

Cita bibliográfica: Fansa Saleh, G., & Pérez Cueva, A. J. (2022). El sistema de meskat en la cuenca del río Hammam (Sousse, Túnez): un ejemplo de gestión del agua como recurso y riesgo. *Investigaciones Geográficas*. Advance online publication. <https://doi.org/10.14198/INGEO.22833>

El sistema de meskat en la cuenca del río Hammam (Sousse, Túnez): un ejemplo de gestión del agua como recurso y riesgo

The Meskat system in Hammam river watershed (Sousse, Tunisia): an example of water management as a resource and risk

Ghaleb Fansa Saleh^{1*} 
Alejandro J. Pérez Cueva² 

Resumen

El *meskat* es un sistema de cosecha de agua (*water harvesting*) muy extendido en la región del Sahel de Túnez. Como otros sistemas de zonas semiáridas, busca incrementar la cantidad de agua disponible para los cultivos, mediante sectores de producción de escorrentía (*impluvium*) y sectores de distribución del agua para riego esporádico (*mankaa*). Pero, a menudo, en un ambiente mediterráneo las precipitaciones presentan un carácter torrencial: son a la vez un recurso hídrico y un riesgo de erosión. Por ello, estos sistemas tienen que adaptarse a las condiciones climáticas, topográficas y litológicas locales. En el caso del *meskat* son diseños “a medida”, con un frágil equilibrio entre el máximo aprovechamiento del recurso hídrico y el mínimo riesgo de erosión.

Este trabajo se aborda mediante técnicas de análisis espacial con SIG, una contextualización ambiental, sobre todo geomórfica, y una cuantificación de sus características topográficas básicas (altitudes, desniveles y pendientes). Para ello se ha realizado una cartografía detallada de sistemas, y una cuantificación topográfica y de usos del suelo a partir de un muestreo aleatorio de puntos. Con ello, se ha cuantificado el grado de presencia y la ratio producción/riego. Se pretende reconocer la existencia de tipologías de diseños y sus características más relevantes.

Se trata de sistemas con soluciones adaptadas al medio, con una amplia variabilidad, pero con tipologías reconocibles, básicamente sistemas ubicados en vaguada y en glacis. A la vez, es un tipo de sistema con una rápida y reciente transformación, tanto de los propios usos del suelo como de los mismos cultivos.

Palabras clave: *Meskat*; recolección de agua; gestión de agua; Túnez; Sousse; cuenca de Hammam.

Abstract

Meskat is a widespread *water harvesting* system in the Sahel region of Tunisia. Like other systems in semi-arid zones, it attempts to increase the amount of water available for crops, through runoff production sectors (*impluvium*) and water distribution sectors for sporadic irrigation (*mankaa*). However, often, in a Mediterranean environment, rainfall can be torrential: it is both a water resource and a risk of erosion. Therefore, these systems have to be adapted to local climatic, topographic and lithological conditions. In the case of *meskat*, they are “made to measure” designs, with a fragile balance between the maximum use of the water resource and the minimum risk of erosion.

This study is based on spatial analysis techniques with GIS, an environmental contextualization, especially geomorphic, and a quantification of its basic topographic characteristics (altitudes, altitude difference and slopes). To do this, a detailed mapping of systems has been carried out, together with a

1 Universitat de València, España. Ghaleb.Fansa@uv.es. * Autor para correspondencia

2 Universitat de València, España. Alejandro.Perez@uv.es

topographic and land use quantification from a random sampling of points. In this way, the degree of presence and the production/irrigation ratio have been quantified. It seeks to recognize the existence of different types of designs and their most relevant characteristics.

The initial hypothesis is confirmed that these are systems with solutions adapted to the environment, with wide variability, but with recognizable typologies, basically systems located in thalweg and glacis. At the same time, it is a type of system with a rapid and recent transformation, both of the land uses and the crops themselves.

Keywords: *Meskat*; water harvesting; water management; Tunisia; Sousse; Hammam watershed.

1. Introducción

El *meskat* es una técnica de cosecha de aguas propia de los sistemas agrícolas de secano, en el que se diseñan sistemas para la captación de agua en laderas y su distribución posterior en los campos de cultivo (Fourati et al., 2016a). Dentro del espacio cultivado se produce un mayor o menor aprovechamiento hídrico, en función de las características climáticas y geomórficas del territorio. Pero suele ser habitual que exista una componente de riesgo que puede llegar a ser importante y que coexiste con el aprovechamiento del agua como recurso. Este riesgo depende, sobre todo, del carácter torrencial de las lluvias (Chouari, 2020). La adaptación al riesgo hídrico determina soluciones específicas, que deben integrarse en el diseño de estos sistemas de cosecha de agua.

Tanto el grado de riesgo que tienen que solucionar los sistemas o el grado de recurso que quieren aprovechar, así como el tipo de soluciones empleadas y su nivel de aplicación, dependen de dos variables climáticas, la pluviosidad general y la torrencialidad de las lluvias, algo muy variable en el ámbito Mediterráneo. La hipótesis inicial es que se trata más de casos de “diseño a medida” que de “tipos de sistemas”: la casuística puede llegar a ser muy grande. Con todo, es posible detectar elementos de comparación que permitan proponer unas tipologías de sistemas de *meskat*.

En este trabajo el sector estudiado es toda la cuenca del Oued el Hammam, que tiene unos 220 km² y representa un 20% de todo el *meskat* de la gobernación de Sousse, (a partir de los datos del *Centre National des Etudes Agricoles* (2008), según Ben Salem et al. (2013).

1.1. Objetivos

El trabajo pretende contrastar, mediante una metodología distinta a las empleadas hasta el momento, las características cuantitativas del *meskat* aportadas por la bibliografía, referentes al grado o porcentaje de presencia, a su grado de transformación reciente, y a la ratio entre sectores de cosecha de agua para producir escorrentía y de sectores de aprovechamiento de esta escorrentía.

Entre los objetivos concretos de la metodología aplicada, basada en un muestreo aleatorio de puntos y una cartografía detallada de sistemas, está la definición de usos del suelo de la cuenca hidrográfica estudiada, y el reconocimiento y cuantificación de las características topográficas básicas del *meskat* (alturas, desniveles y pendientes).

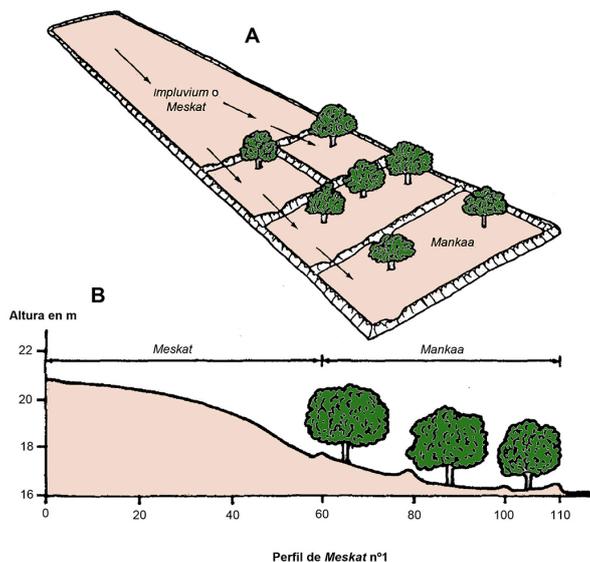
Con ello se pretende definir tipologías y subtipologías de sistemas de *meskat* en el conjunto de la cuenca y formular hipótesis sobre sus características y diferencias.

1.2. Características del *meskat*

El *meskat* es un sistema tradicional de gestión del agua de lluvia en sectores semiáridos de Túnez (El Amami, 1983; Reij, 1991; Ennabli, 1993; Fleskens et al., 2005) para el cultivo de olivos en secano. Se extiende en un sector litoral del centro del país, cercano a Sousse, Monastir y Mahdia, en la región denominada *Sahel* (Fourati et al., 2016a). El sistema persigue incrementar la cantidad de agua que reciben las parcelas cultivadas mediante la separación entre una zona superior de producción de agua, no cultivada, y otra inferior donde se aprovecha el agua. La primera genera agua de arroyada bajo condiciones de lluvias de cierta intensidad. Esta arroyada es dirigida hacia la zona del olivar, y repartida en cascada. Es un espacio llamado *mankaa*, dividido mediante taludes de tierra sobrelevada (Figura 1).

El área de captación es inseparable de la plantación (Figura 2): *meskat* y *mankaa* pertenecen al mismo título de propiedad (Despois, 1955).

Figura 1. Planta (A) y perfil (B) de los principales elementos del sistema *meskat*: el *meskat* en sentido estricto o *hamada* (sector de captación) y el *mankaa* (sector de riego)



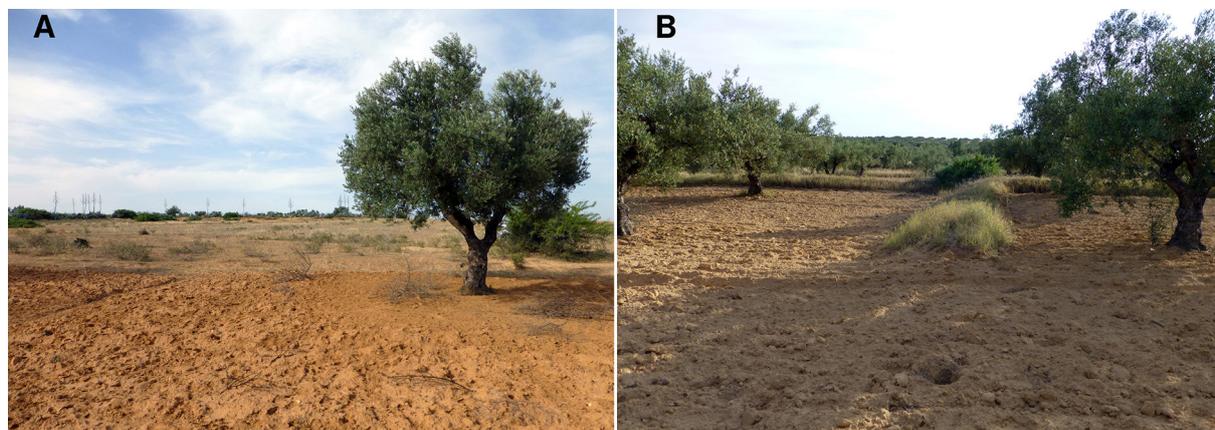
Fuente: Reij et al. (1988). Elaboración propia

En múltiples casos, la zona de captación dispone de acequias diagonales a la pendiente. Estas acequias facilitan la producción y evacuación de la escorrentía, y están orientadas de manera que permitan que el agua no acabe perdiéndose en otro campo vecino y que sea aprovechada en los *mankaa* correspondientes. Las acequias, normalmente simples zanjas de escasa profundidad, están labradas directamente en la tierra sin ningún tipo de protección o revestimiento. No suelen necesitar excesiva labor de mantenimiento para cumplir su cometido.

Por su parte, la zona de aprovechamiento del agua, el *mankaa*, siempre se divide, mediante taludes de tierra sobrelevada, o *tauabi* (plural de *tabia*), en compartimentos rectangulares, denominados localmente *sanadik* (en singular *sanduk*), que se traduce como “cajas”. Dichas superficies están conectadas entre sí a través de aliviaderos llamados *manafes* (plural de *manfas*) (Figura 3).

