

Medio físico y características constructivas de galerías drenantes de aguas subálveas en ambientes semiáridos del sudeste español y Túnez

Environmental and constructive characteristics of drainage galleries of subalveal waters in semi-arid environments of south-eastern Spain and Tunisia

GHALEB FANSA SALEH¹  0000-0001-6442-1507

ALEJANDRO J. PÉREZ CUEVA¹  0000-0002-9743-3181

JORGE HERMOSILLA PLA¹  0000-0003-1125-2556

EMILIO IRANZO GARCÍA¹  0000-0001-6991-3711

¹Universitat de València, Valencia, España.

Resumen

Las galerías drenantes son sistemas de captación de aguas que se presentan con frecuencia en variados contextos geomórficos de ambientes semiáridos. En este artículo se estudian aquellas que aprovechan aguas subálveas mediante diferentes técnicas constructivas, principalmente cimbras y cimbra-zanjas. Se ha realizado una comparación entre las galerías tunecinas y las del SE español que presentan estas dos características: la explotación de aguas subálveas y de acuíferos detríticos subsuperficiales, y una pluviometría propia de climas semiáridos, en concreto unas lluvias totales anuales entre 300 y 400 mm. En el trabajo se analizan los contextos ambientales de las galerías seleccionadas, sobre todo geología, geomorfología, torrencialidad de la lluvia e hidrología, así como las características constructivas, funcionales y estado de conservación. Los resultados del análisis comparado mues-

Fechas • Dates

Recibido: 2020.07.04

Aceptado: 2020.11.06

Publicado: 2021.06.28

Autor/a para correspondencia Corresponding Author

Ghaleb Fansa Saleh
Universitat de València
ghaleb.fansa@uv.es

tran que no existen diferencias significativas entre las galerías de ambos territorios, ni en las condiciones ambientales necesarias, ni en las características constructivas y funcionales adoptadas.

Palabras clave: Galerías drenantes; aguas subálveas; Water harvesting; Túnez; SE España.

Abstract

Draining galleries are water collection systems that occurs frequently in various geomorphic contexts of semi-arid environments. In this article, we study those that take advantage of subalveal waters by means of different construction techniques, mainly “cimbras” and “cimbra-zanjas”. A comparison has been made between the Tunisian galleries and those of the Spanish SE that have these two characteristics: the exploitation of subsubalveal waters and surface detritic aquifers, and rainfall characteristics of semi-arid climates, specifically annual total rainfall between 300 and 400 mm. The work analyzes the environmental contexts of the selected galleries, especially geology, geomorphology, rainfall torrentiality and hydrology, as well as the constructive, functional characteristics and conservation status of the galleries. The results of the comparative analysis show that there are no significant differences between the galleries of both territories, neither in the necessary environmental conditions, nor in the constructive and functional characteristics adopted.

Key words: Draining galleries; subalveal waters; water harvesting; Tunisia; SE Spain.

1. Introducción

Las galerías drenantes son técnicas tradicionales de captación de aguas subterráneas de acuíferos cercanos a la superficie, entre los cuales están los de aguas subálveas. En la bibliografía internacional se suelen incorporar estas técnicas tradicionales de captación de aguas subterráneas dentro de los sistemas de recolección de agua (*water harvesting*) (Reij, Mulder y Begeman, 1988; Prinz, 1999; Ouessar, Hessel, Sghaier y Ritsema, 2012; o Beckers, Berking y Schütt, 2013). Ello es debido a que llegan a tener un papel destacado en el aprovisionamiento de agua para regadío en zonas áridas y semiáridas, aunque también para abastecimiento de agua potable.

El objetivo de este artículo es realizar un estudio comparado de este tipo de técnica entre Túnez y un amplio sector del SE español, a efectos de conocer sus características y detectar similitudes o diferencias. Para estudiar la implementación de esta técnica, se analizan los factores de los contextos ambientales, así como las características constructivas y el estado de conservación. La hipótesis de partida del trabajo es que, ante unas condiciones ambientales similares, los tipos de galería utilizados y sus características no tienen que ser sustancialmente diferentes.

Entre las justificaciones del trabajo están:

- Profundizar en el conocimiento de la riquísima variedad e ingenio de las soluciones adoptadas en el tema de la gestión tradicional del agua.
- Destacar su alto valor cultural y su carácter “ecológico”, en el sentido de que son siempre sabias adaptaciones al medio natural.
- Valorar esta técnica como una solución sostenible, dada la creciente penuria hídrica de los ambientes mediterráneos ante el cambio global y el aumento reciente de las temperaturas.

- Pero también está el haber constatado en la revisión bibliográfica la casi nula existencia de estudios comparados, frente a la relativa abundancia de estudios sobre tipologías de soluciones, contextos ambientales, estados de conservación, etc.

Esta última justificación, en definitiva, es la que ha determinado la metodología empleada y la estructura del trabajo.

El concepto aquí utilizado de agua subálvea no sólo se restringe a las aguas subsuperficiales que circulan por debajo de lechos pedregosos (*ouadis* o ramblas mediterráneas). También se incluyen galerías que discurren parcialmente por debajo de los materiales aluviales cuaternarios de las terrazas fluviales recientes, aledañas a los cursos fluviales. Se trata normalmente de materiales poco consolidados, que pueden transmitir o intercambiar agua subterránea con la rambla, según sean efluentes o influentes. En estos contextos, es muy difícil (o imposible) distinguir entre estos dos tipos de agua, las de acuíferos estrictamente subálveos y las de acuíferos detríticos aluviales cuaternarios. Este hecho comporta, en la práctica, que las galerías puedan pasar indistintamente de la rambla a la terraza o al revés, como ocurre en la de Ain Oued El Kiss, en Kasserine (Hermosilla, Antequera y Fansa, 2013). Esto indica, normalmente, que los dos tipos de agua son contiguos y están conectados.

Existen numerosas investigaciones en las que se estudian y definen tipos concretos de galerías drenantes, alguna de ellas como propuestas tipológicas completas (Kobori, 1976; Barón y Carbonero, 1987; Cressier, 1989; Gil-Meseguer y Gómez-Espín, 1993; Palerm, 2004; Hermosilla Pla, Iranzo García, Pascual Aguilar, Antequera Fernández y Pérez Cueva, 2004; Yazdi y Khaneiki, 2010). Muchos de estos estudios se centran en la tipología de *qanat*. Otros realizan la clasificación sin pormenorizar las diferencias entre los subtipos, o limitan la clasificación a un único factor (hidrogeológico, tipo de materiales que atraviesa el minado, etc.).

Los minados que analizamos en este trabajo están clasificados según la propuesta elaborada por el grupo de investigación ESTEPA (Estudios del Territorio y del Patrimonio) del Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia (Hermosilla, 2006 y Antequera, 2015) que combina básicamente tres criterios: el origen hidrogeológico de las aguas captadas; sus características constructivas y funcionales, lo que determina su tipología; y el ambiente geomorfológico en el que se ubican (montaña, espacios intermedios, y cursos y terrazas fluviales).

Las galerías estudiadas, tras la selección que se detalla en la metodología, tanto las españolas como las tunecinas, pertenecen a las siguientes tipologías:

- *Cimbra*: Capta las aguas subálveas y/o detríticas aluviales cuaternarias y suele situarse en un ambiente de cursos y terrazas fluviales. La galería se excava en el curso de agua de forma subterránea, en dirección contraria a la de la escorrentía. Tiene lumbreras.
- *Zanja*: No utiliza una técnica minera de excavación, ya que es suficiente la apertura de una zanja o trinchera a cielo abierto en materiales aluviales poco cohesionados. Posteriormente, se cubre con losas de piedra planas y se recubre con los materiales removidos en la excavación. No dispone de lumbreras verticales.
- *Cimbra-zanja*: Combina la excavación de una zanja a cielo abierto con la excavación subterránea, hecha con técnicas mineras. Dispone de varias lumbreras verticales o respiraderos. Se aprovechan las aguas subálveas y/o detríticas aluviales cuaternarias.
- *Mina*: Excavación subterráneas de escasa longitud a partir de la profundización horizontal de un manantial o una surgencia. No dispone de pozo madre ni de lumbreras.

- *Qanat*: Es el sistema original de captación de aguas subterráneas a partir de la utilización de galerías drenantes. Su origen consiste en la construcción de un pozo madre, hasta alcanzar el acuífero. Posteriormente, se excava un túnel casi horizontal desde la bocamina hasta el pozo madre. Posee varias lumbreras verticales o respiraderos en su trazado.
- *Presa subálvea*: Su principal característica consiste en que la captación dispone de una presa subálvea situada a varios metros de profundidad con respecto al lecho del cauce fluvial. El cauce donde se asienta debe poseer una acumulación destacada de arenas, cantos y gravas que recubran el lecho, y disponer además de un nivel impermeable de base en un lugar estrecho que encierre el río o la rambla (Gil, Martínez y Gómez, 2011).

En el SE español, en los ambientes geomórficos donde las galerías explotan aguas subálveas y de acuíferos detríticos subsuperficiales, las cimbras y zanjas son los tipos de galerías predominantes (según Antequera, 2015). Esto coincide básicamente con lo observado en Túnez, según los trabajos de Hermosilla, Antequera y Fansa (2012), y Hermosilla y Moussa (2013).

2. Metodología y fuentes

Para el análisis de las galerías seleccionadas se ha recurrido a la base de datos del grupo de investigación ESTEPA, ya que dispone de un inventario de las galerías de Túnez y del SE español. En el sector oriental y suroriental español se identifican unas 3.700 galerías, de las cuales se ha caracterizado una selección de 300 galerías. Entre otros, los criterios utilizados en su momento fueron: disponibilidad de información documental y cartográfica; accesibilidad al interior de la captación; estado de conservación; equilibrio territorial; relevancia histórico-social y clasificación tipológica. En territorio tunecino, la base de datos cuenta con un inventario completo de las galerías existentes, con un total de 125, notablemente inferior a las identificadas en el SE español.

Para llevar a cabo el análisis comparado, en este trabajo se ha elegido un ámbito geomorfológico y climático concreto, el de las terrazas y lechos fluviales en la franja pluviométrica entre 300 y 400 mm. La decisión de considerar esta franja pluviométrica se justifica por el hecho de que las siete galerías que aprovechan aguas subálveas existentes en Túnez tienen esas condiciones climáticas. En España, las galerías de aguas subálveas están en condiciones pluviométricas más dispares, y se ha estudiado únicamente las 23 que cumplen esta característica. Por lo tanto, los casos incluidos en el análisis cumplen el doble criterio de localizarse en zonas con una homogeneidad climática y aprovechar este tipo de aguas subsuperficiales.

