



ESTABLECIMIENTO DE UNA TIPOLOGÍA ESPECÍFICA DE FORMACIONES TOBÁCEAS

Luis Carcavilla
Juana Vegas
Ana María Cabrera



Madrid, 2019

Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat



ESTABLECIMIENTO DE UNA TIPOLOGÍA ESPECÍFICA DE FORMACIONES TOBÁCEAS



Madrid, 2019



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo² y Juan Carlos Simón Zarzoso²

Coordinación científica

Juana Vegas Salamanca³

Autores

Luis Carcavilla Urquí³

Juana Vegas Salamanca³

Ana María Cabrera Ferrero³

Coordinación y revisión editorial

Jara Andreu Ureta²

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan²

¹ Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec. Grupo Tragsa

³ Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Carcavilla L, Vegas J & Cabrera A M. 2019. Establecimiento de una tipología específica de formaciones tobáceas. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 20 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

ÍNDICE

1. TIPOLOGÍA ESPECÍFICA DE TIPOS DE HÁBITAT DE FORMACIONES TOBÁCEAS	7
1.1. ¿Qué es una formación tobácea?	7
1.2. Tipología de formaciones tobáceas: estado de la cuestión	9
1.2.1. Coherencia de las definiciones	10
1.2.2. Escala de los tipos de hábitat	11
1.2.3. Confusiones, redundancia y diversidad terminológica	11
1.2.4. Partes activas, inactivas y fósiles	12
1.2.5. Tipos de hábitat insuficientemente caracterizados o no incluidos	13
1.2.6. Presencia del tipo de hábitat de interés comunitario 7220*	13
2. PROPUESTA METODOLÓGICA	13
2.1. Propósito y formato de la clasificación	16
3. REFERENCIAS	19



1. TIPOLOGÍA ESPECÍFICA DE TIPOS DE HÁBITAT DE FORMACIONES TOBÁCEAS

Las formaciones tobáceas comparten características muy similares con los tipos de hábitat de turberas, concretamente con los tipos de hábitat de interés comunitario 7110*, 7130, 7140 y 7150, por lo que se ha seguido como guía el trabajo elaborado para esos tipos de hábitat por Antonio Martínez Cortizas y Noemí Silva-Sánchez de la Universidad de Santiago de Compostela (Martínez-Cortizas & Silva-Sánchez 2019).

1.1. ¿Qué es una formación tobácea?

Bajo el término de formación tobácea, tobas calcáreas y travertinos se agrupan aquellos depósitos carbonatados continentales generados en condiciones acuáticas. Su presencia y desarrollo se relaciona con acuíferos carbonatados y se presentan en diferentes medios sedimentarios, ya sean lacustres, palustres, kársticos o fluviales. Los sistemas resultantes adoptan diferentes morfologías, siendo las más comunes en España las de manantial, en barreras fluviales y lacustres, cascadas y estromatolitos, aunque la diversidad es muy variable.

De manera más específica, este tipo de hábitat se asocia esencialmente a:

- Manantiales con caudales continuos o discontinuos, incluso flujos rezumantes, localizados en el dominio de las vertientes de los acuíferos kársticos. La surgencia de agua, más o menos saturada en carbonatos, alimenta un conjunto de formaciones esencialmente compuestas por musgos adaptados a los saltos del agua. Sobre ellos, y por procesos diversos de índole físico-química y bio-química (que suelen actuar de modo complejo y combinado), se forma un precipitado de carbonato cálcico, habitualmente denominado toba o travertino (Figura1).
- Barreras y márgenes en cursos fluviales y ámbitos lacustres en los que también se desarrollan briofitos y circulan aguas cercanas a la sobresaturación en carbonatos. Algunos ejemplos son los sistemas fluvio-lacustres donde se desarrollan cascadas en las barreras tobáceas que represan las aguas de los vasos lacustres. También se desarrollan en cauces fluviales, colonizando todo tipo de irregularidad natural (micro rupturas o rupturas del perfil longitudinal) o artificial (antiguos azudes de molinos o batanes, destinados al riego, etc.), localizada en el lecho.

Las comunidades vegetales ubicadas en estos parajes se desarrollan en microambientes de alta humedad y sobre sustratos compuestos por materiales de dominancia calcítica, con pH básicos y donde la evolución edáfica es, casi siempre, muy escasa.

Se trata de tipos de hábitat que revisten un especial interés derivado de:

- La convergencia de procesos geológicos, químicos y biológicos en la formación de las tobas calcáreas.
- Albergan una comunidad vegetal, dominada por las briofitas (especialmente *Cratoneuron commutatum*), muy diversa a pesar de su especificidad y acompañada por una fauna también muy específica.



- Su gran interés e importancia para el conocimiento del pasado debido a que son registros geológicos pétreos que contienen pólenes, restos vegetales fósiles y moldes faunísticos esenciales para la interpretación de los paisajes del pasado y de sus condiciones climáticas y paleoambientales.
- Su elevada fragilidad y rápida respuesta a variaciones de condiciones ambientales, por lo que pueden ser utilizados como indicadores.
- Se localizan en numerosas regiones kársticas peninsulares e insulares en muy variados ecosistemas y emplazamientos geomorfológicos (laderas, cauces fluviales y ámbitos fluviolacustres).