Aunque su localización se reduce a pequeños sectores de Túnez, Argelia, Libia y Marruecos, se trata de una técnica específica que aparece en todas las clasificaciones y tipologías de técnicas de cosecha de agua (*water harvesting*) (Despois, 1955; El Amami, 1977; El Amami y Chaabouni, 1981; Prinz, 1999; Berndtsson, 1999; Oweis et al., 2001; Prinz y Malik, 2002; Oweis y Hachum, 2003 y 2009; Oweis et al., 2004; Rutherford, 2000; Omrani y Ouessar, 2008; Ouessar et al., 2012; Jebari et al., 2015; Berndtsson et al., 2016; Yazar y Ali, 2016; Ben Salem et al., 2020).

Figura 2. Un sistema de *meskat* en Oued el Hammam. A) el contacto entre la zona de captación “*meskat*” y la de recepción “*mankaa*”, B) la zona de *mankaa* donde se observan los primeros compartimentos



Fotografías de los autores

Figura 3. Aliviadero (*manfas*) en un sistema de *meskat* en Oued el Hammam

Fotografía de los autores

En la actualidad, también se considera que el *meskat* es un sistema de control de la erosión, y que su reciente deterioro es un factor de incremento de estos procesos (Ben Salem et al., 2013; Fourati et al., 2016b).

1.3. Contexto histórico y ambiental

El *meskat* se considera una técnica antigua en Túnez, que tuvo una gran extensión desde la época romana (Ben Salem et al., 2013). Hasta 1984, esta técnica cubría 300.000 ha (Tobbi, 1994). Según Abdo y Eldaw (2004) el sistema es uno de los métodos más antiguos empleados en cosecha de agua, y ha sido principalmente utilizado en el Magreb, especialmente en Túnez, Marruecos y el noroeste de Libia.

En Túnez es una técnica utilizada exclusivamente en los sectores semiáridos del “*Sahel tunecino*”, sector de tránsito entre las montañas del norte, con clima mediterráneo, y el sur desértico. El *Sahel* de Túnez es un área de contacto entre la región del Tell en el norte, con un fuerte carácter mediterráneo, y la región sahariana en el sur (Sahtout et al., 2015). Dentro de esta franja esteparia, el *meskat* ocupa sobre todo el sector norte, el menos seco. Este sector pertenece al clima de transición al clima mediterráneo, con tendencia semiárida (Henia & Omrane, 2008). La topografía es suave, formada principalmente por colinas bajas y mesetas y llanuras costeras (Mehdouani, 2003).

1.4. Distribución espacial y evolución reciente

En la región de Sousse, el sistema *meskat* es preponderante como técnica de cultivo, ya que en la actualidad ocupa unas 44.000 ha, es decir, el 40,5% del área (108.500 ha) (*Centre National des Etudes Agricoles*, 2008).

En la gobernación de Sousse, la principal extensión del *meskat* se localiza en las delegaciones de M'Saken (60,6%) y Kalaa Kebira (30,3%). La primera de ellas está situada entre las cuencas del Oued Hamdoun y el Oued El Hammam. La delegación de Kalaa Kebira se sitúa en la cuenca de El Hammam y al norte de ella. Una característica común de estas delegaciones es que son extensas y están situadas en las partes bajas y medias de las cuencas, que son justamente las que presentan mayor densidad de olivar de *meskat*. En cambio, las delegaciones del norte (Bou Fichta, Enfidha, Hergla, etc.) y del interior (Kondar, Sidi El Hani, etc.) no registran presencia de *meskat*, ni tampoco las delegaciones periurbanas de Sousse (Hammam Sousse, Sousse Riadh, etc.), en las que prácticamente ha desaparecido. En una posición intermedia están las delegaciones de pequeña extensión, como Akouda (2,7%) o Kalaa Sghira (2,6%).

El paisaje del *meskat* es el resultado de un trabajo antiguo de los campesinos, con procesos actuales de degradación. El olivar ocupó las partes más bajas de las colinas para aprovechar la escorrentía, y en el presente la población urbana está ocupando las colinas en búsqueda de un paisaje natural. Sin embargo, el sistema *meskat* sigue siendo el componente esencial de la organización territorial, de la producción de aceite de oliva y de los paisajes suburbanos y rurales en el *Sahel tunecino*.

En la zona de estudio, el espacio urbano muestra una expansión entre 1994 y 2015, en detrimento de las zonas agrícolas, lo que ha afectado al *meskat*. Este crecimiento de la población fue acompañado por una densificación de carreteras y caminos agrícolas (Fourati et al., 2016b).

Los nuevos caminos interrumpen el funcionamiento del sistema *meskat*, e incluso llegan a provocar su desaparición. Cambia el equilibrio entre captación y uso de la escorrentía, aumentan las superficies impermeables y se incrementa el riesgo de inundación (Majdoub et al., 2015).

Uno de los mayores cambios que ha afectado al sistema *meskat* en la cuenca de Oued Laya-El Hammam es la implantación de olivos y árboles frutales en detrimento de la zona de captación. Esta práctica se ha acelerado desde la década de 1960 (Houimli, 2008), lo que ha aumentado la inestabilidad del medio y ha reducido la eficiencia del sistema. Alrededor del 40% de las zonas de captación se han reconvertido en nuevas plantaciones (Fourati et al., 2016b).

Ben Salem et al. (2020), en la cuenca contigua del Oued Hamdoun, señala estos mismos procesos de degradación (expansión de áreas urbanas, densificación de la red viaria y nuevas plantaciones en las zonas de captación) como las principales causas de deterioro del sistema tradicional *meskat*.

2. Metodología

Para cuantificar el grado de presencia y las características del *meskat* en la zona de estudio se ha seguido una metodología fundamentalmente cuantitativa y cartográfica con técnicas de análisis espacial de SIG. La metodología ha seguido estos pasos:

2.1. Análisis del grado de presencia, distribución espacial y características topográficas

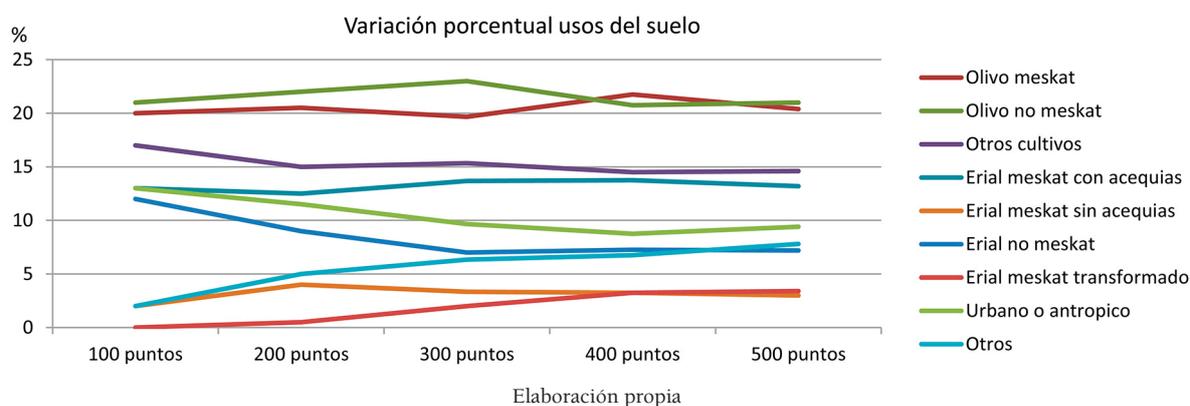
Uno de los objetivos de este análisis es cuantificar la extensión del *meskat* en la cuenca, diferenciando entre las dos partes del sistema, los sectores cultivados (olivar) y los que proporcionan agua a los cultivos, así como su grado de presencia frente a otros usos del suelo. Para ello, se ha realizado un muestreo aleatorio de puntos en toda la cuenca del Oued el Hammam, a efectos de determinar los usos del suelo en la cuenca con técnicas de fotointerpretación. Cada uno de los puntos analizados se ha ubicado sobre imágenes de Google Earth. En función del grado de dificultad a la hora de definir el uso del suelo, se ha utilizado una o varias imágenes de la serie histórica. En el caso de algunos usos, como el de “erial *meskat* transformado”, ha sido esencial recurrir a dicha serie histórica.

Los tipos de usos del suelo identificados han sido: 1) Erial de *meskat* con acequias (EMA). 2) Erial de *meskat* sin acequias (EMS). 3) Erial de *meskat* transformado (EMT). 4) Erial no *meskat* (ENM). 5) Olivo *meskat* (OM). 6) Olivo no *meskat* (ONM). 7) Otros cultivos (OC). 8) Urbano (U) y 9) Otros usos (O) (Tabla 3).

Se ha realizado una verificación parcial mediante trabajo de campo de una selección aleatoria de puntos, a efectos de comprobar si la fotointerpretación se había realizado correctamente.

Para decidir la cantidad definitiva de puntos de muestreo se ha ido incrementando la cantidad de muestreo de 100 en 100 puntos. Se ha seguido la evolución de los porcentajes hasta que estos han tendido a estabilizarse (en torno a los 500 puntos) (Figura 4). Los datos utilizados en la investigación son los resultantes de la fotointerpretación, corregidos en su caso por el trabajo de campo.

Figura 4. Variación de los porcentajes de uso de suelo en la cuenca del Oued El Hammam conforme se incrementan los puntos de muestreo



Para analizar la distribución espacial del *meskat* se ha realizado una cartografía de sus puntos (OM+E-MA+EMS+EMT) y se ha elaborado un mapa de calor (Figura 11). A estos puntos caracterizados como *meskat* (40% de los 500 de muestreo, es decir, 200 puntos) se les ha asignado valores de altitud y pendiente.