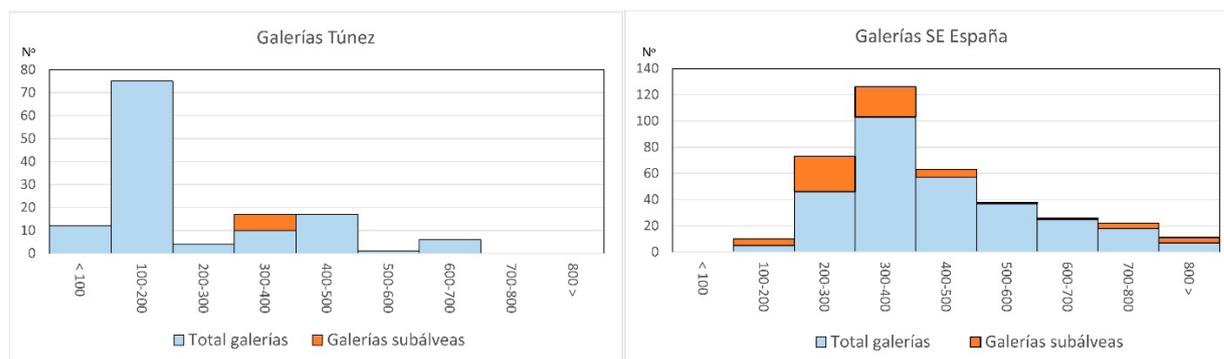
La base de datos utilizada dispone de información sobre las características (longitud, funcionalidad, número de bocaminas o lumbreras, estado de conservación, tipo de uso) y contextos ambientales de las galerías, entre ellos el tipo de agua o surgencia. Esta es la característica hidrogeológica básica, lo que ha facilitado en gran medida la selección. Ante la duda, se ha incluido todas las galerías que aprovechan acuíferos “subálveos” o “detríticos” y/o que se emplazan en un ambiente geomorfológico general de “terracea” o de “cauce”.

Además de esta información, también se ha parametrizado otros elementos no incluidos, como la amplitud y la morfología del lecho en el sector de la galería o el tipo de ámbito geomorfológico inmediato. Para ello, se ha realizado trabajo de campo específico, tanto en Túnez como en España.

Las siete galerías tunecinas de ámbitos de terracea o cauce se emplazan en la franja pluviométrica entre 300 y 400 mm (cuatro en Kasserine, dos en Kairouan y una en Sousse). En el SE español,

de las 300 galerías caracterizadas, 70 captan aguas de origen subálveo y/o detrítico de materiales aluviales cuaternarios. Éstas se reparten entre las franjas pluviométricas comprendidas entre 100 mm y 1000 mm (figura 1). Con el objetivo de minimizar el papel del factor “precipitaciones”, en el análisis comparado incluimos únicamente las 23 galerías que se encuentran en zonas con precipitaciones entre 300 mm y 400 mm (dos en Albacete, dos en Alicante, 14 en Almería, cuatro en Murcia y una en Valencia).

Figura 1. Distribución de las galerías drenantes según las precipitaciones anuales medias en Túnez y SE español. Se distinguen las de origen de agua subálveo.



Elaboración propia a partir de la base de datos de ESTEPA.

3. Resultados

3.1. Características generales de las galerías seleccionadas.

3.1.1. Tipologías, usos y estado de conservación

La selección de las captaciones analizadas en España posee, en la mayoría de los casos, tipologías propias del ámbito geomorfológico de los cursos y terrazas fluviales (12 cimbras y cimbras con lumbreras laterales, seis cimbras-zanja y una zanja) (Tabla 1). Sin embargo, existen cuatro galerías (tres *qanats* y una mina) que se emplazan fuera de su contexto geomorfológico habitual. Las siete tunecinas, por el contrario, pertenecen solo a tipologías típicas de ámbito de cursos y terrazas fluviales (tres cimbras, tres cimbras-zanja y una presa subálvea) (Tabla 2).

Tabla 1: Relación de las galerías analizadas en el SE español.

Galería	Municipio	Provincia	Tipología	Uso
Caño de La Hila	Chirivel	Almería	Cimbra-zanja	Mixto
Caño del Cambronero	Chirivel	Almería	Cimbra-zanja	Regadío
Cimbra de Los Vergara	Serón	Almería	Cimbra	Mixto
El Minat o Mina de Bufilla	Moncada	Valencia	Cimbra	Regadío
Fuente de El Mayordomo	Sorbas (El Mayordomo)	Almería	Zanja	Regadío
Fuente de La Balsa Vieja	Oria (El Daimuz)	Almería	Cimbra	Mixto
Fuente de Vega	Serón	Almería	Cimbra	Mixto
Fuente de Donatos	Serón	Almería	Cimbra	Regadío
Fuente de Padules	Purchena	Almería	Cimbra	Mixto

Galería	Municipio	Provincia	Tipología	Uso
Fuente de Toribia	Cantoria (Almanzora).	Almería	Cimbra	Regadío
Galería Venta de Ossete	Lorca (La Paca)	Murcia	Qanat	Regadío
La Hoya de La Noguera	Mula	Murcia	Cimbra	Regadío
Mina de Las Canales o Barrenas	Aspe	Alicante	Mina	Mixto
Mina de San Vicente	Caudete	Albacete	Qanat	Regadío
Mina del Agua o Bienvenida	Petrer	Alicante	Cimbra	Mixto
Mina del Moto d de La Huerta de Arriba	Caudete	Albacete	Qanat	Regadío
Ojos de Luchena	Lorca	Murcia	Cimbra	Regadío
Pozos de La Fuente	Lorca (Avilés)	Murcia	Cimbra	Regadío
Zanja de Chaulena-Padules	Armuña de Almanzora	Almería	Cimbra-zanja	Regadío
Zanja de La Hoya Alta	Cantoria	Almería	Cimbra-zanja	Regadío
Zanja de La Huerta de Judas	Cantoria (Arroyo Albánchez)	Almería	Cimbra con lumbreras laterales	Regadío
Zanja del Burro o de Los Corella	Cantoria (Arroyo Albánchez)	Almería	Cimbra-zanja	Regadío
Zanja del Gadil	Armuña de Almanzora	Almería	Cimbra-zanja	Regadío

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de ESTEPA.

En relación al uso del caudal derivado de los minados, en Túnez, cuatro de las siete galerías estudiadas están o estaban destinadas al abastecimiento de agua potable para la población, mientras que las restantes se empleaban en el regadío. La situación en España es diferente: todas las galerías derivaban agua a los terrenos regados, y únicamente siete no se dedicaban exclusivamente al regadío, sino también al abastecimiento humano (uso mixto) (tablas 1 y 2).

Las galerías españolas destacan por su “funcionalidad y estado de conservación”, pues más del 80% de ellas siguen funcionales y alumbrando caudal al exterior. En Túnez, tres de las siete han dejado de funcionar totalmente.

Tabla 2: Relación de las galerías analizadas en Túnez.

Galería	Municipio	Gobernación	Tipología	Uso
Ain Oued El Kiss	Talabit	Kasserine	Cimbra-zanja	Regadío (8 ha)
Ain Oued Kharroub	Sousse	Sousse	Cimbra	Abastecimiento
Ain Oued Sbeitla	Sbeitla	Kasserine	Cimbra	Abastecimiento
Ain Shrishira	Shrishira	Kairouan	Cimbra-zanja	Abastecimiento
Bir El-Adine	Houfia	Kairouan	Cimbra	Abastecimiento
Oued El Mamoura	Feriana	Kasserine	Cimbra-zanja	Regadío
Oued Bou Haya	Feriana	Kasserine	Presa subálvea	Regadío (73,9 ha)

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos de ESTEPA.

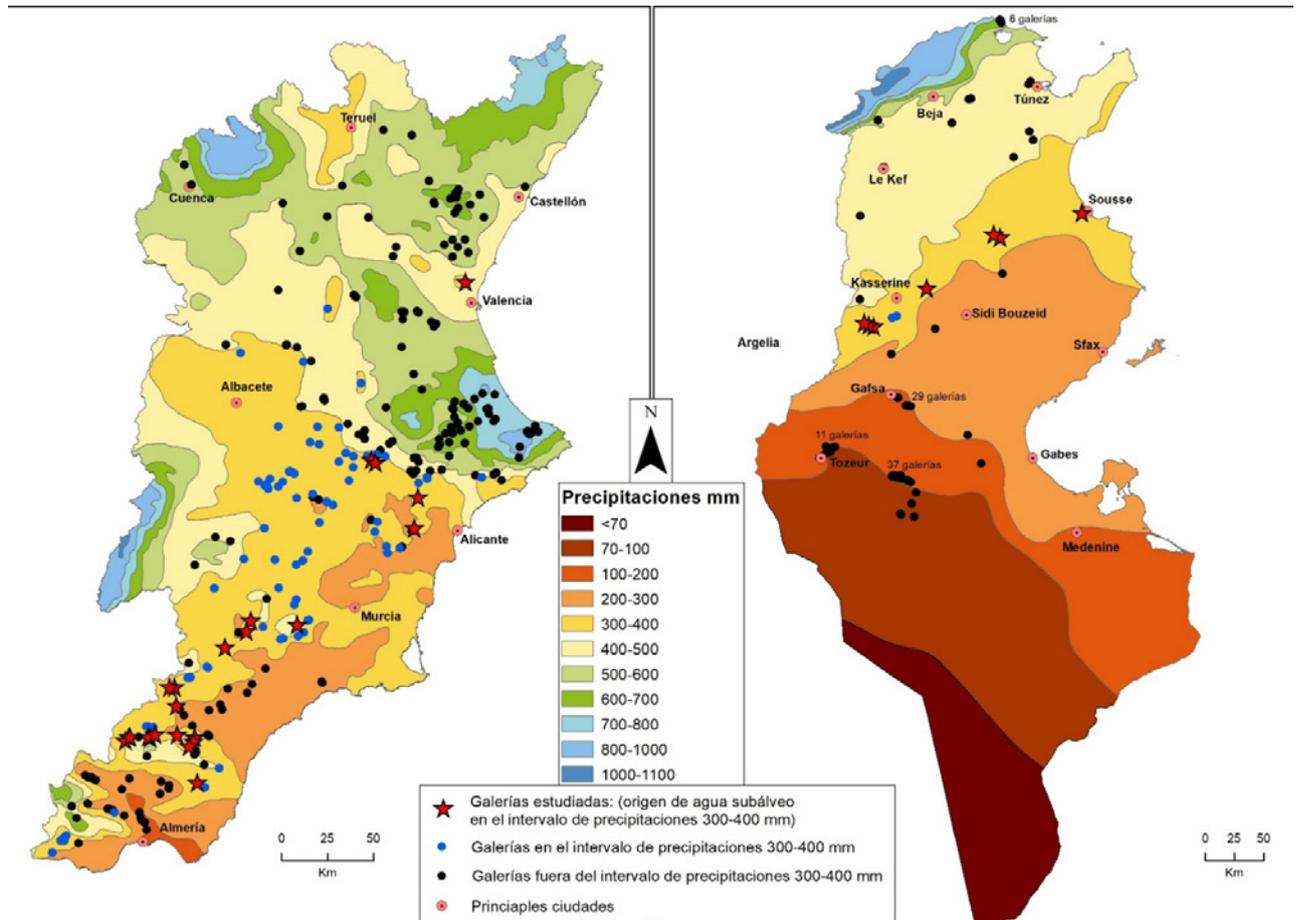
Para la definición del estado de conservación de las galerías se ha utilizado la base de datos de ESTEPA, que aplica un método adaptado a las particularidades de las captaciones de agua (Antequera, 2015). Dicho método se basa en diez criterios: la cultura del agua, la representatividad, la autenticidad, la integridad, las referencias documentales, la tecnología, el criterio artístico-patrimonial, el paisajístico, la hidráulica, la participación y concienciación de agentes sociales.