La presencia de los sistemas tobáceos se considera como una respuesta sedimentaria de la dinámica kárstica e indicadora de paleoclimas caracterizados por ambientes húmedos y cálidos. Cronológicamente, la mayor parte de las tobas calcáreas del ámbito mediterráneo ha sido ubicada en los Estadios Isotópicos del Oxígeno18 (O.I.S. del inglés *Oxygen Isotope Stages*) impares, dominados por condiciones interglaciares húmedas y templadas (Pedley 2009). Se han interpretado como indicadoras de cambios ambientales durante el Cuaternario, ya sean estos naturales o inducidos, como ocurre en el Holoceno por la acción antrópica. La mineralogía del sedimento puede ser representativa de las condiciones ambientales del lugar y del momento de formación de las tobas, siendo empleados tanto las características geoquímicas de ciertos elementos traza, como los valores de los isótopos estables de C y O a modo de indicadores paleoambientales.

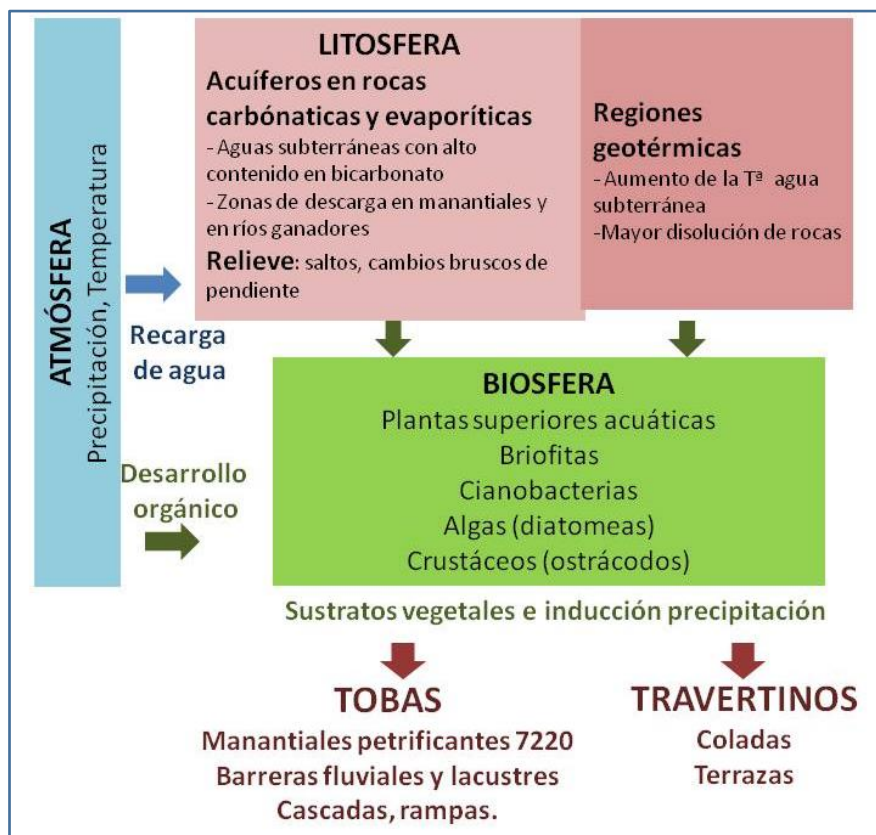


Figura 1 Esquema de los factores de control implicados en la formación de tipos de hábitat tobáceos. Fuente: elaboración propia.



Las especies más típicas de estos tipos de hábitat se presentan en la Tabla 1 (Goñi & Guzmán 2019; Iñobe 2011).

Tabla 1 Especies típicas de las formaciones tobáceas. Fuente: elaboración propia.

Briofitos	Plantas vasculares
<i>Palustriella commutata</i> (= <i>Cratoneuron commutatum</i>)	<i>Adiantum capillus-veneris</i>
<i>Eucladium verticillatum</i>	<i>Pinguicula dertosensis</i>
<i>Cratoneuron filicinum</i>	<i>Pinguicula longifolia</i>
<i>Didymodon tophaceus</i>	<i>Saxifraga aizoides</i>
<i>Fissidens grandifrons</i>	<i>Trachelium caeruleum</i>
<i>Philonotis calcarea</i>	<i>Hypericum caprifolium</i>
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	<i>Hypericum nummularium</i>
<i>Catoscopium nigratum</i>	<i>Jungermannia atrovirens</i>
<i>Pellia endiviifolia</i>	<i>Lophozia turbinata</i>
<i>Fissidens adianthoides</i>	<i>Molinia caerulea</i>
<i>Fissidens crassipes</i>	<i>Potentilla fruticosa</i>
<i>Calliergonella cuspidata</i>	<i>Schoenus nigricans</i>
<i>Gymnostomum calcareum</i>	<i>Southbya tophacea</i>
	<i>Tofieldia calyculata</i>
	<i>Carex lepidocarpa</i>

1.2. Tipología de formaciones tobáceas: estado de la cuestión

Los tipos de hábitat de sistemas tobáceos aparecen incluidos en la Directiva Hábitats¹ (European Commission 2011) en un único tipo de hábitat de interés comunitario (THIC) con el código 7220* y denominado Manantiales petrificantes con formación de tuf (*Cratoneurion*)². Sin embargo, y como se describirá en los siguientes apartados, los tipos de hábitat tobáceos ligados a manantiales petrificantes son solo una pequeña parte de los existentes, de manera que no quedarían representados (en teoría) ni las formaciones tobáceas asociadas a cursos fluviales, ni las asociadas a ambientes palustres ni las vinculadas a aguas termales. Por todo ello, se propondrá más adelante la modificación de la denominación del tipo de hábitat o, incluso, la modificación de su denominación, pero también la inclusión de otros tres tipos de hábitat para los sistemas tobáceos.