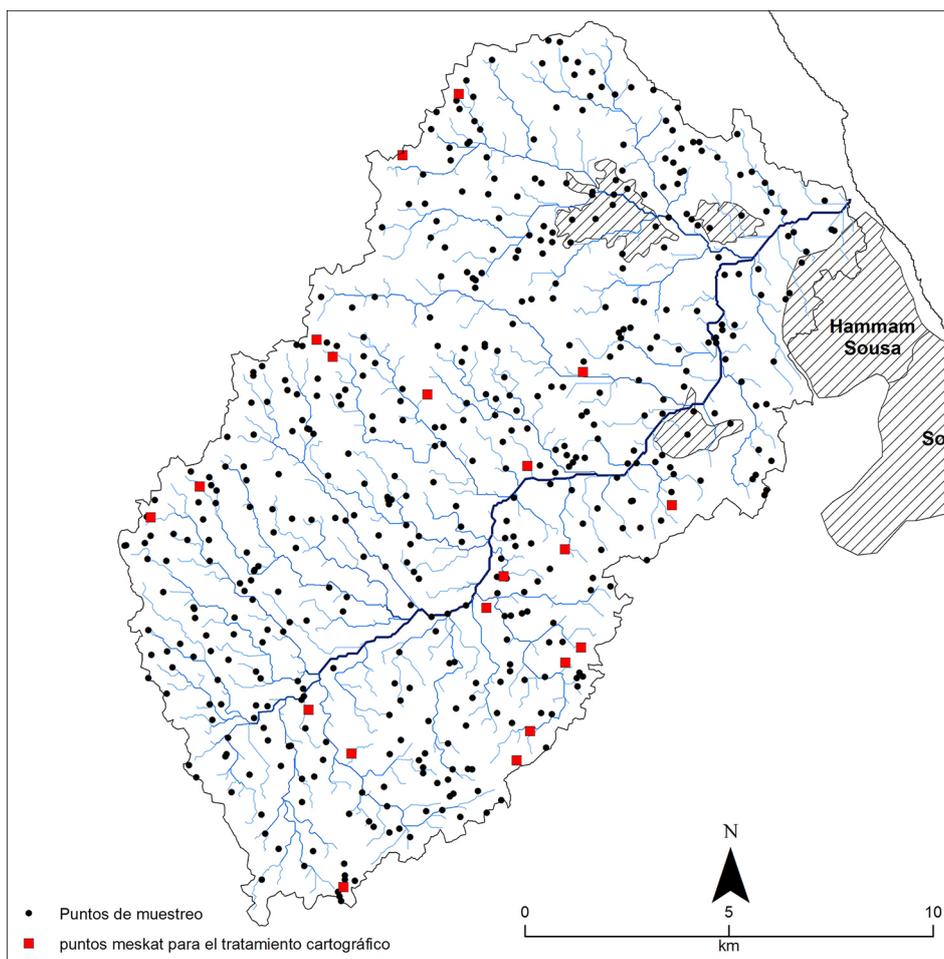
2.2. Estudio de casos y caracterización tipológica

Los objetivos de esta fase son a) realizar una caracterización geomórfica (tipologías geomórficas) y topográfica (alturas y pendientes) de los sistemas de *meskat*, b) contrastar la ratio *impluvium/mankaa* con otra metodología diferente a las utilizadas habitualmente y c) analizar las diferencias existentes en dicha ratio según tipologías geomórficas.

A efectos de realizar un tratamiento cartográfico detallado, se ha escogido aleatoriamente mediante SIG el 10% del total de los “puntos *meskat*” (20 puntos), tanto de la zona de recolección de agua como de la zona cultivada. Estos 20 puntos escogidos se emplazan en 16 sistemas *meskat*, que han sido cartografiados y caracterizados geomórficamente (Figura 5). Para esta caracterización se ha utilizado los conceptos: glacis, glacis con vaguadas, vaguada, vaguada con cauce y casos mixtos.

Para cada caso se han cuantificado las superficies (total, *impluvium*, *mankaa* y demás usos), las alturas medias (del *mankaa* y del *impluvium*), los desniveles máximos (a partir de la altura máxima del *impluvium* y la mínima del *mankaa*), los desniveles medios (a partir de las alturas medias del *impluvium* y *mankaa*) y las pendientes medias (del *mankaa* y del *impluvium*). Se ha calculado también el porcentaje dedicado al sistema *meskat* respecto al total (descartando la superficie de “otros usos”), la ratio *impluvium/mankaa*, y el porcentaje del *impluvium* transformado respecto al *impluvium* total (Tabla 4).

Figura 5. Ubicación espacial de los 20 puntos seleccionados para tratamiento cartográfico de sectores con sistemas de *meskat* en la cuenca del Oued El Hammam



Elaboración propia

2.3. Área de estudio

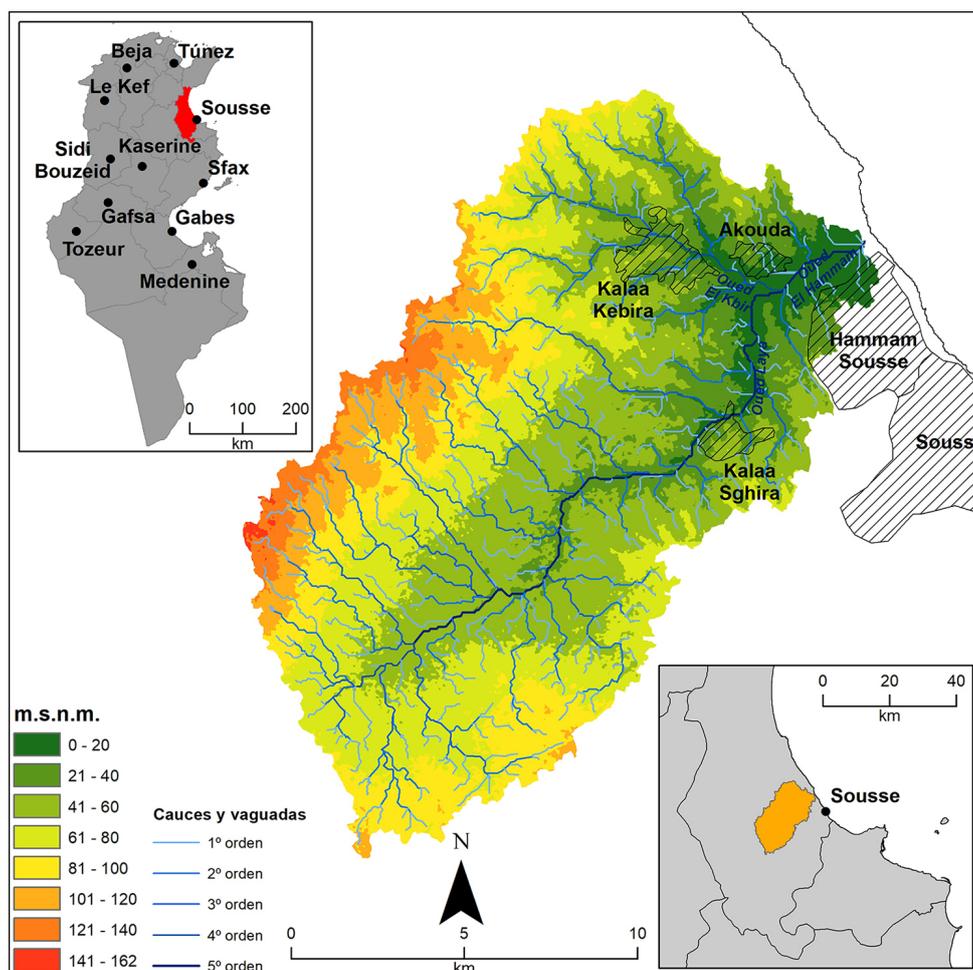
El área de estudio comprende, total y exclusivamente, la cuenca del Oued El Hammam, de 219'9 km², situado al oeste de la ciudad de Sousse. Se emplaza en 9 de las 17 delegaciones que conforman la gobernación de Sousse, principalmente en Kalaa Sghira, Kalaa Kebira y M'Saken (Tabla 1). Este cauce está formado por dos grandes tributarios: el Oued Laya y Oued el Kibir, que confluyen al sur de la población de Akouda (Figura 6).

Tabla 1. Porcentaje y km² de presencia en la cuenca del Oued El Hammam de diferentes delegaciones de la Gobernación de Sousse

Delegación	Área (km ²)	%
Akouda	6,0	2,7
Hammam Sousse	10,6	4,8
Kalaa Kebira	48,5	22,1
Kalaa Sghira	69,5	31,6
M'saken	42,7	19,4
Sidi El Heni	27,9	12,7
Sousse Médina	1,3	0,6
Sousse Riadh	8,8	4,0
Sousse Sidi Abdelhamid	4,4	2,0
Gobernación de Sousse	219,9	100

Elaboración propia

Figura 6. Localización de la cuenca de Oued el Hammam



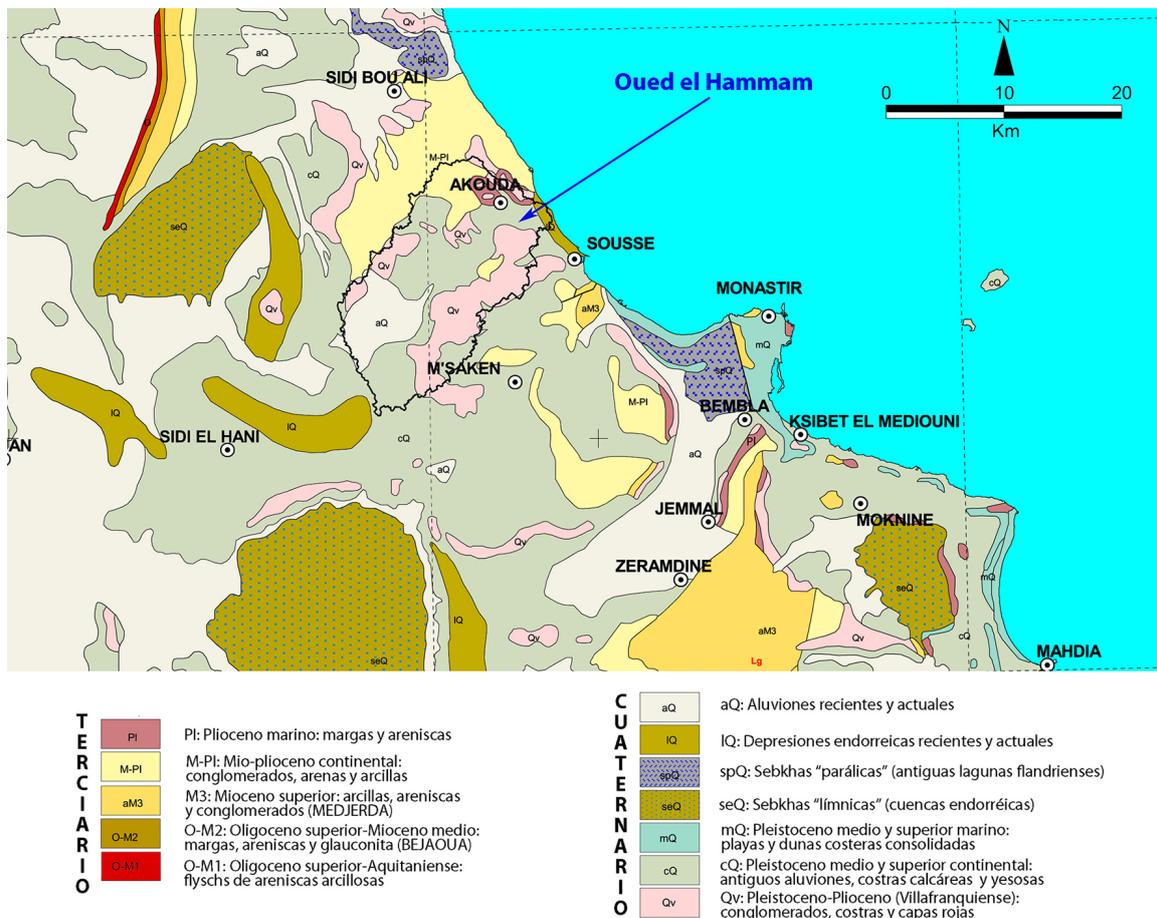
Elaboración propia

2.3.1. Geología y relieve

El marco geológico de la región de Sousse se encuadra en la evolución alpina del país, aunque con algunas particularidades. El principal elemento diferencial es el basamento de la plataforma pelágica que se extiende ente los golfos de Hammamet y Gabes, que determina una forma convexa entre dos costas ovaladas (Hezzi, 2014). Sus materiales forman un zócalo diferente al de otros sectores estructurales del país, pero forman parte también de las primeras fases de sedimentación del orógeno del Mar de Tethys. Este basamento responde de modo diferente a las últimas tensiones tectónicas distensivas pliocenas que hundien la costa mediterránea, configuran su perfil ovalado y propician la formación de un relieve de llanuras y colinas de materiales recientes. Al hundirse en menor medida, logra conservar afloramientos de los materiales más antiguos, que, aun así, se retrotraen solo al Mioceno. La secuencia cronológica y paleoambiental de los principales afloramientos (Figura 7) está formada por:

- Margas, areniscas, areniscas arcillosas, en facies marina (O-M1, O-M2).
- Arcillas, areniscas y conglomerados del Mioceno superior (aM3) y mioplioceno (M-PI), en facies continental.
- Margas y areniscas pliocenas en facies marina (PI). Su relativa dureza da lugar a colinas que destacan hasta unos 50 m por encima de las vaguadas de alrededor.
- Materiales del plio-pleistoceno (Villafranchiense, Qv), constituidos por conglomerados, costras calcáreas y estratos rojos arcillosos. La dureza de las costras calcáreas contribuye a que estos materiales constituyan los elementos más elevados.
- Materiales del Pleistoceno medio y superior (cQ, en facies continental, y mQ, en facies marina).
- Materiales recientes de las *sebkhas* límnicas actuales (seQ) y depósitos fluviales (aQ), que ocupan el fondo de los valles y partes bajas de los glaci.