De las 23 galerías españolas, once no son visitables en su interior. De las restantes, seis cuentan con un estado óptimo de conservación, una con un estado excelente, cuatro aceptables y una con un estado deficiente. En las galerías tunecinas, las cuatro funcionales se encuentran en un estado óptimo de conservación, una posee un estado regular y dos tienen un estado deficiente. (Tablas 4 y 6).

3.1.2. Contextos ambientales y localización de las galerías seleccionadas

Como se ha señalado en la metodología, el criterio de selección de las galerías estudiadas ha sido que captasen aguas subálveas y que tuviesen homogeneidad climática. Esto reduce el contexto ambiental climático, pero no tanto el geológico, salvo que tienen que estar en relación con materiales del Cuaternario. La variabilidad climática, al homogeneizarse la pluviometría media anual, radica solo en la torrencialidad de las lluvias o en detalles de su régimen estacional.

Figura 2: Localización de las galerías drenantes en el Levante español y Túnez, con indicación de las que son de contexto subálveo.



Fuente: Elaboración propia.

En Túnez, las galerías seleccionadas se sitúan en el eje Sousse-Kairouan-Kasserine (figura 2), que se corresponde con la franja del clima “de transición” (estepario) con “sombra” semiárida y subárida (Henia, 2008), al clima “sirio” de Viers (1968) o simplemente al BShs de Köppen. Se trata de

un único espacio, al sur del Atlas tunecino, lo que otorga también una uniformidad a su contexto geológico.

La aridez al Sur del Atlas es debida al efecto de pantalla orográfica de la cordillera sobre las borrascas mediterráneas. Sólo las situaciones sinópticas de levante con “gota fría” en altura escapan a esta situación, pero son cada vez menos numerosas y eficientes hacia el S. La degradación pluviométrica del clima mediterráneo da lugar a franjas más o menos uniformes y continuas, cada vez más esteparias, hasta el desierto.

En el Levante español, hay más sectores espaciales que cumplen el requisito pluviométrico exigido. De S a N se pueden distinguir los siguientes espacios: a) valles y cubetas interiores de la mitad N de Almería; b) valles y altiplanos del interior murciano; c) valles y altiplanos del Vinalopó y E de Albacete; y d) valles y cubetas cerradas del Sistema Ibérico.

3.2. Las galerías de aguas subálveas en Túnez

3.2.1. Geología

Las siete galerías de aguas subálveas tunecinas se encuentran localizadas en tres sectores de la misma franja estructural. Todas las galerías pertenecen al sector de relieve tunecino de las depresiones y planicies centrales existentes al sur del Atlas y, dentro de él, al arco más septentrional de alineaciones montañosas. Están en torno al eje de relieve formado por los *djibal* Al Mghatta, Sidi Aich, Al Kabar y Nara, y en su proyección hacia la costa (Sousse). Estructuralmente, según Hezzi (2014) este eje formaría parte del dominio del Atlas al sur de la dorsal central, es decir, el sector en el que los *djibal* ya son arrugas aisladas y comienzan a haber pequeñas *shebkat* entre ellos.

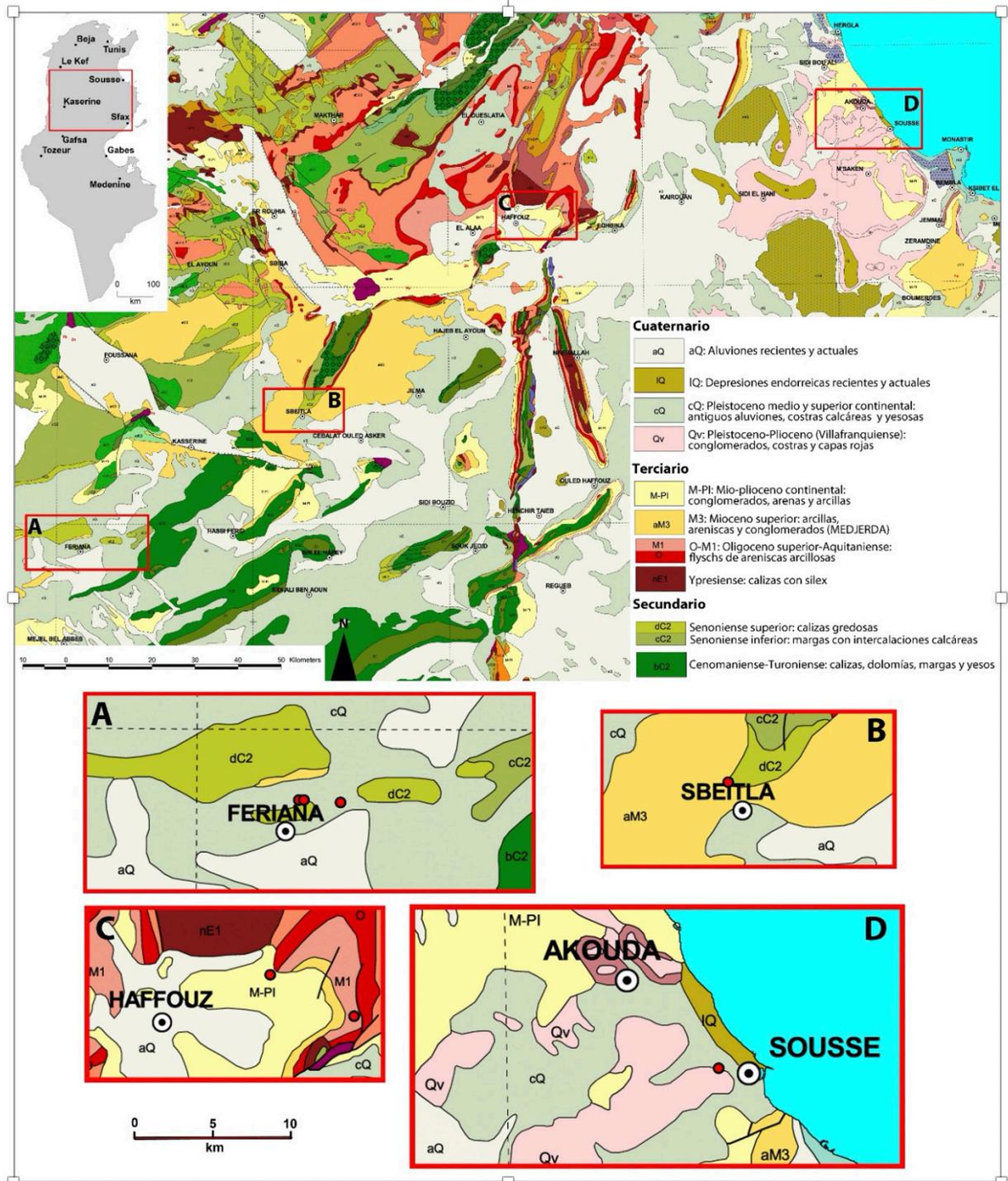
En la figura 3 puede observarse el carácter general de estos pliegues y de las depresiones. En el dominio de la Dorsal, las estructuras alpinas son mucho más compactas y continuas, solo interrumpidas por pequeñas fosas tectónicas transversales, como la de Foussana o la de Er Rouhia. Mientras, en el sector de pliegues las depresiones neógenas y cuaternarias son mucho más amplias, y están conectadas entre sí. Los pliegues anticlinales asoman a modo de islas alargadas en medio de las depresiones. Son sierras (*djebel*) constituidas, en la parte occidental y en la central, por anticlinales calcáreos cretácicos de dirección SW-NE (Dj. Sidi Aich, Dj. Al Kabar, Dj. Saloum, Dj. Mrhila, etc). En la parte oriental, los pliegues, se alinean en dirección N S y están constituidos por materiales paleógenos plegados (Dj. Nara, Dj. Al Sharahil, sinclinal de Sidi Saad, etc.)

A escala más detallada:

- Las tres galerías de Feriana se sitúan en pequeñas cubetas cuaternarias que hay en la conexión entre el Dj. Saloum y el Dj. Serraguia (ya en la frontera con Argelia). El pequeño Dj. Et Touila, formado por calizas del Senoniense, es el que cierra la pequeña cubeta de Thelepte.
- La galería de Sbeitla está en el extremo SW de otro gran anticlinal, el Dj. Mrhila. Su cierre periclinal, de calizas senonienses, se hunde en los materiales detríticos miocenos.

- Las dos galerías de Haffouz, más al E, se hallan en el extremo meridional de uno de los pliegues paleógenos N-S orientales, el Dj. Shrishira, cuando se hunde en materiales miocenos y pliocenos.
- La galería de Sousse, finalmente, está en un dominio geológico diferente, una plataforma de materiales miopliocenos y cuaternarios que reposan sobre el basamento de una plataforma pelágica.

Figura 3: Geología del Túnez central, con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subálveas.



Fuente: Elaboración propia, a partir del Mapa Geológico de Túnez, 1:500.000 (Ben Haji, Jedoui, Dali, Ben Salem y Memmi, 1985).