¹ Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres

² Los tipos de hábitat de interés comunitario que se señalan con un asterisco (*) son considerados prioritarios.



1.2.1. Coherencia de las definiciones

El tipo de hábitat de formaciones tobáceas no está descrito de una forma adecuada en la Directiva Hábitats (European Commission 2013) en lo referente a la estructura y contenido de su definición. El THIC 7220* denominado Manantiales petrificantes con formación de tuf (*Cratoneurion*) plantea los siguientes problemas:

- El término 'manantial petrificante' es una denominación poco acertada (muy imprecisa y poco rigurosa) para referirse a surgencias kársticas en las que tiene lugar precipitación de carbonato cálcico en condiciones subaéreas a partir de aguas continentales, es decir, donde se forman tobas calcáreas.
- El uso del término 'tuf' está desaconsejado por todos los especialistas en España, como se discutirá en el apartado 1.2.3.
- No todas las tobas calcáreas formadas por la participación vegetal se relacionan con *Cratoneurion*, sino que en la precipitación de carbonato cálcico bioinducida participan otras especies de plantas vasculares, briofitos, algas, bacterias y otros organismos unicelulares.
- En realidad, se refiere a manantiales de agua carbonatada con formación activa de travertinos o tobas calcáreas. Localizados en diversos ambientes, generalmente son tipos de hábitat de tamaño reducido (formaciones lineales o puntuales, aunque también hay grandes 'edificios') y están dominados por briofitas (*Cratoneurion commutatum*).
- Aun dentro de los tipos de hábitat de manantiales petrificantes, según sea el tipo y la temperatura del agua se originan dos sistemas muy diferentes desde el punto de vista de la biodiversidad.
- Las tobas calcáreas se forman en diversos ambientes y posiciones (descritos en este trabajo), por lo que se considera más oportuno hacer más extensivo el ámbito y no restringirlo solo a surgencias kársticas.

Por ello, se propone su denominación más adecuada como THIC 7220* Formaciones tobáceas generadas por comunidades briofíticas en aguas carbonatadas. Una definición de este tipo de hábitat adaptada a España sería: precipitados de carbonato cálcico ligados a aguas continentales con muy diversos emplazamientos geomorfológicos (laderas, cauces fluviales y ámbitos fluviolacustres) y ecosistemas dominados por briofitas (especialmente *Cratoneurion commutatum*) o por bacterias. Estos tipos de hábitat poseen un singular interés por la imbricación entre el componente geológico y biológico y constituyen sistemas naturales extremadamente frágiles de rápida respuesta a cambios climáticos por la fuerte dependencia que tienen del agua subterránea; sobre todo los sistemas tobáceos que se encuentran en ambientes áridos y semiáridos, que son más del 80% de los casos en España.

A partir de esta denominación, sería interesante una subdivisión en cuatro categorías o tipos que incluso podrían desembocar en sendos tipos de hábitat diferentes:

- 1- Travertinos (precipitados de carbonato ligados a aguas termales)
- 2- Formaciones tobáceas ligadas a surgencias y manantiales (en ladera)
- 3- Formaciones tobáceas ligadas a ambientes fluviales (fondos de valle, cauces y orillas)
- 4- Formaciones tobáceas ligadas a ambientes lacustres y palustres (aguas estancadas o lénticas)



1.2.2. Escala de los tipos de hábitat

La escala a la que se definen los tipos de hábitat de interés comunitario del mismo nivel de clasificación es distinta entre ellos: los manantiales petrificantes (THIC 7220*) se definen a escala de mesotopo y macrotopo; las barreras tobáceas fluviales y lacustres a nivel individual se definen a escala de mesotopo; mientras que montículos, domos estromatolíticos y las crestas se definen a escala de microtopo.

Las reducidas dimensiones de estos tipos de hábitat en comparación con otros tipos de hábitat de interés comunitario en España, da lugar a conflictos a nivel de identificación, gestión y protección. Sobre todo, ocurre con el THIC 7220* Formaciones tobáceas generadas por comunidades briofíticas en aguas carbonatadas, donde en la mayoría de las ocasiones son tipos de hábitat con desarrollo estacional y que no superan el centenar de metros desde el manantial hasta la parte distal. Por tanto, la falta de un criterio claro y la tipificación de solo uno de los cuatro tipos de hábitat reales en España hacen muy difícil su asignación y la toma en consideración para su conservación. Este es el primer tipo de conflicto en las medidas de conservación.

1.2.3. Confusiones, redundancia y diversidad terminológica

Existe una notable multiplicidad de términos para referirse a los precipitados de carbonato cálcico ligados a las aguas continentales. Tradicionalmente, desde el siglo XVII, se les denomina 'tobas' y más recientemente 'travertinos'. Otros términos utilizados son 'tuf' o 'tufos'.

El término 'toba' proviene de un vocablo onomatopéyico latino (*'tuf'*) que imitaba el ruido del martillo al golpear materiales porosos tanto de origen volcánico como carbonático. Su uso científico, como roca caliza, data posiblemente del siglo XVIII y su precursor fue el naturalista francés De Joubert al hacer referencia a una caliza con multitud de 'petrificaciones naturales'.