Figura 7. Esquema geológico de la región de Sousse y alrededores

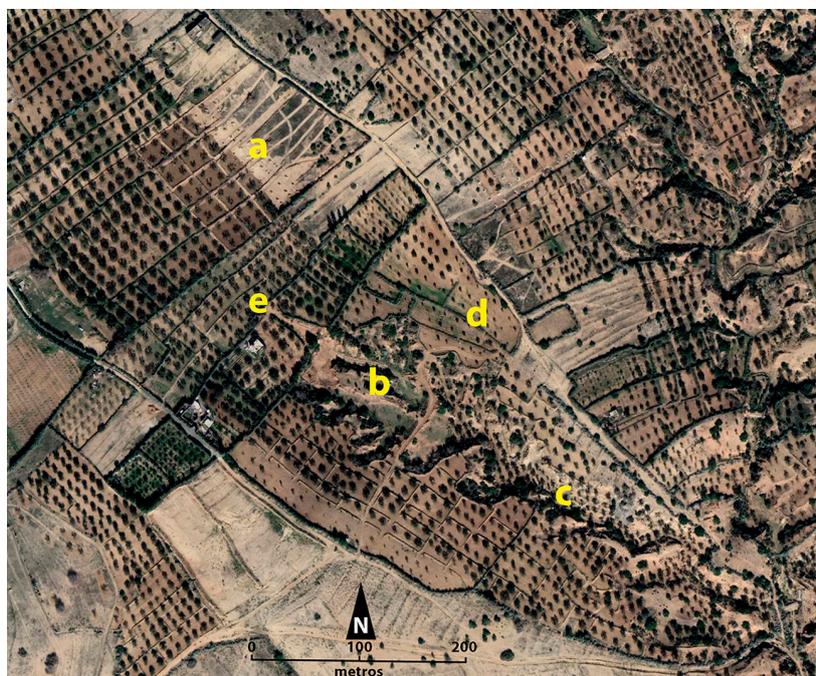


Fuente: Mapa geológico de Túnez 1:500.000, Ben Haji et al. (1985). Elaboración propia

La red fluvial actual sufre un proceso de encajamiento, que da lugar a cárcavas en los fondos de valle y en las vaguadas de los glaciares, es decir, en los sectores topográficos que concentran la escorrentía. Las cárcavas afectan sobre todo a los materiales cuaternarios más recientes, no tanto a los plioleístocenos (Qv). Esto es debido en buena medida a que los materiales recientes presentan menor dureza y ausencia de encostramientos que protejan de la erosión. Pero también obedece a que los materiales más antiguos afloran en los sectores más elevados y en las divisorias de agua, es decir, justamente donde se genera la arroyada. Los materiales cuaternarios más recientes afloran en las partes más bajas, aquellas en las que se concentra la arroyada.

El *meskat* ha coexistido siempre en equilibrio frágil con este tipo de erosión. En la actualidad este equilibrio es todavía más frágil, debido al parcial abandono de sus técnicas y defensas, por lo que puede apreciarse un progreso de las cabeceras de las cárcavas en un ejemplo claro de erosión acelerada remontante (Figura 8).

Figura 8. Progreso por erosión remontante de la cabecera de una cárcava en un valle de fondo plano ocupado por *meskat*., en la cuenca del Oued el Ghars. Se observa: a) sistema *meskat* de eriales con acequias, b) cárcava de erosión remontante, c) olivos de *meskat* en un sector degradado por erosión, d) erial transformado al no ser ya útil, e) estructuras parcelarias de *meskat* cortadas por la cárcava



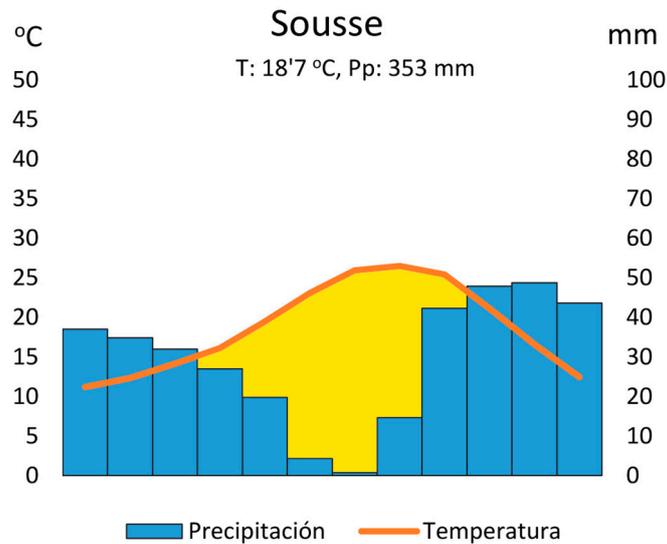
Elaboración propia

2.3.2. Climatología

El sector de Sousse ocupa la parte menos seca de la franja esteparia tunecina. Es una zona de transición al clima mediterráneo, con lluvias totales anuales entre 300 y 400 mm (El Melki, 2008) y temperaturas medias anuales cercanas a 19°C (El Melki & Charabi, 2008). El diagrama ombrotérmico de Sousse (Figura 9) muestra un tipo de clima semiárido con tendencia mediterránea (seis meses áridos, de abril a septiembre) y con influencia marítima. Las temperaturas medias mensuales de verano, por ejemplo, apenas superan los 25°C (julio, 25,9°C; agosto, 26,4°C) y agosto es el mes más caluroso. Las lluvias otoñales e invernales son las más abundantes, acumulando el 70% de la lluvia anual total (El Amri et al., 2016).

Este rasgo de lluvias otoñales más abundantes que las de primavera es característico de las costas N del Mediterráneo occidental, pero también se produce en la costa oriental de Túnez. El impacto pluviométrico de los grandes temporales ocasionados por DANAs es capaz de generar regímenes pluviométricos estacionales con predominio de precipitaciones otoñales. La intensidad y el volumen de la precipitación de estos grandes temporales supone un factor de riesgo de erosión en los frágiles sistemas de *meskat* (Chouari, 2020), a la vez que un recurso imprescindible.

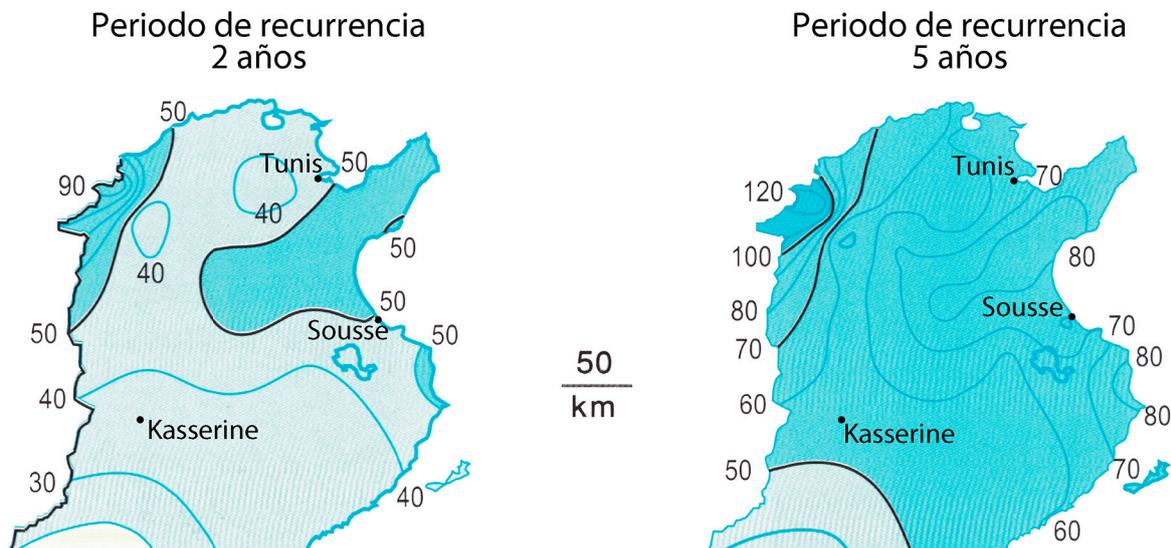
Figura 9. Diagrama de Gaussen para la estación meteorológica forestal de Sousse



Fuente: Sahtout et al. (2015). Elaboración propia

En la Figura 10 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 mm (Ben Sakka & Bougrara, 2008). Los registros máximos tunecinos de precipitaciones diarias más copiosas se dan en Sousse (con más de 350 mm) (Hlaoui, 2008).

Figura 10. Precipitaciones máximas diarias para periodos de recurrencia de 2 y 5 años en la mitad septentrional de Túnez



Fuente: Ben Sakka y Bougrara (2008). Elaboración propia

3. Resultados

Se referirán principalmente a la distribución, grado de presencia, tipologías, características topográficas y transformaciones recientes del *meskat* de la cuenca del Oued El Hammam.

3.1. Usos del suelo

El muestreo aleatorio de 500 puntos ofrece una descripción aproximada de los principales usos del suelo existentes en la zona de estudio (Tabla 2).

Tabla 2. Presencia del *meskat* y otros usos del suelo, así como principales asociaciones de usos en la cuenca del Oued El Hammam, a partir de un muestreo aleatorio de 500 puntos

Tipo de uso		Puntos	Porcentaje
Olivo <i>meskat</i>	OM	102	20,4
Erial <i>meskat</i> con acequias	EMA	66	13,2
Erial <i>meskat</i> sin acequias	EMS	15	3,0
Erial <i>meskat</i> transformado	EMT	17	3,4
Meskat	OM+EMA+EMS+EMT	200	40,0
Olivo no <i>meskat</i>	ONM	105	21,0
Otros cultivos	OC	73	14,6
Cultivo no <i>meskat</i>	OC+ONM	178	35,6
Erial no <i>meskat</i>	ENM	36	7,2
Urbano	U	47	9,4
Otros	O	39	7,8
No cultivado	ENM+U+O	122	24,4%
Total		500	100%

Elaboración propia

Se observa una gran presencia del olivar como uso agrícola predominante, pues más del 40% de la superficie de la cuenca pertenece a dicho cultivo. Si se suman las zonas de captación vinculadas al olivo de *meskat*, el porcentaje asciende a más del 60% de la superficie total. En definitiva, se trata de un paisaje agrícola con más del 75% de la superficie la cuenca dedicada al cultivo.