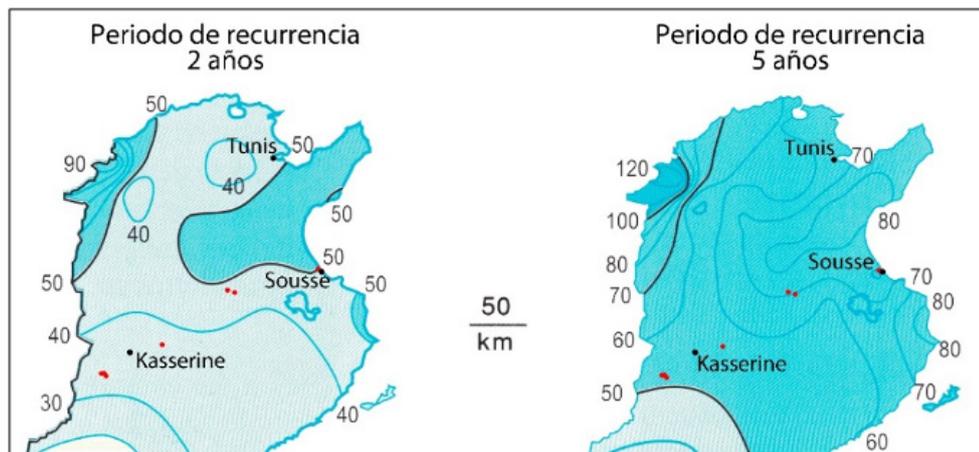
En conclusión, el marco geológico presenta condiciones bastante adecuadas para que puedan establecerse galerías de aguas subálveas, porque suministra: a) roquedos duros que acaban constituyendo los detríticos gruesos que transportan los cursos fluviales, ramblas secas con morfología *braided*, y b) cubetas de materiales neógenos, más arcillosos y margosos, que acaban siendo un subsuelo impermeable sobre el que discurren estos cursos fluviales.

Estas condiciones pueden aprovecharse, sobre todo, en cauces de cuencas grandes, como ocurre en casi todos los casos. La mayor altura de la Dorsal central del Atlas y la propia discontinuidad de los pliegues del S y E, permite que la red fluvial se estructure bien hacia la costa y zonas endorreicas, sin interrupciones, y que la mayor parte de los *oueds* donde están las galerías estudiadas tengan cuencas de grandes dimensiones.

3.2.2. Torrencialidad

En el Túnez semiárido, la torrencialidad de la precipitación es un requisito imprescindible para la generación de aguas subálveas, pues es el único mecanismo hidrometeorológico capaz de hacer funcionar los sistemas hídricos. En la franja donde se sitúan este tipo de galerías, los valores de intensidad diaria máxima de las lluvias son bastante elevados. En la figura 4 se observa que los valores de lluvias máximas diarias con un retorno de 2 años están entre 40 y 50 mm, y con un periodo de retorno de 5 años, entre 50 y 70 (Sakka y Bougrara, 2008). Los records tunecinos de precipitaciones diarias más copiosas se dan en Sousse (con más de 350mm) (Hlaoui, 2008). En Kasserine se ha llegado a alcanzar 100 mm y en Kairouan, 200 mm. La torrencialidad, va decreciendo paulatinamente de E a W (Zahar y Laborde, 2007), pero es suficiente para hacer funcionar regularmente los sistemas hídricos en el interior.

Figura 4: Localización de las galerías estudiadas en relación con las precipitaciones máximas diarias para periodos de recurrencia de 2 y 5 años.



Fuente: Elaboración propia, a partir de Ben Sakka y Bougrara (2008).

3.2.3. Geomorfología e hidrología

Se ha analizado también el tipo de contexto geomorfológico por el que discurren las galerías, esencialmente si se trata de un lecho pedregoso o si discurre por terrazas fluviales, a efectos de

elaborar una hipótesis más precisa sobre el tipo de agua que captan. En la tabla 3 se incluyen estos y otros parámetros ambientales ya analizados. En esencia, predomina un tipo de galería diseñado para recoger agua subálvea en su inicio y para conducirla a terrazas fluviales, donde se ubica el regadío (Oued Bou Haya) o el inicio de una red de abastecimiento (Ain Shrishira y Ain Oued Sbeitla) (figuras 5 y 6 respectivamente).

Figura 5: Cauce del Oued Shrishira, en el área de captación de Ain Shrishira.



Fuente: Autores.

El aporte de aguas de acuíferos detríticos cuaternarios parece ser escaso, lo que es consecuente con el marco climático y geológico general, poco proclive a la aparición de manantiales. Los que hay, se dan en otras condiciones hidrogeológicas y son aprovechados por otro tipo de galerías. Pero al menos está presente en la galería de Ain Oued El Kiss.

Tabla 3: Características ambientales de las galerías estudiadas en Túnez.

Nombre	Func.	Amb.	Anchura cauce (m)	T.C.	Long (m)	Altura boc. (m)	C.N.I.	C.I.
Ain Oued El Kiss	CC	C, T	15-20	NP	1.196	762	Sí	1
Ain Oued Kharroub	SC	T	-	-	4.450	22	No	2
Ain Oued Sbeitla	CC	C	35-60	PR	767	543	Sí	1
Ain Shrishira	CC	C, T	20-110	PA	1.148	229	Sí	2
Bir El-Adine	SC	G, T	-	-	692	310	Sí	3
Oued El Mamoura	SC	C, T	20-25	P	617	761	Si	1
Oued Bou Haya	CC	C, T	15-40	P	312	761	Sí	1

Fuente: Elaboración propia.

Func. (Funcionalidad): CC) Con caudal. SC) Sin caudal. Amb. (Ambiente): T) Terraza. C) Cauce. G) Glacis. T.C. (Tipo de cauce): P) Pedregoso. NP) No pedregoso. PR) Pedregoso-rocoso. PA) Pedregoso-arenoso. C.N.I.:(Cuenca Neógena Intramontana). C.I. (Capa impermeable): 1) Arcillas miocenas. 2) Arcilla miopliocenas. 3) No compete.

En el caso de la galería Ain Oued El Kiss, de lecho no pedregoso y pequeño, que atraviesa un pequeño umbral montañoso, no se trataría de aguas subálveas. La funcionalidad de la galería de una cuenca tan pequeña hace pensar que capta las aguas del acuífero detrítico de la depresión de Thelepte. En superficie, las aguas que llegan a esta depresión vierten al Oued Bou Haya, que confluye con el Oued El Mamoura cerca de Feriana. Subterráneamente, sin embargo, recogidas en la pequeña cubeta neógena de Thelepte y retenidas por el umbral, son drenadas hacia el S por la galería, que aprovecha el corte del umbral que está produciendo la captura incipiente del pequeño barranco de El Kiss.

Finalmente, la galería de Bir El-Adine, según la descripción que se hace en Hermosilla, Antequera y Fansa (2012) no corresponde con los modelos aquí analizados, sino que parece ser un conjunto de minados de aguas de acuíferos no detríticos que atraviesan en su parte final sedimentos cuaternarios.

3.2.4. Características constructivas, funcionalidad y estado de conservación

La totalidad de las galerías estudiadas en Túnez pertenecen a las tipologías de cimbra o cimbranzanja menos una, que es una presa subálvea (ver tabla 2). Son tipologías propias de ámbitos geomorfológicos de cauces o terrazas fluviales, o ambos ámbitos a la vez. La tipología, se determina, en gran medida, por las técnicas constructivas empleadas. Las tres cimbra-zanjas estudiadas poseen una cubierta plana o arquitrabada (techo plano, que forma un ángulo recto con los hastiales que las sostienen por los dos lados) y las tres cimbras, bóvedas de cañón (ver tabla 4).

Para poder disponer de mayor caudal, cuatro de las siete galerías están provistas de bifurcaciones que incrementan los caudales captados. En cuanto a las longitudes de los minados, son muy dispares: oscilan entre 300 m (Galería Oued Bou Haya) a 4'5 km, como es el caso de Ain Oued Kharroub en Sousse.

Figura 6: Oued Sbeitla. Obsérvese la bifurcación, que se adentra en el *Oued*, de la galería de Ain Oued Sbeitla con sus lumbreras pentagonales aproadas a la dirección del flujo.



Fuente: Autores.

Todas las captaciones cuentan con lumbreras, o pozos de aireación, aunque su número es dispar. En cuanto a su forma, pueden ser circulares, cuadradas o pentagonales, aproadas contra corriente (con el fin de atenuar los procesos erosivos y reducir el riesgo de derrumbe). En casi todos los casos coexisten más de una forma de lumbrera.

Llama la atención el estado de conservación de las galerías estudiadas en comparación con la totalidad de las galerías de Túnez. Entre todas las galerías tunecinas, solo el 13% de las galerías goza de un óptimo estado de conservación (Fansa, Antequera y Hermosilla, 2017), en cambio, en las analizadas aquí, el 57% se encuentra en óptimo estado.

Tabla 4: Características constructivas de las galerías estudiadas en Túnez.

Nombre	Nº lumbr.	F.L.	E.I.	Solera	Bifurc	Estado
Ain Oued El Kiss	25	a, b	1	Tierra	Dos	Óptimo
Ain Oued Kharroub	68	a, b	2	Acequia central	No	Deficiente
Ain Oued Sbeitla	19	b, c	2	Desc.	Dos	Óptimo
Ain Shrishira	26	a, b	1	Tierra	Cinco	Óptimo
Bir El-Adine	12	a, b	2	Desc.	Dos	Deficiente
Oued El Mamoura	5	a	1	Tierra	No	Aceptable
Oued Bou Haya	15	a, b	2,3	Tierra	No	Óptimo

Fuente: Elaboración propia.

FL: (Forma de lumbreras): a) Circulares. b) Cuadradas. c) Pentagonales. E.I. (Estructura interna): 1) Cubierta plana o arquitrabada. 2) Bóveda de cañón. 3) Bóveda con arcos de descarga.

3.3. Galerías de aguas subálveas en el SE español

3.3.1. Geología

Las 23 galerías analizadas del SE español se localizan en cuatro sectores principales, salvo el caso aislado de la galería de Bofilla, en la localidad de Bétera.

En conjunto, casi todas las galerías se encuentran en dominios geológicos béticos. Sólo la de Bofilla se encuentra en ámbito ibérico, en la depresión tectónica que sigue el Bco. de Carraixet, entre el escalón de Higuieruelas-Puçol, que limita por el sur el *semihorst* de la sierra Calderona, y la falla antitética de Bétera, que es la que sigue el barranco (Pérez-Cueva, 1986). Esto es debido, en buena medida, a que el dominio ibérico no tiene apenas sectores claramente semiáridos, pero también a su propia constitución geológica, más proclive a litologías duras calcáreas. Ello no quiere decir que no existan ramblas pedregosas propicias, pero éstas no son el modelo normal (Pérez-Cueva y Calvo, 1986).