Por su parte, el término 'travertino' procede Tivertino, antiguo nombre de la ciudad romana de Tívoli (Italia), donde estos depósitos formados por aguas termales son abundantes. Los términos 'tuf' o 'tufos' se consideran muy poco apropiados para la referencia a tobas calcáreas y travertinos. Se trata de una mala adaptación al español (anglicismo) del término inglés *tuf*, que a su vez deriva del término vernáculo castellano del latín *'tophus'*. Por lo tanto, se desaconseja la utilización de esos términos (tuf o tufos) y se recomienda la utilización de los términos toba calcárea y travertino.

Con respecto a la elección de uno de estos dos términos (toba calcárea o travertino), existe disparidad de opiniones en la bibliografía especializada. En España pueden designarse indistintamente con ambos nombres, siendo más frecuente el de toba calcárea. Sin embargo, la cartografía geológica realizada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) incluyó, casi siempre, en las cartelas de afloramientos y en las correspondientes memorias de los mapas a escala 1:50.000, el vocablo 'travertinos'. Por ello, es necesario hacer tres matizaciones importantes:

- Las tobas son un tipo de roca que incluyen las aquí descritas, pero también suele emplearse para materiales de origen volcánico, por lo que es fundamental adjuntar la denominación 'calcárea' para distinguirla de la de origen volcánica.
- Algunos autores (Arenas *et al.* 2010; Pedley 1990, 2009; y aquí se propone esa nomenclatura) utilizan el término travertino exclusivamente para precipitados calcáreos formados en aguas



termales, donde los factores que condicionan la precipitación de carbonato cálcico son parcialmente distintos a los que intervienen en aguas a temperatura ambiente.

- Otros investigadores consideran que el término travertino debe restringirse a aquellos depósitos en los que no existe participación biológica (condicionados exclusivamente por procesos físico-químicos), ya que son notablemente más densos y compactos que los otros. Sin embargo, la intervención biológica existe siempre, pues biofilms petrificantes compuestos por nanobacterias, bacterias y determinadas algas colonizan las orillas y los fondos de aquellos cauces expuestos a la luz solar, incluso con flujos de agua con temperaturas muy elevadas dentro del rango termal.

No existe pues consenso ni en la bibliografía nacional ni en la internacional para decantarse por uno u otro término, así que suelen usarse ambos de manera indistinta. No obstante, hace dos décadas y para solventar parte de esta confusión, un investigador experto (Pedley 1990) propuso utilizar el término inglés *'tuf'*, o su equivalente en español *'toba'*, para hacer alusión a los depósitos carbonatados continentales formados por aguas no termales; por el contrario, el vocablo *travertine* o travertino se aplicaría a los originados por flujos de origen termal.

1.2.4. Partes activas, inactivas y fósiles

Un problema de interpretación a la hora de considerar las formaciones tobáceas es determinar si se consideran los sectores activos exclusivamente o todo el conjunto litológico independientemente de su actividad. De esta manera, se podrían definir los siguientes tipos en las formaciones tobáceas:

- **Partes activas:** sectores con vegetación y con presencia de agua, aunque sea de manera estacional, y en las que se produce precipitación efectiva de carbonato cálcico.
- **Partes inactivas:** sectores de la formación tobácea por las que no discurre agua de manera permanente ni estacional y que no están cubiertas de vegetación. Modificaciones en el sistema hidrológico/hidrogeológico y en las condiciones ambientales (aumento de la precipitación, humedad, en los aportes de aguas subterráneas, etc.) podrían hacer que se convierta en un sistema activo.
- **Formaciones fósiles:** sectores inactivos incluidos en el registro geológico y desconectados de la actual red fluvial y del nivel freático, que se relacionan con sistemas de aguas continentales pretéritos totalmente inactivos en la actualidad. A pesar de su importancia desde el punto de vista geomorfológico, paleoecológico y paleoambiental, no se consideran de interés ecológico actual por ser un mero sustrato carbonatado. Son parte del registro geológico y su antigüedad supera los 100 000 años.

Se considera que el sector activo de la formación es una parte de un sistema natural más extenso que no debe ser olvidado, ya que refleja las diferentes fases evolutivas del tipo de hábitat a lo largo del Holoceno. Por otro lado, el funcionamiento de los sectores activos e inactivos está estrechamente ligado, ya que la pervivencia de estos tipos de hábitat depende directamente del aporte de agua (en este caso, casi siempre, surgencias kársticas) que deben considerarse como parte del sistema a inventariar, cartografiar y gestionar. Un caso diferente son los sistemas fósiles, que a pesar de su interés geomorfológico y paleoambiental, no guardan una relación directa con el desarrollo actual del tipo de hábitat y, por lo tanto, no serán aquí considerados.



1.2.5. Tipos de hábitat insuficientemente caracterizados o no incluidos

Como se ha descrito en el apartado 1.2.1., la interpretación literal de la denominación actual de este tipo de hábitat no incluiría ni a los travertinos ni a las formaciones tobáceas ligadas a ambientes fluviales, lacustres y palustres, que poseen una significación ecológica y a nivel de tipo de hábitat tan importante como las sí consideradas (THIC 7220*). Por ello, se han propuesto en ese apartado cambios en la denominación y clasificación del mismo. Resulta tentador establecer una tipología nueva que sea acorde con la realidad de los sistemas tobáceos existentes en España, pero debe asumirse que, en la actualidad, no hay un conocimiento suficientemente generalizado de la distribución del tipo de hábitat en nuestro territorio.