3.2. Distribución espacial y grado de presencia del *meskat*

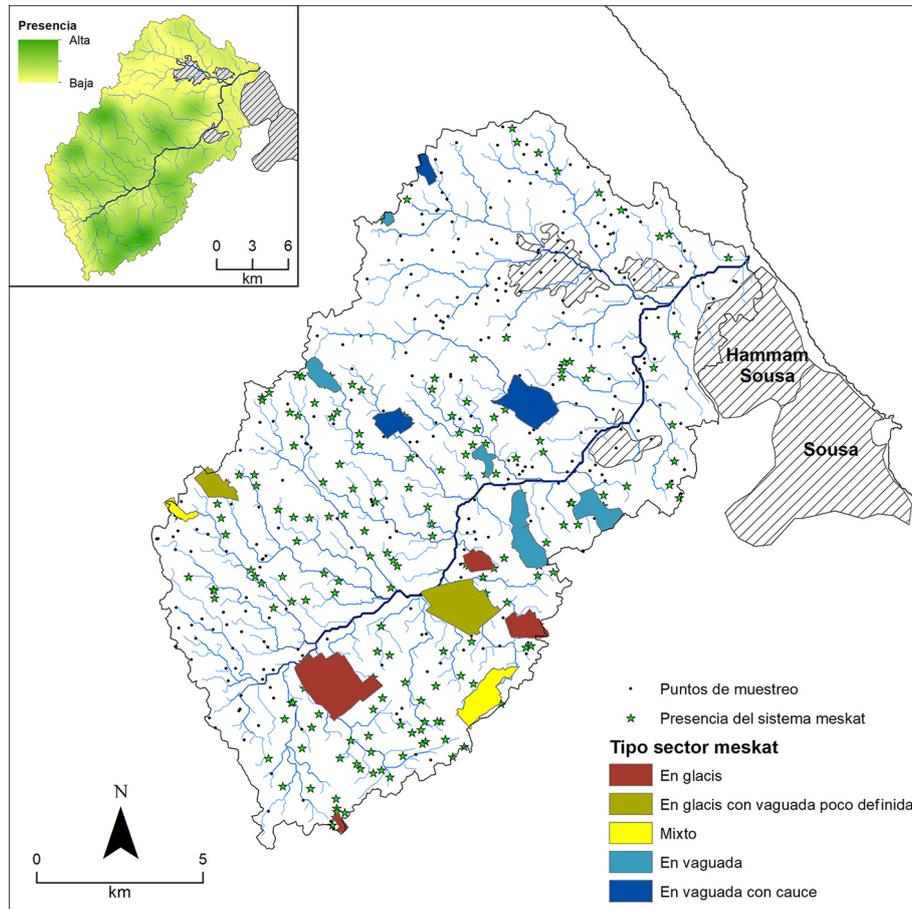
A partir de los resultados de la fotointerpretación se ha cartografiado una agrupación de los usos perteneciente al sistema *meskat* (OM, EMA, EMS y EMT) con el fin de evaluar su presencia en la cuenca de Oued el Hammam (Tabla 2).

El sistema *meskat* se concentra en las partes media y alta de la cuenca. En la parte baja (tercio nororiental) es donde hay menos concentración, debido principalmente a la gran expansión urbanística de los núcleos de Akouda, Kalaa Kebira y Kalaa Sghira, dada su cercanía del área metropolitana de Sousse. Además, como se destaca en el subapartado de tipologías de sistemas, en la parte nororiental de la cuenca los sistemas de *meskat* se estructuran en vaguadas y tienen más sectores de “erial no *meskat*”, mientras que en la mitad sudoccidental se extienden sobre el glacis y tienen menos limitaciones geomórficas (Figura 11). La densidad baja de forma notable en la cabecera de la cuenca, correspondiente a la delegación de Sidi el Hani, lo que concuerda con los datos ofrecidos por el Centro Nacional de Estudios Agrícolas en 2008, ya que la actividad agrícola de dicha delegación se centra en la agricultura cerealística. En términos generales, el 40% de la superficie de la cuenca pertenece al sistema *meskat*, cifra muy similar a la presentado por Ben Salem et al. (2013), que estiman en el 40,5% la superficie dedicada al *meskat* en toda la región de Sousse.

En cuanto a la ratio entre la superficie dedicada a la captación de agua y la plantada con olivos (*impluvium*/cultivo), El Amami (1983) dice que su valor histórico, cuando se implanta el sistema en tiempos romanos, es de (2:1) (dos tercios de *impluvium* por 1 de cultivo). Reij et al. (1988) señalan que a principios del S.XX la ratio ya está por debajo del umbral de eficiencia (1'5:1). Estos autores también indican que, debido al aumento de demanda de tierra, en los años 80's esta relación es aún más baja (0,7:1), debido a ampliación gradual de las zonas cultivadas a expensas de las zonas de captación.

En los datos obtenidos a través de la fotointerpretación de puntos de muestreo la ratio está muy cercana del uno, es decir, las dos partes básicas del sistema ocupan la misma extensión (Tabla 3). Sin embargo, los resultados obtenidos de la cartografía detallada (Tabla 4) demuestran que esta ratio varía ampliamente en función del sector cartografiado (entre 0,35:1 hasta 2,22:1), aunque el promedio se sitúa en (1,20:1).

Figura 11. Presencia del *meskat* en la cuenca de Oued el Hammam (mapa de calor), y tipologías según ambiente geomórfico de los 16 sectores de *meskat* estudiados



Elaboración propia

Tabla 3. Aproximación a la ratio entre la zona de captación y la de cultivo en el sistema *meskat* de Oued el Hammam

Tipo de uso	Asociaciones de usos	Puntos	Porcentaje
Olivo <i>meskat</i>	OM	102	51%
Erial <i>meskat</i>	EMA+EMS+EMT	98	49%
Sistema <i>meskat</i>	OM+EMA+EMS+EMT	200	100%

Elaboración propia

3.3. Tipologías geomórficas (estudio de casos)

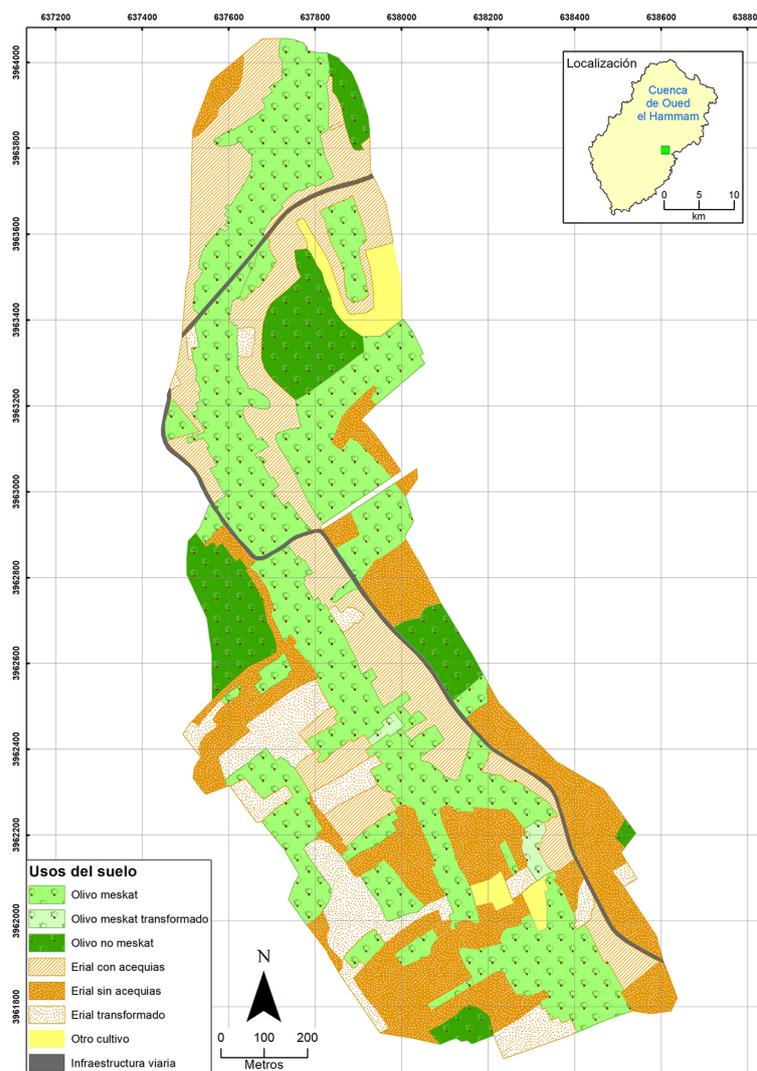
Se ha realizado una aproximación tipológica a los de sistemas de *meskat*, a partir de la cartografía detallada de una muestra de ellos.

De los diferentes criterios que podrían emplearse, se han elegido como base fundamental el geomórfico, pues permite explicar de modo sencillo y lógico las características morfológicas de los sistemas, así como su estructura espacial interna. La propuesta tipológica que se presenta tiene dos grandes grupos, los sistemas desarrollados en glacis y los que se ubican en vaguadas claramente delimitadas. Los tipos y subtipos definidos son los siguientes:

- a) *Meskat* en vaguada: Su característica esencial es que presentan una simetría espacial en la distribución de los dos elementos: el erial en los márgenes de la vaguada y el cultivo en el eje central. Su delimitación es sencilla, pues los límites del sistema coinciden con la divisoria de aguas de la vaguada. Frecuentemente se ocupan toda la vaguada, indistintamente de su tamaño (Figura 12, Shabit al-Tlalma y Anexos 1, 2, 3 y 4), pero en ocasiones las vaguadas pueden estar compartimentadas en varios sectores de *meskat* contiguas separadas por otros usos (Anexo 4).

- b) **Meskat en vaguada con cauce:** Se trata de un subtipo del *meskat* en vaguada, con sus mismas características, en el que aparece un cauce en todo o parte de su eje central. Este cauce puede ser previo al diseño de los sistemas (que en tal caso son independientes en cada margen) o estar producido por la erosión acelerada reciente que destruye los campos de olivos del eje de la vaguada (Figura 8 y Anexos 5, 6 y 8).
- c) **Meskat en glacis:** La distribución de los elementos del *meskat* no se estructura en torno a un eje lineal, sino que constituye un mosaico aparentemente desordenado (Figura 13). Por ejemplo, en un mismo plano de pendiente pueden alternarse secuencias de erial/cultivo varias veces. La delimitación de los sistemas es difícil, pues no guarda relación con divisorias fluviales en todos los lados. En este tipo, para delimitar los sectores de estudio se ha recurrido a considerar la contigüidad o separación de los sistemas o a elementos ajenos, como la red viaria (Anexos 7, 9 y 10).
- d) **Meskat en glacis con vaguada:** Es una modalidad del anterior tipo básico, que aparece en sectores de glacis con topografía ondulada. En él empiezan a apreciarse elementos de organización longitudinal, como en el *meskat* en vaguada, pero la diferencia estriba en que no se produce la simetría longitudinal erial/cultivo que hace que los campos de olivos del *meskat* estén siempre en el eje central y nunca en la periferia (Anexos 11 y 12). Además, la dirección de flujo del agua no siempre va perpendicular a la vaguada: pueden aparecer sistemas con flujos del agua casi paralelos a las incipientes vaguadas.