En la Comunidad Valenciana, las grandes ramblas con lechos pedregosos son excepcionales, y presentan habitualmente litologías calcáreas, con subsuelos permeables, poco propicios para galerías de aguas subálveas. El uso que se hace del término “rambla”, utilizado sobre todo en la zona castellanoparlante (Pérez-Cueva y Calvo, 1986), es para referirse a cauces con cuencas de pequeñas dimensiones, muchos de ellos en terrenos arcillosos, y con fondos de cauce poco favorables al emplazamiento del tipo de galerías analizadas aquí.

Las galerías almerienses se encuentran localizadas principalmente en el dominio bético interno o en su límite con el prebético interno. Están casi todas ellas (10 galerías, figura 7A) en el valle del Almanzora. El río discurre por una estrecha cuenca neógena, con sustrato de arcillas tortonien-ses y margas andalucien-ses, entre materiales de los complejos nevado-filábride al S y alpujárride al N. El contexto geológico de estas galerías es perfecto. Las sierras laterales, la de los Filabres al S y las de Lúcar y Las Estancias al N, proporcionan abundante provisión de detríticos gruesos a los valles, y las margas y arcillas miocenas son un sustrato muy impermeable. Son cauces muy amplios y pedregosos.

También hay una galería aislada, en la cubeta de Sorbas, la galería de El Mayordomo, en un contexto muy parecido a las anteriores. A pesar de la extrema aridez de esta cubeta interior almeriense (“Desierto de Tabernas”), es una zona proclive a surgencias de agua (Río Aguas) y también favorable a la génesis de aguas subálveas, por la fuerte impermeabilidad de las margas del Plioceno superior.

Las galerías del N de Almería (figura 7B) se reparten entre los dominios bético interno y sub-bético. La de la Fuente de la Balsa Vieja, en la Rambla de Oria, está en las filitas y cuarcitas del complejo Alpujárride de la sierra de Las Estancias. Las de los Caños del Cambrón y de la Hila, en la Rambla de Chirivel, están en una pequeña cubeta pliocuaternaria al N de esta misma sierra.

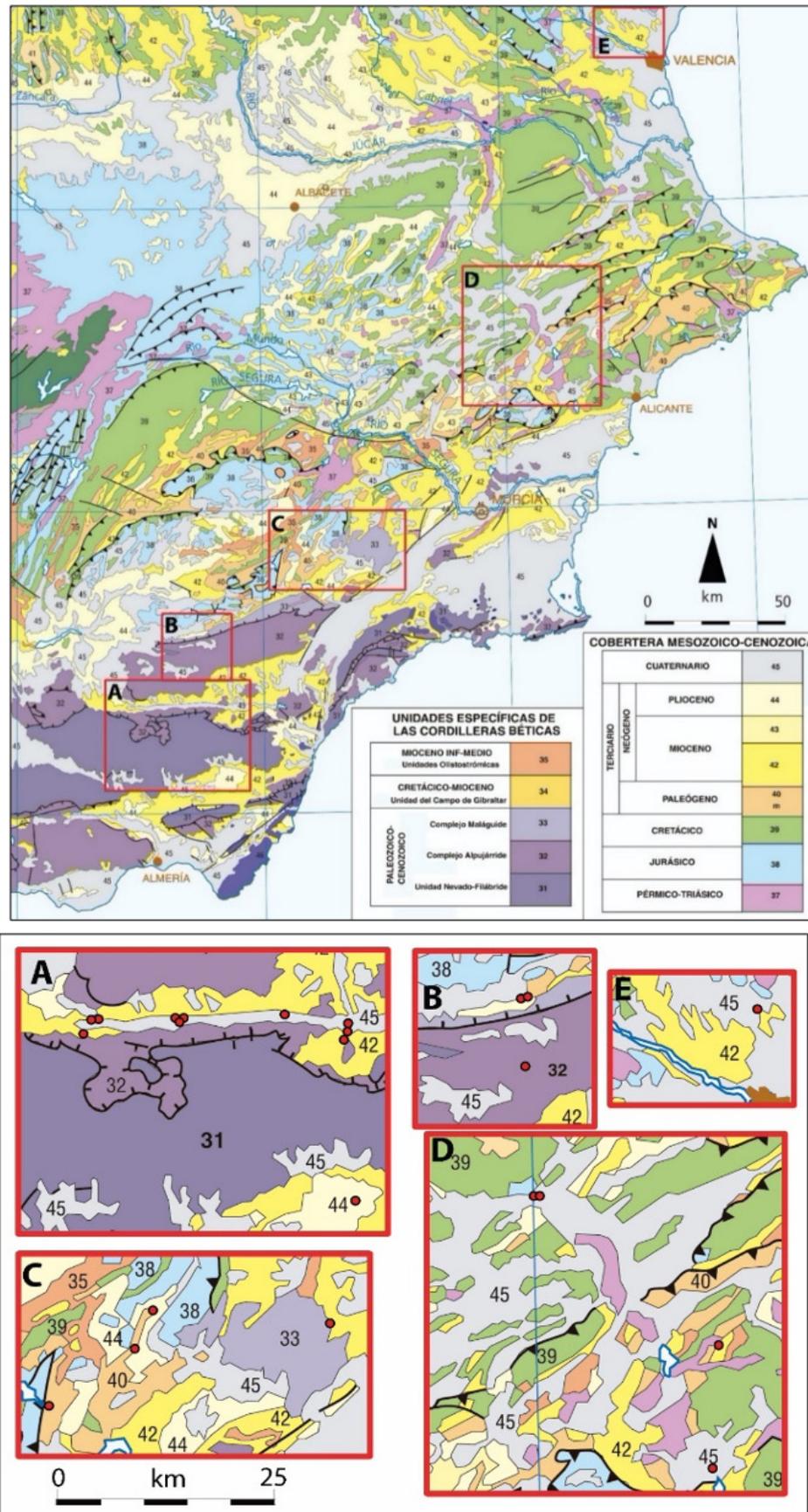
Las cuatro galerías murcianas están situadas en el dominio subbético (figura 7C), excepto la de la Hoya de la Noguera, localizada al pie de la Sierra de Espuña (dominio bético en transición al dominio subbético), y relacionada con materiales impermeables del Keuper. Unas de ellas, la de Ojos de Luchena, ha sido estudiada recientemente por López Fernández (2020). Esta galería no es realmente una galería de aguas subálveas; el agua procede de una descarga provocada por el efecto barrera de una falla inversa que pone en contacto los materiales de la sierra con margas del tránsito Cretácico superior-Paleógeno.

Las otras dos galerías murcianas, la de los Pozos de la Fuente y, sobre todo, la de la Venta de Ossete, tampoco responden exactamente al modelo de aguas subálveas. Ambas están en una pequeña cubeta con margas y arcillas pliocenas, drenada por la Rambla del Cargador, al pie de las sierras jurásicas de Cambrón y de Pedro Ponce, un pequeño cauce que acaba desapareciendo.

Finalmente, las cuatro galerías del Valle del Vinalopó, entre Alicante y Albacete, están localizadas en el dominio prebético externo o en su tránsito al prebético interno (figura 7D). También difieren bastante del modelo “almeriense” de galerías de aguas subálveas, salvo la de la Rambla de Puça. Las de Caudete, la galería de la Huerta de Arriba y la de San Vicente, al igual que la de la Venta de Ossete, son *qanats* situados en glacis con vaguadas, en los que discurre la galería. Los únicos aportes de agua de acuíferos detríticos superficiales son el de los aluviones del fondo de las vaguadas de los glacis y el de su breve recorrido final por las terrazas fluviales. El elemento más favorable es la capa impermeable de “tap” mioceno sobre la que se desarrollan los glacis, que intercepta toda el agua infiltrada en la cubierta aluvial y coluvial de éstos.

La galería de Las Canales, en Aspe, en la Rambla de Tarafa, es una mina de corto recorrido situada en una terraza fluvial, con una base impermeable de margas miocenas. Por último, la mina del Agua o de Bienvenida, en la Rambla de Puça (Petrer), sí que responde al modelo previsto, pues es una larga cimbra situada entre el cauce pedregoso y las terrazas de la rambla.

Figura 7: Geología del SE español (1), con ampliación de los sectores que tienen galerías de aguas subálveas (2).



Fuente: Elaboración propia, a partir del Mapa Geológico de España, 1:2.000.000 (González Fernández y Vicente, 2004).

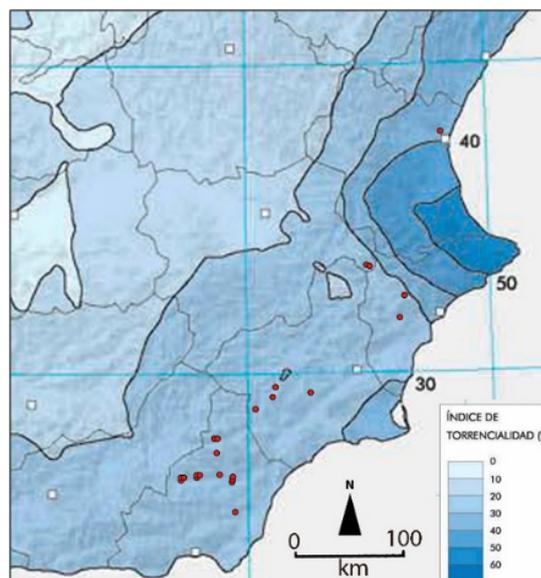
3.3.2. Torrencialidad

Si en las galerías del Túnez semiárido se señalaba que la torrencialidad era un requisito *sine qua non* para el funcionamiento de los sistemas hídricos, en el Levante español puede afirmarse lo mismo. La diferencia puede estribar en matices, como que, en algunos dominios geológicos, como los ibéricos y los prebéticos internos o externos, los materiales calcáreos son algo más abundantes y puede ser necesario un umbral de torrencialidad más elevado. Camarasa y Segura (2001) fijan un umbral de 60 mm para el funcionamiento de los sistemas hídricos en las tierras septentrionales de la Comunidad Valenciana. En casos extremos, en cuencas calcáreas y suelos muy secos, pueden ser necesarios episodios de lluvias muy voluminosos (100 mm en 24h), como los señalados para la Rambla de la Viuda por Mateu (1982) para una escorrentía efectiva. Los valores de los umbrales medios de escorrentía de la Rambla de la Viuda y del Riu Cérvol, según Segura (1990), se sitúan respectivamente en 65'9 y 62'4 mm/día.