1.2.6. Presencia del tipo de hábitat de interés comunitario 7220*

El THIC 7220* Formaciones tobáceas generadas por comunidades briofíticas en aguas carbonatadas está representado en las cuatro regiones biogeográficas, aunque con un claro predominio en la mediterránea seguida de la atlántica, alpina y existencia marginal (muy puntual) en la macaronésica. Su distribución mayoritaria se centra en sectores con elevaciones que oscilan entre los 100 y 1200 metros de altitud y en litologías carbonatadas (calizas y dolomías), salvo el caso de Canarias que se desarrollan sobre litologías volcánicas.

2. PROPUESTA METODOLÓGICA

Las formaciones tobáceas se asocian esencialmente a (i) manantiales con caudales continuos o discontinuos, incluso flujos rezumantes, localizados en el dominio de las vertientes de los acuíferos kársticos dando lugar, con frecuencia, a cascadas y saltos de agua; (ii) cursos fluviales con ámbitos lacustres en los que también se desarrollan briofitos y donde circulan aguas cercanas a la sobresaturación en carbonatos; (iii) cauces fluviales, colonizando todo tipo de irregularidad natural (micro rupturas o rupturas del perfil longitudinal) o artificial (antiguos azudes de molinos o batanes, destinados al riego, etc.) localizadas en el lecho (Carcavilla *et al.* 2009). Así que en función de su localización encontraremos tobas calcáreas en fondos de valle vinculadas a ambientes fluviales, fluvio-lacustres y palustres asociados a flujos energéticos (micro rupturas, barreras tobáceas, etc.), aguas lénticas o incluso estancadas; o en laderas y/o al pie de surgencias kársticas. En cada uno de estos contextos las tobas calcáreas aportan información científica relevante.

Las tobas calcáreas originadas en manantiales localizados en las laderas de los valles suelen traducirse en edificios de desarrollo longitudinal en cascada, donde se forman cuerpos tobáceos dominados por musgos parietales. Generalmente, se trata de edificios mono o policíclicos, con varios saltos decamétricos de relativamente escaso desarrollo lateral, salvo al pie de las cascadas. Presentan, por lo general, una tasa de crecimiento pequeña o moderada que se relaciona con un balance donde la precipitación de carbonatos es ligeramente superior a las pérdidas por erosión provocada por episodios de alta energía y baja concentración en carbonato de las aguas surgentes, vinculados a momentos de descarga caudalosa y violenta de los acuíferos que alimentan este tipo de surgencias (Carcavilla *et al.* 2009). Por su parte, en las tobas desarrolladas en las laderas con menos pendiente y/o al pie de surgencias kársticas, ligadas por lo general a los contactos exteriores de los acuíferos



kársticos con los materiales impermeables, pueden, a su vez, establecerse algunos subtipos condicionados por el desnivel de los saltos y por el volumen, así como por la regularidad de las descargas de las aguas subterráneas procedentes de los acuíferos kársticos (Carcavilla *et al.* 2009). El primero de estos subtipos serían las formadas en manantiales ubicados en la parte superior o media de las laderas, donde los procesos de precipitación de carbonatos evolucionan progresivamente hacia un conjunto de replanos tobáceos escalonados y de perfil cuneiforme. Sus morfologías ofrecen techos muy planos (y por ello secularmente dedicados, en los últimos milenios, al uso agrícola) y taludes muy verticalizados donde se ubican los saltos de agua colonizados por importantes masas y penachos briofíticos. Su superficie funcional depende de la alimentación hídrica. Al desarrollarse como cuñas, sus frentes 'progradan' y avanzan hacia el interior del valle y con el paso del tiempo aumentan el desnivel de sus saltos de agua. De igual modo, la naturaleza porosa y carbonática de los edificios puede favorecer el desarrollo de conductos kársticos en su interior tobáceo que, en ocasiones, provoca la desarticulación del edificio y la formación, a su pie, de otro conjunto adventicio. Con frecuencia, en el interior de los conductos se pueden generar diversos tipos de espeleotemas (depósitos de precipitación química similares a los originados en cuevas), procedentes de la redisolución de las tobas y la neoformación de carbonatos.

Por otro lado, las tobas desarrolladas en las laderas con menos pendiente y/o al pie de surgencias kársticas corresponde a las formadas en el segmento inferior de las laderas, donde el conjunto tobáceo allí desarrollado adoptará un perfil tendido y cóncavo, quizás roto por pequeñas graderías y poco propicio para la instalación de briofitas. La escasa pendiente favorece la instalación de pequeños ambientes palustres, colonizados por hepáticas, mientras que los briofitos suelen adaptarse a terrazas de salto centimétrico y mínima anchura desarrolladas en sentido paralelo al flujo de agua ofreciendo estructuras de progradación aguas abajo. Estas características morfológicas asociadas a las condiciones hidrológicas, geomorfológicas y botánicas hacen que en las tobas fósiles sea posible deducir de manera aproximada las condiciones reinantes en el momento de su formación, lo cual es esencial para reconstruir la evolución geomorfológica de la zona en el pasado.