Figura 12. Ejemplo de cartografía detallada de sector de *meskat* en vaguada “Shabit al-Tlalma”



Elaboración propia

Figura 13. Ejemplo de cartografía detallada de sector de *meskat* en glacis “Hanshir Ghánib”



Elaboración propia

- e) **Mixto:** En realidad, no se trata de un tipo, sino de una situación en la que pueden aparecer contiguos los tipos anteriormente descritos, en vaguada y glacis. Se trata de una situación que muestra claramente la transición paulatina que se produce entre los glacis poco ondulados, los glacis ondulados, con vaguadas incipientes, y las vaguadas bien delimitadas (Anexos 13 y 14).

3.4. Características topográficas

Se han obtenido algunos rasgos topográficos del *meskat* a partir de los sectores cartografiados en detalle. Se trata de parámetros aproximados, pues para obtener parámetros más precisos hubiese sido necesaria una cuantificación exhaustiva de numerosos sistemas individuales, a escala de propiedad.

Tabla 4. Resultados de superficies y ratios *impluvium/mankaa* de los sectores seleccionados de *meskat*, en la cuenca del Oued El Hammam, obtenidos a partir del análisis cartográfico

Nombre	Sector	Superficie total (ha)	Superficie Erial (ha)	Superficie Olivo <i>meskat</i> (ha)	Superficie Otros usos (ha)	% Superficie sistema sobre total	% Erial transformado sobre total erial	Ratio <i>impluvium/mankaa</i>
As-sabbaghin-Sur	V	30,0	15,2	12,9	1,9	93,5	23,7	1,18
Cabecera Oued al-Bashir	V	11,4	5,3	6,1	0	100	7,6	0,86
Hanshir As-snab	V	53,4	24,9	23,7	4,9	90,9	2,7	1,05
Shabit al-Tlalma	V	135,2	63,5	53,0	18,6	86,2	16,9	1,20
Shabit Oued al-Battoum	V	93,8	50,2	41,4	2,2	97,7	5,3	1,21
As-sabbaghin-Norte	Vc	160,2	79,7	70,9	9,6	94	18,9	1,12
Cabecera Oued Bou Tram	Vc	31,6	12,9	13,7	5,0	84,2	5,4	0,94
Hanshir As-snab/Oued al-Ghars	Vc	64,0	27,6	24,4	12,0	81,3	12,0	1,13
An-nagr	G	43,9	30,2	13,6	0	100	0	2,22
Hanshir Bashir	G	13,3	5,9	7,4	0	100	0	0,80
Hanshir Ghánib	G	289,8	152,2	133,3	4,3	98,5	7,4	1,14

Sabbalet Dorgham	G	76,3	46,3	28,8	1,3	98,4	13,2	1,61
Hanshir At-tawila-2	Gv	67,5	17,5	50,0	0	100	2,8	0,35
Hanshir Oued Laia	Gv	233,9	111,8	116,4	5,8	97,5	9,8	0,96
An-nawwalat	Mixto	128,9	80,0	46,8	2,2	98,3	2,2	1,71
Hanshir At-tawila-1	Mixto	27,0	13,2	9,9	4	85,3	62,2	1,34
Total		1460	736	652	72		10,3	1,13

Los tipos de sectores de *meskat* son: (V) vaguada, (Vc) vaguada con cauce, (G) glacis, (Gv) glacis con vaguada y Mixto.

Elaboración propia

- 1) El **desnivel medio** entre erial y cultivo en los sectores analizados muestra unos valores muy moderados (no superan los 7,5 m). En general, el desnivel medio en los *meskat* de glacis es algo inferior al del *meskat* en vaguada (Tabla 5). Puede darse el caso de valores inversos en algún sector de glacis.
- 2) El **desnivel máximo** de cada uno de los sectores estudiados, medido como la diferencia entre la altura máxima del erial y la mínima del olivo. Sus valores, también moderados, indican que los conjuntos de sistemas contiguos (y en ocasiones con conectividad hídrica) tienen poco desnivel global, para garantizar unas pendientes mínimas que permitan que el agua fluya, pero no demasiado grandes para que no exista excesivo riesgo de erosión.
- 3) Las **pendientes medias**, por lo tanto, también son bajas, sea las del olivo como las del erial. En general se sitúan entre el 4% y el 8% en el cultivo y entre el 4% y el 7% en el erial (Figura 14). Como se puede observar, los valores de pendiente de la parte cultivada del *meskat* son casi idénticos a los del erial. Esto es debido a varios factores: a) el erial llega en muchas ocasiones a la parte alta de las lomas, de pendientes casi nulas, b) el erial no puede disponerse en zonas de fuertes pendientes, pues implicaría un riesgo de erosión inasumible, c) un incremento peligroso de la pendiente en la parte del cultivo puede paliarse con rebordes más altos de las parcelas y *manfas* más reforzadas y d) no siempre el cultivo se beneficia de las bajas pendientes de la parte baja de las laderas y del fondo de las vaguadas, pues pueden haber cauces que impidan que se establezca allí.

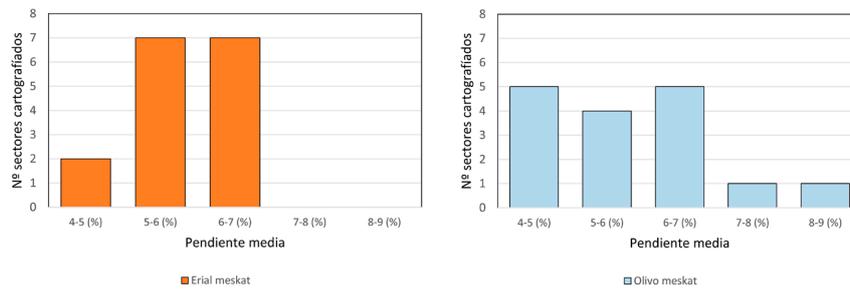
Tabla 5. Características topografías del *meskat* de la cuenca del Oued El Hammam, obtenidas a partir del análisis cartográfico de los sectores seleccionados

Nombre	Sector	Altura media Olivo <i>meskat</i> (m)	Altura media Erial (m)	Desnivel medio sistema (m)	Alitud min. Olivo <i>meskat</i> (m)	Alitud max. Erial (m)	Desnivel max. (m)	Pendiente media Olivo <i>meskat</i> (%)	Pendiente media Erial (%)
As-sabbaghin-Sur	V	38,2	41,7	3,4	31	50	19	6,0	6,6
Cabecera Oued al-Bashir	V	87,2	91,3	4,1	80	98	18	5,7	6,4
Hanshir As-snab	V	125,4	125,6	0,2	108	142	34	5,9	5,9
Shabit al-Tlalma	V	50,4	55,2	4,8	31	73	42	4,9	5,6
Shabit Oued al-Battoum	V	43,2	48,4	5,2	26	68	42	6,0	6,6
As-sabbaghin-Norte	Vc	39,8	47,3	7,5	24	65	41	7,3	6,4
Cabecera Oued Bou Tram	Vc	80,9	88,1	7,2	65	98	33	8,2	6,3
Hanshir As-snab/Oued al-Ghars	Vc	72,9	76,9	4,0	63	99	36	6,4	6,0
An-nagr	G	45,4	49,1	3,6	37	58	21	4,5	5,1
Hanshir Bashir	G	94,5	97,1	2,6	78	101	23	6,4	5,6
Hanshir Ghánib	G	61,6	64,5	2,8	46	81	35	4,9	4,9
Sabbalet Dorgham	G	68,0	66,8	-1,2	54	82	28	5,7	6,4
Hanshir At-tawila-2	Gv	123,3	124,7	1,3	106	135	29	4,8	4,6
Hanshir Oued Laia	Gv	48,4	52,0	3,6	34	63	29	6,5	5,9
An-nawwalat	Mixto	74,6	81,9	7,3	60	104	44	5,1	5,5
Hanshir At-tawila-1	Mixto	131,4	135,6	4,2	115	147	32	4,7	5,5

Los tipos de sectores de *meskat* son: (V) vaguada, (Vc) vaguada con cauce, (G) glacis, (Gv) glacis con vaguada y Mixto.

Elaboración propia

Figura 14. Histogramas de frecuencia de las pendientes del cultivo y del erial en diferentes sectores estudiados con sistemas de *meskat* en la cuenca del Oued El Hammam



Elaboración propia

3.5. Transformaciones recientes

El principal problema que afronta el sistema *meskat* en la región del *Sahel* tunecino es la transformación (Tabla 6). Es un proceso que ocurre también en cuencas vecinas, como la del Wadi Hamdoun (Ben Salem et al., 2020). En las partes bajas de Oued el Hammam, dicha transformación está motivada por la saturación del área metropolitana y la disponibilidad de suelo urbanizable a un precio relativamente bajo. En el resto de la cuenca, las causas son diferentes: la baja atracción que supone la actividad agrícola entre los jóvenes y la posibilidad de conseguir un empleo menos sacrificado hace que la dedicación prestada a las tareas de campo sea a tiempo parcial. El mantenimiento de la parte del *mankaa* del sistema *meskat*, requiere tareas no mecanizadas y poco compatibles con esta modalidad de dedicación, lo cual lleva a los agricultores a transformar la parte de captación “erial” a través de implantar nuevos olivos en ella y allanar la parte baja, eliminando así los compartimentos que retenían el agua, ya que no les llegará lo que aportaba la zona de captación.

Tabla 6. Distribución porcentual de los diferentes tipos de Erial *meskat*

Tipo de uso	Asociaciones de usos	Puntos	Porcentaje
Erial <i>meskat</i> con acequias	EMA	66	67,3%
Erial <i>meskat</i> sin acequias	EMS	15	15,3%
Erial <i>meskat</i> transformado	EMT	17	17,3%
Conjunto de erial <i>meskat</i>	EMA+EMS+EMT	98	100%

Elaboración propia

Los datos que arroja la fotointerpretación de puntos aleatorios, reflejan de forma aproximada la transformación que sufre la parte de captación del sistema *meskat*. El 17,3% de los puntos han coincidido con Erial transformado. Ese porcentaje, atendiendo a la ratio de “zona de captación/cultivo” se traduce, más o menos, en el doble de superficie transformada, ya que modificar la zona de captación convierte inmediatamente, el olivo del *meskat* en un campo de olivo ordinario: cualquier modificación de la conectividad repercute en el funcionamiento del sistema.

Los resultados de la cartografía de los sectores de *meskat* dan cifras algo diferentes, ya que se llega a identificar algunos sectores sin transformación en su erial y otros con más del 60% transformado, es decir, apuntan a la gran variabilidad espacial de estas características. No obstante, los valores medios ponderados (en función de la superficie de erial de cada sector) dan un valor similar, en torno al 10,3%.

4. Discusión de resultados

En el *meskat* de Sousse se observan unos rasgos y procesos equivalentes a los genéricos de la **gestión de las aguas de arroyada en laderas**. Para conseguir el recurso hídrico, uno de los problemas existentes es controlar la erosión y la pérdida de suelo, que depende de factores ambientales, como las pendientes, el tipo de litologías o la torrencialidad de la lluvia. Pero también está el problema de la concentración de la escorrentía, que exigen técnicas para romper la conectividad hídrica.

