeoecology* 259(2-3), 136-156.
- Vaudour, J. (1986). Travertins holocènes et pression anthropique. *Méditerranée*. 57 (1-2), 165-167.
- Vaudour, J. (1994). Evolution holocène des travertins de vallée dans le midi méditerranéen français. *Geographie physique et Quaternaire*, vol 48, 3, 316-326.
- Vázquez-Urbez, M.; Arenas, C.; Sancho, C.; Osácar, C.; Auqué, L.; Pardo, G. (2009). Factors controlling present-day tufa dynamics in the Monasterio de Piedra Natural Park (Iberian Range, Spain): depositional environmental

- settings, sedimentation rates and hydrochemistry. *International Journal Earth Sciences*, 99, 1027-1049.
- Vázquez-Urbez, M.; Arenas, C.; Pardo, G. (2011). A sedimentary facies model for stepped, fluvial tufa systems in the Iberian Range (Spain): the Quaternary Piedra and Mesa valleys. *Sedimentology*, 59, 502-526.
- Weisrock, A. (1986). Variations climatiques et périodes de sédimentation carbonatée à l'Holocène. L'âge des dépôts. *Méditerranée*, 57 (1-2), 165-167.