Con respecto a los cauces fluviales, y a pesar de que aún debe profundizarse más en su estudio, está claramente identificada la capacidad transformadora que las formaciones tobáceas provocan en los perfiles de equilibrio locales de los cursos fluviales (Domínguez-Villar *et al.* 2012; Lespez *et al.* 2008). Por ejemplo, la presencia de tobas en un río puede cambiar notablemente su dinámica, modificando el nivel de base local e iniciando o inhibiendo procesos de erosión y sedimentación aguas arriba y abajo del curso fluvial en el que se ubican (Pentecost 2005). La correlación topográfica de las terrazas detríticas, habituales en la mayor parte de los cursos fluviales, con los niveles de agradación de depósitos tobáceos puede ser muy útil para la interpretación de la evolución geomorfológica y el tipo de hábitat predominante de los sistemas fluviales, porque las terrazas tobáceas son susceptibles de datación radiométrica con mayor facilidad y precisión que las detríticas (Antoine *et al.* 2007; Santisteban & Schulte 2007) y de esta forma se puede conocer con exactitud su cronología.

En relación con los sistemas fluviolacustres, se cuenta con un gran bagaje descriptivo de la geomorfología de estos sistemas. En parte se debe a que cuando se encuentran activos ofrecen una excepcional singularidad geológica y ambiental que les ha merecido los más altos grados de protección por parte de las instituciones competentes a nivel regional, nacional e internacional, como ocurre con las lagunas de Ruidera (España) o con los lagos de Plitvice (Croacia). Identificar sistemas fluviolacustres desmantelados total o parcialmente por la erosión es interesante, entre otras razones,



para comprender mejor cómo proteger los sistemas funcionales, conociendo los contextos geomorfológicos en los que se han generado estos sistemas en el pasado y las razones por las que han dejado de serlo, desde la óptica de la conservación.

Desde el punto de vista hidrogeológico, tobas y travertinos son la más nítida expresión de la dinámica de los acuíferos en la superficie terrestre, al igual que los espeleotemas y los depósitos detríticos endokársticos lo son en el subsuelo. La dinámica de los acuíferos kársticos controla en gran medida la existencia y la desaparición de tobas y, por supuesto, su distribución espacial. Los depósitos inactivos resultan excelentes indicadores de paleoniveles freáticos y el registro geoquímico de sus sedimentos es indirectamente correlacionable con las propiedades geoquímicas de las aguas freáticas que los generaron (Andrews 2006; Cremaschi *et al.* 2010; Ihlenfeld *et al.* 2003; Lojen *et al.* 2009; Vázquez-Urbez *et al.* 2010). Incluso en casos de gran rareza, el interés de las tobas y travertinos procede precisamente de su desconexión con contextos carbonatados cercanos, que justifiquen el enriquecimiento en calcio del agua (Smith *et al.* 2011). Es el caso de las situadas en zonas volcánicas como en la Caldera de Taburiente en isla de La Palma o en el barranco de Azuaje en Gran Canaria. También se producen casos en los que sí hay una evidente relación de los sedimentos con un contexto carbonatado, pero la precipitación se produce fuera del contexto hidroquímico y geológico del agua parental, gracias a la capacidad de transporte de iones del agua más allá de las áreas de descarga.

Como primera aproximación metodológica, es imprescindible resolver los aspectos ligados a la confusión de escalas. En la Tabla 2 se recogen los niveles de organización y las escalas a las que deben ser caracterizados los tipos de hábitat de sistemas de tobáceos.

Tabla 2 Niveles de organización y escalas cartográficas correspondientes encontrados en los tipos de hábitat de sistemas tobáceos en España. Fuente: elaboración propia.

Nivel	Denominación	Tamaño (m ²)	Ejemplo	Escala
1	Nanoforma	<10 ⁻²	Tejido vegetal, partícula mineral	1:10 – 1:100
2	Nanotopo	10 ⁻¹ – 10 ¹	Planta individual, musgo, agua	1:100 – 1:1.000
3	Microtopo	10 ² – 10 ⁴	Montículo, cresta, domo	1:1.000 – 1:5.000
4	Mesotopo	10 ⁵ – 10 ⁷	Barrera, rampa, terraza, cascada	1:5.000 – 1:50.000
5	Macrotopo	10 ⁷ – 10 ⁹	Sistema de barreras, rampas, sistema de terrazas	1:50.000 – 1:100.000
6	Supertopo	>10 ⁹	No hay ejemplos actuales activos a esta escala en España	1:100.000 – 1:1.000.000

El nivel 1 corresponde a las nanoformas. El nivel 2, nanotopo, corresponde con la planta individual, clon de musgo, agua libre, partícula de carbonato, etc. El nivel 3, microtopo, se refiere a patrones, o asociaciones, esencialmente de componentes vegetales, que determinan formas características de las tobas y travertinos (montículos, crestas, domo, etc.). El nivel 4, mesotopo, representa unidades de hábitat (barrera, rampa, terraza, etc.). El nivel 5, macrotopo, hace referencia a conjuntos de mesotopos conectados hidrológicamente (sistemas de barreras, grandes edificios en rampa, sistemas de terrazas, etc.).



La definición de subtipos de tipos de hábitat debe abordarse a la escala de mesotopo. La clasificación de subtipos ha de responder a los principales factores que influyen en su formación y preservación, de manera jerarquizada. En la Figura 2 se recoge una primera propuesta de equivalencia que combina el tipo de alimentación hídrica con la escala espacial. En sentido estricto y de acuerdo con la definición del tipo de hábitat, solo deberían considerarse las relacionadas con surgencias y manantiales, pero se propone incluir también las de otros ambientes de formación para ser coherentes con la presencia de este tipo de hábitat en España (Figura 2).