Los factores ambientales son determinantes: delimitan la relación recurso/riesgo y condicionan el tipo de soluciones técnicas a adoptar. Una de las principales claves de los diseños de soluciones concretas es

la de gestionar la conectividad de los flujos de agua cuando se pasa de la zona recolectora (las laderas) a las zonas de distribución inferiores, con menores pendientes de cultivo (pedemontes y glacis, base de las laderas, vaguadas...). En tales casos, el agua concentrada en las laderas puede ser considerada como un recurso. Interpretar las laderas como generadoras naturales de escorrentía y disponer técnicas para aprovechar esta agua es la base del sistema *meskat*.

Hay un “umbral” pluviométrico en el que se pasa de considerar las laderas como ámbitos apropiados para utilizar el agua *in situ*, a un ámbito poco apropiado que es mejor utilizar como *áreas de captación*. El *meskat* de Sousse, con una pluviometría sobre 350 mm anuales es paradigmático. Por debajo de esas cantidades, las laderas ya no pueden “servir” más que para generar escorrentías aprovechables, las laderas e interfluvios ya no se cultivan y las acequias solo tienen la función de recolectar la escorrentía.

En las técnicas de cosecha de agua, el **clima** actúa como factor condicionante, limitante o incluso como factor clave. Actúa desde múltiples procesos y morfologías (temperaturas, evapotranspiración, aridez, pluviometría media anual, valores y frecuencias de la precipitación intensa, torrencialidad extrema, etc.). En el *meskat* sus elementos más importantes son la precipitación media y la intensidad de la precipitación. La primera actúa como factor limitante, tanto en máximos como en mínimos, y la segunda como factor condicionante. La base de la estrategia de los sistemas de *meskat* es la intensidad de la precipitación, necesaria para generar arroyada superficial: se intenta aprovechar al máximo, a la vez que se esquivan los problemas que la torrencialidad de la lluvia genera.

En general la **litología** es un factor condicionante, pero pocas veces determinante. La mayor parte de las veces es un factor que modula otros factores ambientales. El carácter arcilloso de las laderas de las zonas de captación del *meskat* en Sousse, por ejemplo, es un factor que ayuda a su presencia y funcionalidad.

La **gestión del agua como riesgo o recurso (R/R)** de los sistemas de cosecha de agua es básicamente “pasiva”. En ellos, las claves de la gestión R/R del agua están en el propio diseño del sistema (estrategia ambiental, elección de emplazamientos, dimensiones, tipos de elementos utilizados, utilización de refuerzos contra la erosión, hasta la misma decisión de utilizar o no un sistema y cuál de ellos). En el *meskat* de Sousse el diseño del sistema tiene que cumplir un doble objetivo: generar escorrentía al máximo en las zonas de captación e intentar que no llegue nada de ella a los barrancos colectores o a las partes bajas de los cultivos. Se trata de estrategias contradictorias, que sólo pueden complementarse con una proporción perfecta y experimentada entre captación de agua y área cultivada (aparte de otros elementos “menores”, como el tamaño de las cajas, la altura de los rebordes, la nivelación del suelo, el correcto diseño de los aliviaderos, etc.). Si no se consigue esto, o si se produce algún cambio ambiental o antrópico, la consecuencia es el grave aumento del riesgo de erosión (incisión, acarreamiento y erosión remontante de la red fluvial colectora). El *meskat* de la cuenca estudiada, por ejemplo, se ve afectado por la expansión urbana y por fenómenos crecientes de erosión remontante. Esto último denota una mayor producción de escorrentía no controlada, que está estrechamente relacionada con la desintensificación del uso agrícola del suelo.

5. Conclusiones

- Los sistemas de cosecha de agua se definen como conjunto de estrategias, medidas, técnicas, usos del suelo, etc., que buscan aumentar el *input* hídrico para cualquier tipo de aprovechamientos (agrícolas, ganaderos, aprovisionamiento de agua potable...). Ese es su objetivo y, por tanto, consideran el agua como un recurso. Sin embargo, la gestión tradicional del agua en medios semiáridos va más allá. No solo considera el agua como recurso; sabe que también puede ser un riesgo. Y gestionar una escorrentía que tenga la doble componente es algo mucho más complejo y difícil.

- Un 40% de la extensión de la cuenca del Oued El Hammam está dedicada al cultivo de olivos con el sistema *meskat*. Este sistema se fundamenta en los principios básicos de la gestión de la arroyada generada por las laderas: captación en la parte superior inculca y aprovechamiento en la inferior. También se enfrenta a los mismos problemas de erosión, por reconectividad hídrica en casos de precipitaciones intensas. Y también ofrece soluciones equivalentes: rotura de la conectividad mediante cajas que acumulan el agua y refuerzos en los puntos de conexión entre caja y caja.

- La ausencia de litologías duras en todo el valle (salvo las costras calcáreas) no facilita que se articulen otros sistemas de defensa (como, por ejemplo, paredes de piedra). La eficiencia de la gestión del agua, por tanto, no se basa en disponer de sistemas de defensa “duros” contra la erosión, sino en sistemas equilibrados entre la producción de agua y su uso, que son necesariamente soluciones frágiles y *ad hoc*, muy sensibles a cambios ambientales y de usos del suelo.

- En la cuenca del *oued* El Hammam, se distinguen claramente dos tipologías de soluciones: a) las que se articulan en torno a vaguadas bien delimitadas, con *impluvium* en los interfluvios y partes altas de las laderas, y olivar en las partes bajas y en el fondo de la vaguada (si no existe un colector fluvial); b) las que se sitúan en glacis, dispuestas en mosaico, sin una estructura de la distribución espacial de partes altas y bajas tan definida como en el caso anterior, en las que la zona de captación de un sistema puede empezar aguas abajo de la zona de distribución de otro.

- Con la metodología empleada, el grado de presencia del *meskat* en la cuenca del *oued* El Hammam se cifra en torno al 40%, similar a la ofrecida por la bibliografía más reciente. El sistema se concentra en las partes media y alta de la cuenca, y ha disminuido en la baja debido principalmente a la gran expansión urbanística de ciudades cercanas a Sousse.

- La ratio erial/cultivo está muy cercana a la unidad, es decir, las dos partes básicas del sistema ocupan la misma extensión. Esta ratio varía ampliamente en función del sector cartografiado (entre 0,35:1 hasta 2,22:1). Estos datos, resultado de la aplicación de dos metodologías cartográficas diferentes, también son similares a los ofrecidos por la bibliografía reciente.

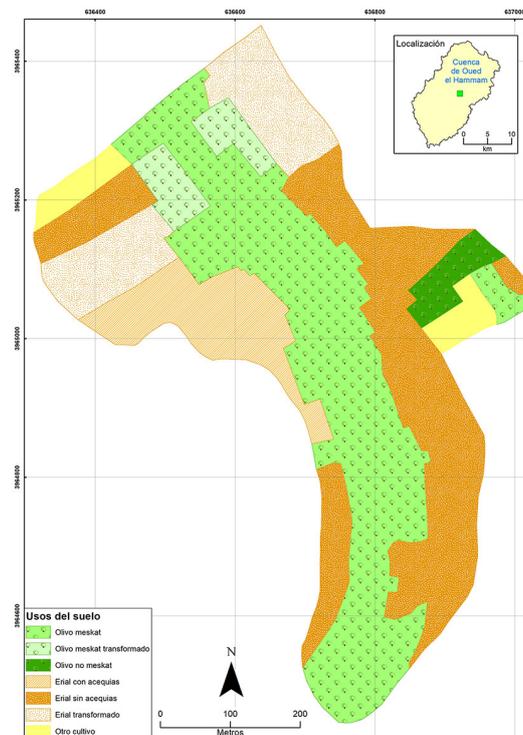
- Las características topográficas del *meskat* analizado están acordes con la hipótesis previa de gestión R/R equilibrada. Se necesitan unos desniveles y pendientes mínimos entre la zona productora de escorrentía y la zona de cultivo, pero sus valores no pueden ser demasiado elevados, so pena de incrementar el riesgo. Los desniveles entre las zonas de erial y de cultivo suelen ser inferiores a 10 m, y las pendientes están entre el 4% y el 8%

- La transformación reciente del *meskat* ha sido bastante elevada. El 17,3% de los puntos han coincidido con erial transformado, lo que se traduce en el doble de superficie alterada, dado que cualquier modificación de la conectividad repercute en el funcionamiento conjunto del sistema. La cartografía de sectores de *meskat* da resultados muy variables, con sectores sin cambio del erial y otros con más del 60% transformado.

En definitiva, la interpretación del sistema *meskat* debe hacerse en clave de adaptación eficiente al medio natural, con el doble objetivo de aprovechar al máximo las escorrentías generadas por las lluvias torrenciales y de minimizar el riesgo de erosión.

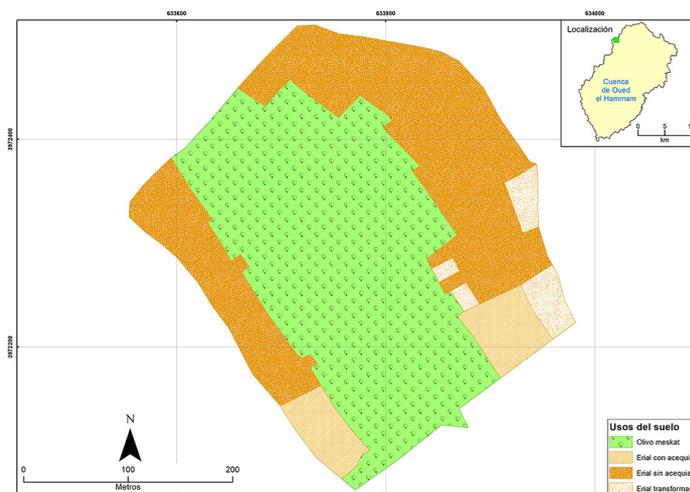
Anexos

Anexo I. Sistema de *meskat* en sector de vaguada “As-sabbaghin-Sur”



Elaboración propia

Anexo 2. Sistema de meskat en sector de vaguada “Cabecera Oued al-Bashir”



Elaboración propia

Anexo 3. Sistema de meskat en sector de vaguada “Hanshir As-snab”



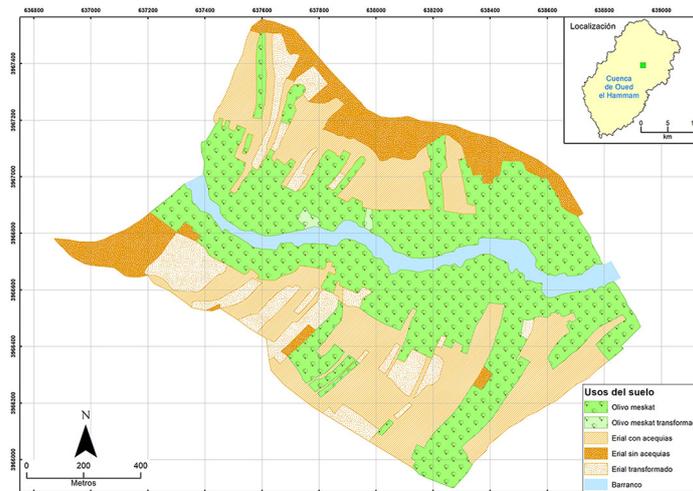
Elaboración propia

Anexo 4. Sistema de meskat en sector de vaguada “Shabit Oued al-Battoum”