Pero, normalmente, unas lluvias diarias superiores a 30 mm, suelen ser suficientes para provocar la escorrentía en las cuencas más arcillosas del SE semiárido. Pujante (1983), en la Rambla de les Ovelles, sugiere un umbral de intensidades superiores a 50mm/hora para que se produzcan inundaciones en la ciudad de Alicante. Gil Olcina (1986) señala una intensidad entre 40-55 mm/h durante más de 10-15 minutos (unos 10 mm, siempre y cuando caigan con esa intensidad). Segura (1990), con una metodología diferente, sugiere valores de 35-40mm/día para la cuenca del Riu Montnegre.

Estos valores de torrencialidad son habituales en el Levante español (figura 8). En el área de emplazamiento de las galerías, los valores de participación de la lluvia diaria superior a 30 mm sobre el total anual están entre el 20% y el 30% en casi todos los casos, y cercanos al 40% en la del Carraixet. Ello quiere decir que cerca de 100 mm al año caen en condiciones propicias para que funcionen los sistemas hídricos. Incluso en algunos lugares (como en las comarcas de la Safor y la Marina Alta en las provincias de Valencia y Alicante respectivamente) estos valores llegan a superar el 50% de cantidades anuales cercanas a 800 m. La gran cantidad de galerías de aguas subálveas o detríticas cuaternarias de este sector demuestra la importancia de este factor.

Figura 8: Emplazamiento de las galerías subálveas estudiadas en el mapa del "Índice de torrencialidad" de las lluvias".



Fuente: Elaboración propia a partir del Atlas Nacional de España (2005).

3.3.3. Geomorfología e hidrología

Como en las galerías de Túnez, también aquí se ha analizado el tipo de contexto geomorfológico por el que discurren las galerías, y se ha tratado de elaborar una hipótesis más precisa sobre el tipo de agua que captan. En la tabla 5 se incluyen estos y otros parámetros ambientales ya analizados.

En esencia, destacan cuatro tipos de galerías. El principal es el que hemos denominado “de cauce amplio” o “almeriense” (por su abundante presencia en dicha provincia). Es una galería diseñada para recoger agua subálvea en su inicio o a lo largo de todo su recorrido, que acaba en terrazas fluviales, donde se ubica el regadío (la Zanja del Gadil, la Mina de Bofilla, o la Mina del Agua o de Bienvenida). El aporte de aguas de acuíferos detríticos cuaternarios en algunos casos puede ser importante, dada la considerable magnitud de las terrazas fluviales y la ocasional presencia de surgencias en el lecho. Es el caso de la galería de Santa Fe de Mondújar, en el valle del Andarax (Antequera y Pérez-Cueva., 2006), que parece recoger las aguas del acuífero de La Calderona, un acuífero de unos 200 km² y más de 300 metros de espesor (I.T.G.E. y Junta de Andalucía, 1998). También parece ser el caso de las galerías de Serón, que tienen cercanas descargas de acuíferos aguas arriba, según el Atlas Hidrogeológico de Andalucía, y la del Burro o los Corella, que muestra abundante caudal con tan solo 300 m de galería.

Tabla 5: Características ambientales de las galerías estudiadas del SE español.

Nombre	Func.	Amb.	Anchura cauce (m)	T.C.	Long (m)	Altura boc. (m)	C.N.I.	C.I.
Caño de La Hila	SC	T, C	10	NP	300	1.044	Sí	1, 9
Caño del Cambronero	CC	T, C	10	NP	350	1.031	Sí	1, 9
Cimbra de Los Vergara	CC	T	-	-	300	870	No	12
El Minat o Mina de Bofilla	CC	T, C	75-140	P	3.700	47	No	13
Fuente de El Mayordomo	CC	T, C	50-75	P	450	411	Sí	2
Fuente de La Balsa Vieja	CC	T, C	20-25	P	350	856	No	12
Fuente de Vega	CC	T, C	25-30	P	600	789	Sí	10
Fuente de Donatos	CC	T, C	25-35	P	1.000	783	Sí	10
Fuente de Padules	CC	T, C	25-80	P	1.500	600	Sí	4, 10
Fuente de Toribia	CC	T, C	45-70	P	2.000	329	Sí	10
Galería Venta de Ossete	CC	T, G	-	-	1.075	709	Sí	3
La Hoya de La Noguera	CC	T, C	5-10	P	1.125	572	No	11
Mina de Las Canales o Barrenas	CC	T	-	-	100	200	Sí	7
Mina de San Vicente	SC	T, G	-	-	1.275	593	Sí	6
Mina del Agua o Bienvenida	SC	T, C	10-15	P	800	615	Sí	6
Mina del Moto o de La Huerta de Arriba	SC	T, G	-	-	2.265	575	Sí	6
Ojos de Luchena	CC	C	-	-	840	579	No	8
Pozos de La Fuente	CC	T, C	2-5	NP	550	800	Sí	3
Zanja de Chaulena-Padules	CC	T, C	30-40	P	800	609	Sí	10
Zanja de La Hoya Alta	CC	T, C	50-70	P	1.020	358	Sí	4, 10
Zanja de La Huerta de Judas	CC	T, C	15-70	P	403	338	Sí	10
Zanja del Burro o de Los Corella	CC	T, C	30-90	P	300	359	Sí	10
Zanja del Gadil	CC	T, C	25-50	P	648	627	Sí	4,5

Fuente: Elaboración propia.

Func. (Funcionalidad): CC) Con caudal. SC) Sin caudal. Amb. (Ambiente): T) Terraza. C) Cauce. G) Glacis. T.C. (Tipo de cauce): P) Pedregoso. NP) No pedregoso. C.N.I.:(Cuenca Neógena Intramontana). C.I. (Capa impermeable): 1) Arcillas pliocuaternarios. 2) Margas del Plioceno superior. 3) Margas y arcillas pliocenas. 4) Margas y arcillas del Andaluciense. 5) Margas y arcillas del Tortoniense. 6) Margas “tap”. 7) Margas miocenas. 8) Margas del Cretácico superior-Paleoceno. 9) Conglomerados. 10) Conglomerados con matriz arcillosa y arcillas del Tortoniense. 11) Keuper. 12) Filitas y cuarcitas permotriásicas. 13) No compete.

Estas galerías están relacionadas con cauces que tienen cuencas de notables dimensiones, lechos pedregosos y gran amplitud. Suelen estar en las partes medias y bajas de las cuencas (lo que puede apreciarse en las bajas cotas de las bocaminas), y siempre tienen una capa impermeable infrayacente. Son galerías largas, de varios hectómetros o poco más de un kilómetro, pero pocas veces de muy grandes dimensiones. La longitud media de las galerías que pertenecen a esta tipología (14 galerías de las 23 estudiadas) es de 845 m (entre 300 m en la Zanja del Burro o de los Corella, y 2.000 m en la Fuente de Toribia), sin contar el caso excepcional de la de Bofilla, en Bétera (con una longitud de 3.700 m).

Muy diferentes son los contextos ambientales las galerías “de piedemonte”. Normalmente son minados largos o muy largos, instalados totalmente en glacis, con nula o muy escasa presencia de materiales aluviales cuaternarios. Para ello, sirven mejor las vaguadas o valles de fondo plano con relleno aluvial y coluvial, y sin cauce encajado. En los piedemontes, lo más semejante a esto son las vaguadas internas existentes en los glacis de erosión o los tramos finales de los glacis de acumulación. También cabe la posibilidad de galerías cuyo tramo final atravesase terrazas aluviales. En estas galerías la presencia de un cauce, pedregoso o no, más o menos ancho, no es esencial. Pertenecen a este tipo las dos galerías de Caudete (la Mina de San Vicente y la Mina del Moto) y la galería de Venta de Ossete (La Paca, Lorca). La longitud media de estos minados es de unos 1.500 m y la altitud media a la que se halla la bocamina es de 625 m, ya que se localizan sobre todo en los altiplanos y cubetas interiores del dominio prebético y subbético.

Otro tipo muy diferente es el de las galerías que captan aguas de grandes surgencias en materiales detríticos. Estas galerías, a las que hemos denominado “de surgencia”, constituyen ejemplos excepcionales o escasos, en medios semiáridos, donde no abundan los grandes manantiales (*vgr.* Ojos de Luchena). La longitud del minado no suele ser un parámetro significativo, y puede ser muy variable. El diseño de estas galerías está adaptado a cada contexto ambiental concreto, para conseguir concentrar una surgencia difusa y elevar la altura de salida del agua al máximo.

Finalmente tenemos un conjunto de galerías de características mixtas y contextos ambientales diversos (4 galerías de los 23 casos analizados). Estos minados se hallan, principalmente en relación con terrazas fluviales (galerías “de terraza”). No obstante, pueden atravesar algún cauce, pero de poca amplitud, y no pedregoso. Este grupo presenta unos cortos recorridos, con una longitud media de unos 300 m.

3.3.4. Características constructivas, funcionalidad y estado de conservación

Las galerías analizadas en el sureste español presentan una mayor diversidad tipológica en comparación con sus homólogas tunecinas (ver tabla 6). Gran parte de ellas son tipologías propias de cauces y terrazas fluviales (cimbra, cimbra-zanja, cimbra con lumbreras laterales, o zanja). En cuanto a su estructura interna, siete de las 20 de las que se dispone información sobre su forma interna, poseen una cubierta plana o arquitrabada, otras cuatro presentan bóveda de cañón, una de arco de descarga y dos tienen una sección irregular. Las seis que restan, a lo largo de su recorrido, combinan tramos con diferentes formas de sección, en función de la consistencia de los materiales que atraviesan o la técnica constructiva empleada en dichos tramos.

Al igual que las captaciones tunecinas, más de la mitad de las galerías están provistas de bifurcaciones que incrementan los caudales captados. En cuanto a las longitudes de los minados, son muy dispares: oscilan entre 100 m (la Mina de las Canales o Barrenas) y 3'7 km (como es el caso de la Mina de Bofilla).

Todas las captaciones cuentan con lumbreras, o pozos de aireación, a excepción de la Mina de los Canales o de Barrenas, que no posee ninguna (dada su tipología y su corto recorrido); aunque su número es dispar (entre 3 y 37 pozos). En relación a su forma, pueden ser circulares, cuadradas, rectangulares, ovaladas o irregulares. Por lo general, suele haber más de una forma de lumbrera en una misma galería.

En 12 de las 23 galerías, no se obtuvo información sobre su estado de conservación, por no ser visitables. De las once que restan, cinco están en óptimo estado de conservación, una con excelente estado, cuatro con un estado aceptable y sólo el Caño de la Hila, se halla en un estado deficiente.