FUNCIONALIDAD	ALIMENTACIÓN HÍDRICA	UBICACIÓN	MORFOLOGÍA
<p>FÓSIL Formaciones tobáceas inactivas y desconectadas de la red hidrológica actual. Son parte del registro geológico.</p> <p>INACTIVA Sistemas por los que no discurre agua de manera permanente ni estacional y sin cubierta de vegetación típica; pero que siguen ligadas al sistema tobáceo como zonas de recarga o soporte del sistema activo. Si aumenta el caudal de agua subterránea pueden volver a ser activas.</p> <p>ACTIVA Tobas con presencia de agua aunque sea estacional y con cubierta vegetal</p>	<p>TERMAL Aguas a más de 20°C</p> <p>Hipotermales: 20-35°C</p> <p>Mesotermales: 35-45°C</p> <p>Hipertermales: 45-100°C</p>	T R A V E R T I N O S	<p>PROXIMAL</p> <p>En terrazas</p> <p>DISTAL</p> <p>En coladas</p>
	<p>METEÓRICA Aguas a menos de 20°C</p>		T O B A S
<p>ASOCIADAS A CURSOS FLUVIALES Fondos de valle, orillas y cauce</p> <p>Edificios en barrera Terrazas Rampas</p>			
<p>ASOCIADAS A SISTEMAS LACUSTRES O PALUSTRES Sistemas leníticos o aguas estancadas</p> <p>Barrera, litorales y zona palustre Profundas</p>			

Figura 2 Clasificación dicotómica de los tipos de hábitat de sistemas tobáceos y su equivalencia con los tipos de hábitat de interés comunitario de la Directiva Hábitats, propuesta para este trabajo. Fuente: elaboración propia.

2.1. Propósito y formato de la clasificación

Esta propuesta preliminar que se plantea aquí tiene una orientación jerárquica, de tal modo que en los niveles más elevados de la misma se emplean criterios relativamente sencillos de definir (p. ej. tipo de alimentación hídrica) y que reflejan aspectos de mayor trascendencia desde el punto de vista de la estructura y la función del tipo de hábitat. A medida que se desciende en la clasificación también se hace en la escala del elemento que se caracteriza.



La finalidad es identificar los tipos centrales que presenta la amplia variedad de tipos de hábitat de formaciones tobáceas en España, por lo que, por el momento, no intenta ser exhaustiva al nivel más bajo de tipificación. Debe tenerse en cuenta que será frecuente que una misma formación tobácea presente varios subtipos en conexión, o incluso varios tipos puedan aparecer asociados, no siendo necesario definir tipos de hábitat transicionales pero sí establecer el límite entre unos y otros, que en algunos casos podrá ser algo arbitrario.

Se considera que este planteamiento permite desarrollar una clave dicotómica (Tabla 3) que ayude a discriminar entre los diferentes tipos de hábitat de las formaciones tobáceas en base a criterios diagnósticos jerarquizados. Teniendo en cuenta que la identificación y el seguimiento muy probablemente no sea llevado a cabo por especialistas en estos tipos de hábitat, la confección de una clave coherente, suficientemente sencilla, pero basada en criterios que reflejen los aspectos estructurales y dinámicos más relevantes, es de máxima prioridad. Por todo ello, en la Tabla 3 se propone un sistema de clasificación para los sistemas tobáceos en España.

Tabla 3 Clasificación de los sistemas tobáceos en España. Fuente: elaboración propia.

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS TOBÁCEOS				
ACTIVIDAD	COMPOSICIÓN Y TEMPERATURA DEL AGUA	TIPOS	SUBTIPO	CARACTERÍSTICAS
Fósiles	-	-	-	-
Inactivas	-	-	-	-
Activas	AGUAS TERMALES T ^a > 20°C	Travertinos	Travertinos proximales en terrazas	Sistemas de travertinos en terrazas, con carbonatos laminados, que desarrollan una morfología identificativa, debido a la precipitación de carbonatos a partir de aguas termales, ya sea en la zona proximal o alejada de la fuente. Suelen estar relacionados con zonas de fracturas con sistemas hidrotermales asociados y de gradiente geotérmico elevado.
			Travertinos distales en colada	No hay crecimiento de macrófitos debido a la temperatura elevada del agua. Sin embargo, si hay gran desarrollo de bacterias y cianobacterias. Ejemplo: travertinos de las Salinas de Tabernas (Almería) y Travertinos de Alicún (Granada).

Continúa en la siguiente página ►



CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS TOBÁCEOS						
ACTIVIDAD	COMPOSICIÓN Y TEMPERATURA DEL AGUA	TIPOS		SUBTIPO	CARACTERÍSTICAS	
Activas	AGUAS METEÓRICAS Tª < 20°C	Tobas asociadas a surgencias kársticas (laderas) THIC 7220*		De escarpe único	Génesis vinculada al alumbramiento de aguas subterráneas de acuíferos colgados y flujos continuos, aunque de caudal variable, pero también discontinuo. Muy frecuentes en España y de gran interés ecológico por constituir tipos de hábitat singulares de alta humedad y pH básico en entornos de naturaleza muy distinta. Rápido crecimiento. Ejemplo: edificios tobáceos del Alto Tajo, como el del Puente de San Pedro o La Escaleruela.	
				Con desarrollo de terrazas escalonadas		
				De perfil cóncavo		
		Tobas asociadas a sistemas fluviales (valles fluviales, cursos, orillas y cauces)	Tobas		Edificios en barrera	Sistemas tobáceos transversales a la dirección del cauce pudiendo llegar a represarlos. Enorme distribución territorial y representación en España. Se desarrollan en todos los ámbitos climáticos, pero en especial en los mediterráneos. Propician la ruptura de las pendientes e incluso la creación de sistemas lagunares. Todo tipo de escalas y diversas facies sedimentarias vinculadas a alta energía. Ejemplo: lagunas de Ruidera.
					Terrazas	Formados por depósitos aluviales de fondo de valle y con morfología aplanada en su parte superior. Perfil escalonado. Dimensiones y potencias variables. Ejemplo: río Matarraña.
					Rampas	Morfología inclinada asociada a regímenes turbulentos. No muy frecuentes en España, pero los existentes de gran longitud. Ejemplo: Sierra de Alcaraz y las Chorreras del Cabriel (Cuenca).
		Tobas en sistemas lacustres y palustres (sistemas lénticos o aguas estacandas)	Tobas		Litorales y zona palustre	Montículos y barreras de toba en las zonas litorales de borde de lagunas. Sin relación directa con cursos fluviales. Pueden generar depósitos de gran espesor. Ejemplo: laguna del Tobar.
					Laminaciones de micritas de ambiente profundo	Gran variedad de facies en función de la profundidad, ambiente y espesor de la lámina de agua en las zonas distales o profundas de sistemas lacustres.



3. REFERENCIAS

- Andrews J E. 2006. Paleoclimatic records from stable isotopes in riverine tufas: synthesis and reviews. *Earth Science Reviews*. 75: 85-104.
- Antoine P, Limondin-Lozouet N, Chaussé C, Lautridou J-P, Pastre J-F, Auguste P, Bahain J-J, Falguères C & Ghaleb B. 2007. Pleistocene fluvial terraces from northern France (Seine, Yonne, Somme): synthesis and new results from interglacial deposits. *Quaternary Science Reviews*. 26(22-24): 2701–2723.
- Arenas C, Sancho C, Vázquez-Urbez M, Pardo G, Hellstrom J, Ortiz J E, Torres T, Cinta M & Auqué L. 2010. Las tobas cuaternarias del río Añamaza (provincia de Soria, Cordillera Ibérica): aproximación cronológica. *Geogaceta*. 49: 51-54.
- Carcavilla L, de la Hera Á, Fidalgo C & González J A. 2009. 7220 Formaciones tobáceas generadas por comunidades briofíticas en aguas carbonatadas. 62 pp. En: VV.AA. Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Cremaschi M, Zerboni A, Spötl C & Felletti F. 2010. The calcareous tufa in the Tadrat Acacus Mt. (SW Fezzan, Libya). An early Holocene palaeoclimate archive in the central Sahara. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 287(1-4): 81-94.
- Domínguez-Villar D, Vázquez-Navarro J A & Carrasco R. 2012. Mid-Holocene erosive episodes in tufa deposits from Trabaque Canyon, central Spain, as a result of abrupt arid climate transitions. *Geomorphology*. 161-162: 15-25.
- European Commission. 2013. Interpretation Manual of European Union Habitats - EUR28. DG Environment, Nature ENV B.3, European Commission. 144 pp.
- Goñi D & Guzmán D. 2019. Manual de seguimiento de hábitats de interés comunitario. Gobierno de Aragón. 110 pp.
- Ihlenfeld C, Norman M D, Gagan M K, Drysdale R N, Maas R & Webb J. 2003. Climatic significance of seasonal trace element and stable isotope variations in a modern freshwater tufa. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 67: 2341-2357.
- Ihobe. 2011. Primera evaluación del estado de conservación de los hábitats hidroturbosos de interés comunitario en el País Vasco. Sociedad Pública del Departamento de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca del Gobierno Vasco. 60 pp.
- Lespez L, Clet-Pellerin M, Limondin-Lozouet N, Pastre J-F, Fontugne F & Marcigny C. 2008. Fluvial system evolution and environmental changes during the Holocene in the Mue valley (Western France). *Geomorphology*. 98(1-2): 55–70.
- Lojen S, Trkov A, Šćancar J, Vázquez-Navarro J A & Cukrov N. 2009. Continuous 60-year stable isotopi and earth-alkali element records in a modern laminated tufa (Jaruga, river Krka, Croatia): implications for climate reconstruction. *Chemical Geology*. 258: 242–250.
- Martínez-Cortizas A & Silva-Sánchez N. 2019. Establecimiento de una tipología específica de tipos de hábitat de turberas ácidas. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 17 pp.



Pedley H M. 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. *Sedimentary Geology*. 68:143-154.

Pedley H M. 2009. Tufas and travertines of the Mediterranean region: a testing ground for freshwater carbonate concepts and developments. *Sedimentology*. 56: 221–246.

Pentecost A. 2005. *Travertine*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany. 445 pp.

Santisteban J I & Schulte L. 2007. Fluvial networks of the Iberian Peninsula: a chronological framework. *Quaternary Science Reviews*. 26(22-24): 2738-2757.

Smith D J, Jenkin G R T, Petterson M G, Naden J, Fielder S, Toba T & Chenery S R N. 2011. Unusual mixed silica–carbonate deposits from magmatic–hydrothermal hot springs, Savo, Solomon Islands. *Journal of the Geological Society*. 168: 1297-1310.

Vázquez-Urbez M, Arenas C, Sancho C, Cinta M, Auqué L & Pardo G. 2010. 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 of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*. 99: 1027-1049.