Tabla 6: Características constructivas de las galerías estudiadas del SE español.

Nombre	Nº lumbr.	F.L.	E.I.	Solera	Bifurc	Estado
Caño de La Hila	27	h	1	Tierra		Deficiente
Caño del Cambronero	12	b	1	Tierra	No	No visitable
Cimbra de Los Vergara	2	a	2	Tierra	3	Excelente
El Minat o Mina de Bofilla	15	a, d, e	2, 7	Liso impermeable	No	Óptimo
Fuente de El Mayordomo	5 (lat.)	g	2	Tierra	No	No visitable
Fuente de La Balsa Vieja	Varias	h	8	Tierra		No visitable
Fuente de Vega	3 (min.)	a	2	Tierra	1	No visitable
Fuente de Donatos	2	a	3	Tierra	Sí	No visitable
Fuente de Padules	3 (min.)	f	1, 5	Tierra	3	Aceptable
Fuente de Toribia	3 (min.)	a	1	Tierra		No visitable
Galería Venta de Ossete	12	a, f	8	Liso impermeable	Una	visitable
La Hoya de La Noguera	10	a, d	7	Tierra	2	No visitable
Mina de Las Canales o Barrenas	No	-	2, 3	Acequia lateral	3	Óptimo
Mina de San Vicente	13	a	8	Desc.	No	Aceptable
Mina del Agua o Bienvenida	5	a	4, 6	Tierra	No	Aceptable
Mina del Moto o de La Huerta de Arriba	39	a	2	Liso impermeable	No	Aceptable
Ojos de Luchena	20	a, b, g	7	Piedra	Varias	No visitable
Pozos de La Fuente	15	a, b	1, 2, 7	Tierra y liso impermeable	No	Óptimo
Zanja de Chaulena-Padules	Varias	a	1	Liso impermeable	No	No visitable
Zanja de La Hoya Alta	11	b	1	Tierra	1	Óptimo
Zanja de La Huerta de Judas	12	b	1	Tierra	Sí.	No visitable
Zanja del Burro	Varias	b	1	Tierra	1	No visitable
Zanja del Gadil	20	a	1, 2	Tierra	1	Óptimo

Fuente: Elaboración propia.

FL: (Forma de lumbreras): a) Circulares. b) Cuadradas. c) Pentagonales. d) Ovaladas. e) Trapezoidales. f) Rectangulares. g) Irregulares. h) Desconocidas. El (Estructura interna): 1) Cubierta plana o arquivada. 2) Bóveda de cañón. 3) Bóveda con arcos de descarga. 4) Cubierta plana o adintelada. 5) Bóveda de crucería. 6) Bóveda con arcos de tipo angular. 7) Bóveda irregular. 8) Desconocida.

4. Discusión

4.1. Análisis comparado

El análisis comparado entre las galerías drenantes tunecinas y del sudeste español se ha basado en aislar la variable climática de las lluvias totales anuales, pero también en elegir sólo un tipo de galerías, las que tienen relación con acuíferos subálveos o detríticos aluviales cuaternarios.

La comparación es difícil, sobre todo por el escaso número de galerías de este tipo halladas en Túnez. Además, en ellas suele ser problemático averiguar el grado de aportación de las aguas subálveas y el de los acuíferos detríticos cuaternarios. A ello se suma que algunos acuíferos detríticos se recargan lateralmente por descargas de aguas propiamente subterráneas. Por ello, la comparación solo puede concluir sobre la existencia de ambos tipos de sistemas en el Levante español y en Túnez, sobre la presencia de factores ambientales contextuales similares y sobre la similitud de características tipológicas, morfológicas y constructivas.

Del análisis de las características medioambientales de las galerías se deduce que los factores que propician su emplazamiento son muy similares en el SE español y en Túnez: Los factores ambientales más favorables son la existencia de roquedos duros en la cuenca, de roquedos impermeables en la base de la galería, de una notable torrencialidad de las lluvias, y de tamaños de cuenca medianos o grandes. Las características ambientales más comunes son su ubicación en cauces amplios y pedregosos, la presencia de terrazas fluviales, presencia de aguas subálveas y surgencias difusas ocasionales:

- Se necesita una mínima frecuencia de altas intensidades de la precipitación. Esto ocurre, incluso, en las galerías drenantes de aguas de origen estrictamente subálveo ya que, si no funciona la rambla o el *oued* pedregosos con cierta regularidad, no se genera el recurso hídrico explotado.
- Es muy conveniente que las cuencas de recepción aguas arriba de las galerías sean de litologías alternantes, pues tienen que generar escorrentías con facilidad tras unas lluvias intensas, pero a la vez proporcionar detríticos gruesos (arenas, gravas, cantos) para el álveo del cauce donde se emplazan.
- El ambiente geomórfico concreto llega a ser decisivo. Frecuentemente se observa que el trazado de las cimbras y zanjas es largo, cruza el álveo del curso fluvial, y entra y sale en las terrazas bajas, a efectos de aumentar su recarga; la bocamina casi siempre utiliza este ambiente geomórfico de terraza fluvial, muy apropiado para el regadío.
- La totalidad de los rasgos se repiten indefectiblemente en las galerías españolas y en las tunecinas, lo que conlleva que las características, técnicas y soluciones adoptadas sean similares. En cada caso se ajusta el diseño a las condiciones topográficas y ambientales concretas, de modo que no hay ninguna galería idéntica a otra. Pero ello se hace con un conjunto de elementos y medidas comunes. No se observa ningún rasgo exclusivo en ninguno de los dos grupos comparados. Incluso el uso dado a las aguas y su gestión son similares.

4.2. Estrategia ambiental del sistema

Todos los sistemas de minados de agua siguen una estrategia ambiental de adaptación al medio, tanto en la captación del agua como en su aprovechamiento posterior. Las cortas minas se adaptan a condiciones hidrogeológicas propicias como es la existencia de manantiales. Un ejemplo de ello es la galería de El Arca del Agua, en Guadalupe, Cáceres, que aprovecha las cuarcitas fisuradas del Ordovícico (Antequera, Escrivá, Pérez Cueva y García Patón., 2008). Los *qanats* en glaciares son capaces de llegar a freáticos alejados, y de seguir incorporando más agua en sus largos recorridos, como la Mina de Puntillas y la Mina de la Casa del Manzano o de la Pedrera, en Jumilla, Murcia), o la Mina de la Balsa de la Esperanza en Montealegre del Castillo, Albacete (Antequera *et al.*, 2008). Algunas galerías en terrazas aluviales cuaternarias se diseñan para concentrar surgencias difusas. Un ejemplo es la Font del Port, Albaida, Valencia (Antequera y Pérez-Cueva, 2006).

La estrategia de las zanjas y cimbras de aguas subálveas, fundamentalmente, es captar el flujo subálveo de los ríos secos y ramblas, y la de los acuíferos en materiales detríticos cuaternarios conectados a ellos (como la mina de Fuente Madre, en Castejón de Monegros, Huesca, (Antequera *et al.*, 2008). Para este cometido, en general, sirven los minados largos, aunque no en exceso, y poco profundos.

En general, los objetivos fundamentales de los sistemas de minados de agua son conseguir más agua y alumbrarla a mayor altura. En el caso de los minados de aguas subálveas esta función se observa con diferentes diseños y procedimientos. Uno muy específico y bastante recurrido es el de captar descargas subsuperficiales de manantiales que “se pierden” entre las gravas cuaternarias y surgen de modo difuso y a cotas más bajas. Es el caso de la Font del Port, (Albaida), que en su diseño incorpora mechinales laterales que drenan el agua hacia el interior de la mina (Antequera y Pérez-Cueva, 2006). Otro diseño frecuente, para captar el máximo de aguas subálveas, en el fondo de lechos pedregosos, es hacer que el minado lo atravesase varias veces por debajo, de modo que se intercepte el máximo de agua. La estrategia ambiental de las presas subálveas es la misma, aunque en su caso es necesario un subsuelo muy impermeable (Gil *et al.*, 2011). Pero la estrategia más frecuente es la de ir situando la mina indistintamente bajo el lecho y también bajo las terrazas fluviales laterales, ya que éstas pueden recibir agua subálvea de cursos influentes, y quizá también de descargas laterales subterráneas.

La totalidad de estas estrategias de adaptación y de captación pierden valor si el agua no dispone de un ambiente geomórfico apropiado y cercano para poder desarrollar un espacio agrícola. Pero, el análisis de múltiples casos muestra que éste es un factor mucho menos limitante que el de la propia posibilidad de captar agua. El regadío de galerías se puede dar en todo tipo de medios (glacis, piedemontes aluviales y coluviales, terrazas fluviales, fondos de valle...) incluso en los más difíciles, como son las laderas. Los minados de agua con regadío en laderas de los castillos de Cabas y de Beselga, (Pérez-Cueva y Antequera, 2006) así lo manifiestan.

En el caso de las galerías estudiadas en el presente artículo, la estrategia ambiental está basada en cuatro factores principales:

- Captación indistinta de aguas subálveas y/o detríticas cuaternarias, al tratarse de medios esencialmente esteparios.
- Regadío en terrazas bajas de los cauces, que suelen ser suficientemente amplias y no exigen elevar el agua en exceso.
- Utilización de técnicas apropiadas que faciliten la entrada del agua en la galería a lo largo de toda ella (mechinales, profundidad adecuada, paredes y techos permeables, longitudes mínimas eficientes que garanticen suficiente agua, pero permitan repetir los minados aguas abajo...)
- Ubicación preferente en medios favorables: por ejemplo, climas con lluvias torrenciales, cauces pedregosos, o subsuelos impermeables, como las margas andalucenses en Almería, etc.

5. Conclusiones

El análisis comparado de galerías drenantes que utilizan aguas subálveas o de acuíferos detríticos subsuperficiales en Túnez y SE español no muestra que existan diferencias significativas, ni en las condiciones ambientales, ni en las características constructivas y funcionales.

Los contextos más propicios para estas galerías son ubicarse en cuencas amplias, de litologías alternantes, subsuelos impermeables, con lechos pedregosos, y con una torrencialidad de las lluvias que permita que los sistemas hídricos funcionen con cierta frecuencia. La excavación de las galerías se realiza también en las terrazas bajas de los cauces fluviales, lo que posibilita el aprovechamiento de acuíferos no estrictamente subálveos y de surgencias difusas.

En tales contextos, las soluciones adoptadas son similares en ambos territorios, tanto en las tipologías utilizadas, como en sus características constructivas o sus dimensiones. Incluso la funcionalidad actual de los sistemas, muy baja en Túnez, es claramente más alta de lo normal en estos tipos de galerías, como ocurre en el SE español. Esto permite aceptar la hipótesis inicial de que, ante contextos ambientales similares, las soluciones adoptadas han de ser similares.

Con todo, un análisis detallado de cada sistema revela que no existe ningún caso idéntico, pero que todos tienen una estrategia ambiental de adaptación al medio. Su objetivo es captar el máximo posible de recursos hídricos, tanto mediante la selección de los mejores emplazamientos como con las propias soluciones constructivas (mechinales, bifurcaciones, techos permeables...), y de conducir el agua a lugares (poblaciones o regadíos) donde pueda ser aprovechada de modo eficiente.

Contribución de autorías

El artículo ha sido coordinado por G. Fansa Saleh y A. J. Pérez Cueva que han llevado a cabo también la revisión bibliográfica. Los cuatro autores (G. Fansa Saleh, A. J. Pérez Cueva, J. Hermosilla Pla y E. Iranzo García) han participado en la redacción y discusión del artículo. La elaboración de mapas y figuras estuvo a cargo de G. Fansa y A. J. Pérez.

Conflicto de intereses

Los autores de este trabajo declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

Bibliografía

- Antequera Fernández, M. (2015). *Las galerías drenantes en el sector oriental y suroriental de la Península Ibérica. Identificación, análisis y gestión patrimonial*. Tesis doctoral, Departament de Geografia, Universitat de València. <http://hdl.handle.net/10550/43231>
- Antequera Fernández, M. & Pérez Cueva, A.J. (2006). Galerías drenantes representativas del sureste peninsular (93-152) En Hermosilla, J. (Dir.), *Las galerías drenantes del Sureste de la Península Ibérica*. Colección Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad, nº1. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Antequera Fernández, M., Escrivá Almiñana, R., Pérez Cueva, A.J. & García Patón, J. (2008). Galerías drenantes seleccionadas en el interior de la España península (61-212) En Hermosilla Pla, J. (Dir.), *Las galerías drenantes en España. Análisis y selección de qanat(s)*. Colección Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad, nº2. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, Madrid.
- *Atlas Nacional de España* (2005). Ministerio de Fomento e Instituto Geográfico Nacional. Centro Nacional de Información Geográfica, <http://www.ign.es/ane/ane1986-2008/>.
- Barón, A. & Carbonero, M.A. (1987). Las captaciones por gravedad, qanat(s): Situación actual y posibilidades de uso. En *IV Simposio de Hidrogeología*, tomo XI, IGME, Palma de Mallorca, 781-795.
- Beckers, B., Berking, J. & Schütt, B. (2013). Ancient water harvesting methods in the drylands of the Mediterranean and Western Asia. *eTopoi. Journal for Ancient Studies* 2, 145-164.
- Ben Haji, A., Jedoui, Y., Dali, T., Ben Salem, N. & Memmi, L. (1985). *Carte géologique de la Tunisie à 1/500.000*, Office National des Mines, Service Géologique National, Tunisie.
- Ben Sakka, M. & Boughrara, L. (2008). Pluies journalières maximales selon différentes périodes de retour (22-23) En Henia, L. (Dir.) *Atlas de l'eau en Tunisie*. Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche GREVACHOT, Tunis.

- Camarasa Belmonte, A.M. & Segura Beltrán, F. (2001). Las crecidas en ramblas valencianas mediterráneas. *Estudios Geográficos*, 62(245), 649-674. <http://dx.doi.org/10.3989/egeogr.2001.i245.270>
- Cressier, P. (1989). Archéologie des structures hydrauliques en Al-Andalus. En *El agua en zonas áridas, arqueología e historia*. I Coloquio de Historia y Medio Físico, Almería, 14-15-16 de diciembre de 1989, Instituto de Estudios Almerienses de la Diputación de Almería.
- Fansa, G., Antequera Fernández, M., & Hermosilla Pla, J. (2017). Análisis comparativo de las galerías drenantes tunecinas y del sector oriental y suroriental español. Un modo de captación de aguas subterráneas en la cuenca mediterránea. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 75, 293-317. <https://doi.org/10.21138/bage.2502>
- Gil Meseguer, E.; Martínez Medina, R. & Gómez Espín, J.M. (2011). Modelos de uso sostenible del agua: las galerías asociadas a presa subálvea. *Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, XV (374), Universidad de Barcelona, 1-14. <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-374.htm>
- Gil Meseguer, E., & Gómez Espín, J. M. (1993). Galerías con lumbreras en el sureste de España. *Papeles De Geografía*, (19), 125-145. <https://revistas.um.es/geografia/article/view/44271>
- Gil Olcina, A. (Dir.) (1986). Inundaciones en la ciudad y Término de Alicante. Alicante, Universidad de Alicante y Ayuntamiento de Alicante.
- González Fernández, M.I. & Vicente, J. (2004). Mapa Geológico de España, Escala 1:2.000.000. Área de Cartografía Geológica, Dirección de Geología y Geofísica. En Vera, J.A. (Ed.), *Geología de España*. IGME, Madrid.
- Henia, L. (Dir.), (2008). *Atlas de l'eau en Tunisie*. Unité de Recherche GREVACHOT, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Université de Tunis.
- Hermosilla Pla, J., Iranzo García, E., Pascual Aguilar, J. A., Antequera Fernández, M. & Pérez Cueva, A. J. (2004). Las galerías drenantes de la provincia de Almería: análisis y clasificación topológica. *Cuadernos de geografía*, 76, Universidad de Valencia, 125-153. <http://hdl.handle.net/10550/31290>
- Hermosilla Pla, J. (dir.) (2006). *Las galerías drenantes del Sureste de la Península Ibérica*. Colección Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad, nº1. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Hermosilla Pla, J., Antequera Fernández, M. & Fansa, G. (2012). La galería de Bir-El Adine, Kairouan (127-137). En Hermosilla Pla, J., et al., *Paisaje y galerías de agua en la región centro-oriental de Túnez. Las Gobernaciones de Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax y Kairouan*. Ed. Departament de Geografia, Universitat de València.
- Hermosilla Pla, J., Antequera, M. & Fansa, G. (2013). Las galerías drenantes del sector centro occidental de Túnez (35-108). En Hermosilla, J. y Moussa, M. (Dirs.), (2013): *Las galerías de agua en la región noroccidental de Túnez. Patrimonio hidráulico mediterráneo*. Ed. Departament de Geografia, Universitat de València.
- Hermosilla, J. & Moussa, M. (Dirs.), (2013). *Las galerías de agua en la región noroccidental de Túnez. Patrimonio hidráulico mediterráneo*. Ed. Departament de Geografia, Universitat de València.
- Hermosilla Pla, J., Moussa, M., Rejeb, H., Antequera Fernández, M., Fansa, G., Abassi, M., Ben Haj, K., Halloul, S., Sayari, N. & Iranzo García, E. (2012). *Paisaje y galerías de agua en la región centro-oriental de Túnez. Las Gobernaciones de Sousse, Monastir, Mahdia, Sfax y Kairouan*. Ed. Departament de Geografia, Universitat de València.
- Hezzi, I. (2014). *Caractérisation géophysique de la plateforme de Sahel, Tunisie nord-orientale et ses conséquences géodynamiques*, Tesis Doctoral, Université Renne.
- Hlaoui, Z. (2008). Pluies journaliers maximales selon différentes périodes de retour (24-25) En Henia, L. (Dir.) *Atlas de l'eau en Tunisie*. Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales,
- I.T.G.E. & Junta de Andalucía (1998). *Atlas Hidrogeológico de Andalucía*. Instituto Tecnológico Geominero de España y Junta de Andalucía. Madrid.
- Kobori, I. (1976). Notes on Foggara in the Algerian Sahara. *Bulletin of Department of Geography*, 8, University of Tokyo, 41-55.
- López Fernández, J.A. (2020). Galerías de agua en el campo alto de Lorca (Región de Murcia). Análisis y caracterización territorial. *Investigaciones Geográficas*, (73), 235-256. <https://doi.org/10.14198/INGEO2020.LF>
- Mateu Belles, J.F. (1982). El norte del País Valenciano. Geomorfología litoral y prelitoral. Universidad de Valencia.
- Ouessar, M., Hessel, R., Sghaier, M. & Ritsema, C.J. (2012). *Report on water harvesting inventory history and success stories*. 7th Framework programme, WAHARA Project, Scientific Report, nº5.
- Palerm Viqueira, J. (2004). Las galerías filtrantes o qanats en México: introducción y tipología de técnicas. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, julio-diciembre 2004, México, I (2), 133-145. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722004000200003

- Pérez Cueva, A.J. & Antequera Fernández, M. (2006). Contextos ambientales de las galerías drenantes en el sureste de la Península Ibérica (21-41) En Hermosilla, J. (Dir.), *Las galerías drenantes del Sureste de la Península Ibérica*. Colección Gestión tradicional del agua, patrimonio cultural y sostenibilidad, nº1. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid
- Pérez Cueva, A.J. & Calvo Cases, A. (1986). La distribución de las ramblas en el País Valenciano: una aproximación cuantitativa. *Cuadernos de Geografía*, (38), 61-74.
- Prinz, D. (1999). Water harvesting techniques in the Mediterranean region (151-163) En Berndtsson, R. (Ed.), *Proceedings of the International Seminar Rainwater Harvesting and Management in Arid and Semiarid Areas*. Lund University Press, Sweden.
- Pujante Belvis, R. (1983). Aguaceros en la ciudad de Alicante (1940-1979) (99-120). En Universidad de Alicante & Instituto Interuniversitario de Geografía (Eds.) *Lluvias torrenciales e inundaciones en Alicante*. Instituto Interuniversitario de Geografía.
- Reij, C., Mulder, P. & Begeman, L. (1988). *Water harvesting for plant production*. World Bank Technical.
- Segura Beltrán, F. (1990). Las ramblas valencianas. Tesis doctoral. Universitat de Valencia.
- Viers, G. (1968). *Éléments de climatologie*. Nathan, Paris.
- Yazdi, A.A.S. & Khaneiki, M.L. (2010). *Veins of desert. A review on the technique of qanat/falaj/karez*. Ed. ICQHS (International Center on Qanats & Historic Hydraulic Structures), Yazd, Irán.
- Zahar, Y. & Laborde, J.P. (2007). Modélisation statistique et synthèse cartographique des précipitations journalières extrêmes de Tunisie. *Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science*, 20(4), 409-424. <http://dx.doi.org/10.7202/016914ar>