Elaboración propia

Anexo 5. Sistema de *meskat* en sector de vaguada con cauce “As-sabbaghin-Norte”



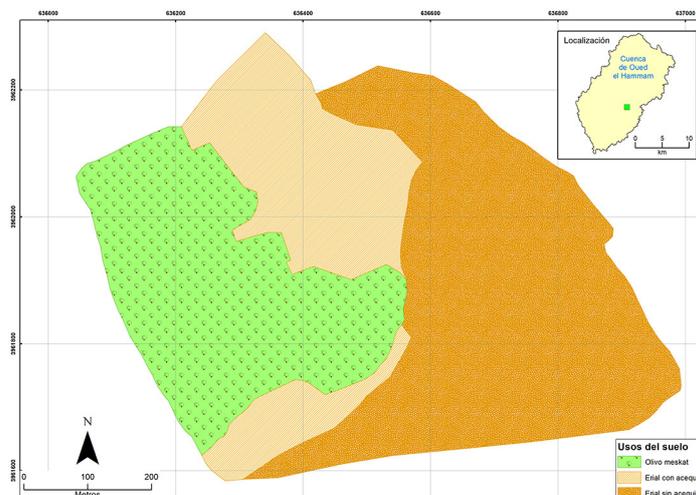
Elaboración propia

Anexo 6. Sistema de *meskat* en sector de vaguada con cauce “Hanshir As-snab/Oued al-Ghars”



Elaboración propia

Anexo 7. Sistema de *meskat* en sector de glaciés “An-nagr”



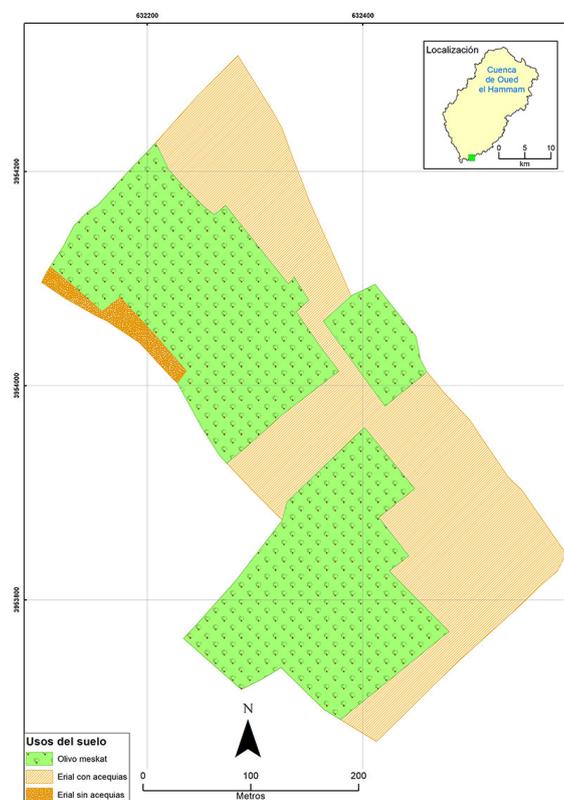
Elaboración propia

Anexo 8. Sistema de meskat en sector de vaguada con cauce “Cabecera Oued Bou Tram”



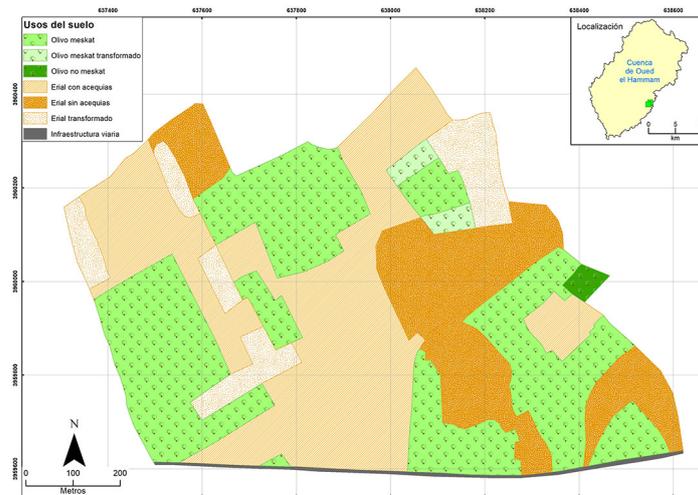
Elaboración propia

Anexo 9. Sistema de meskat en sector de glaciés “Hanshir Bashir”



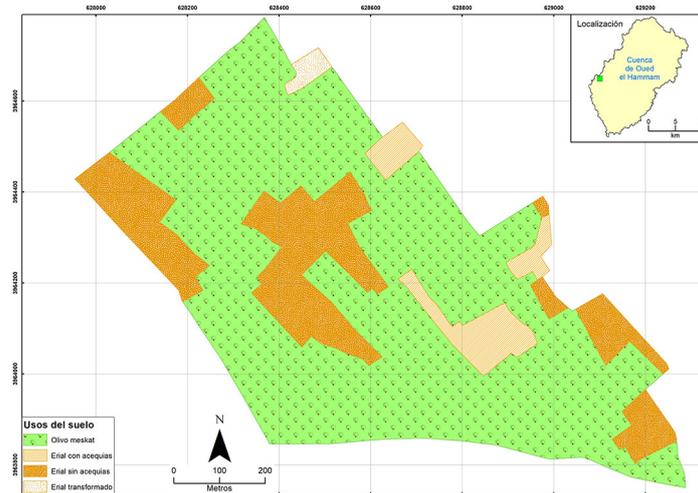
Elaboración propia

Anexo 10. Sistema de *meskat* en sector de glacis “Sabbalel Dorgham”



Elaboración propia

Anexo 11. Sistema de *meskat* en sector de glacis con vaguada “Hanshir At-tawila-2”



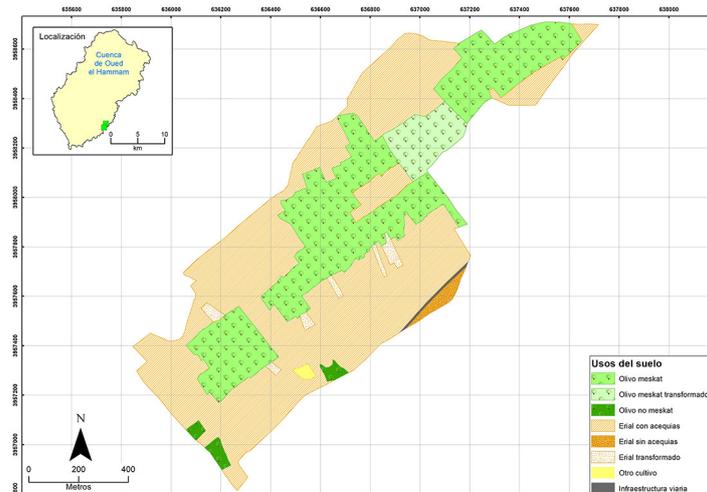
Elaboración propia

Anexo 12. Sistema de *meskat* en sector de glacis con vaguada “Hanshir Oued Laia”



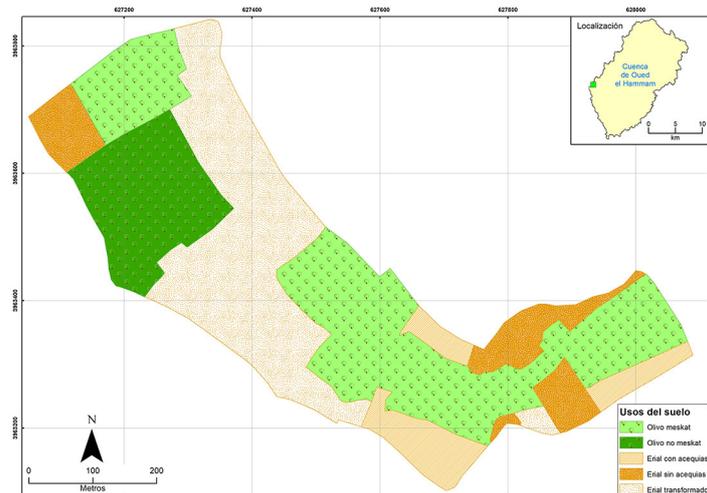
Elaboración propia

Anexo 13. Sistema de meskat mixto "An-nawwalat"



Elaboración propia

Anexo 14. Sistema de meskat mixto "Hanshir At-tawila-1"



Elaboración propia

Referencias

- Abdo, G.M., & Eldaw, A.K. (2004). Water Harvesting Experience in the Arab world, Regional Workshop on Management of Aquifer Recharge and Water Harvesting in Arid and Semi-Arid Regions of Asia. In *Proceedings of Regional Workshop on Management of Aquifer Recharge and Water Harvesting in Arid and Semi-Arid Regions of Asia* (pp. 79-99).
- 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. In L. Henia (Dir.), *Atlas de l'eau en Tunisie* (pp. 22-23). Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche GREVACHOT.
- Ben Salem, A., Majdoub, R., M'Sadak, Y., & Khelifi, S. (2013). Importance of the Meskat System and its Landscape Insertion through the Olive Groves of Sousse Region (Tunisian Sahel). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 4(2), 396-400.
- Ben Salem, A., M'Nassri, S., Asma, E. A., Bouaziz, R., & Majdoub, R. (2020). Evaluation of Meskat System Functionality as Water Harvesting at Wadi Hamdoun Watershed (Sousse, Tunisia) Using the Geographic Information System. *Applied Environmental Research*, 42(1), 58-70. <https://doi.org/10.35762/AER.2020.42.1.5>
- Berndtsson, R. (Ed.). (1999). *Proceedings of the international seminar rain water harvesting and management of small reservoirs in arid and semiarid areas*. Department of Water Resources Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University Sweden.
- Berndtsson, R., Jebari, S., Hashemi, H., & Wessels, J. (2016). Traditional irrigation techniques in MENA with a focus on Tunisia. *Hydrological Sciences Journal*, 61(7), 1346-1357. <https://doi.org/10.1080/02626667.2016.1165349>
- Centre National des Etudes Agricoles. (2008). Etude d'impact des travaux de conservation des eaux et du sol dans le gouvernorat de Sousse. *Rapport de la première phase* (pp. 51-52). CRDA Sousse Tunisie.
- Chouari, W. (2020). Pluviométries exceptionnelles et occupation des sols mal maîtrisée: l'exemple d'inondations des 23 et 29 septembre 2016 dans le Sahel de Sousse (Tunisie centre-orientale). *La Houille Blanche*, 1, 50-59. <https://doi.org/10.1051/lhb/2019062>
- Despois, J. (1955). *La Tunisie Orientale. Sahel et Basse Steppe*. Publications de l'Institut des Hautes Études de Tunis. Presses Universitaires de France.
- El Amami, S. (1977). *The use of runoff waters for agriculture in Tunisian arid Zones. Study case of water management of meskats in the Sahel of Sousse [Tunisia]*. Cahiers du CRGR, Tunisia, 7.
- El Amami, S. (1983). Changing concepts of water managements in Tunisia. *Impact of Science on Society*, 1, 57-64.
- El Amami, S., & Chaabouni, Z. (1981). *Traditional hydraulic reshaping, a means of controlling water erosion*. Research Center of Rural Engineering.
- El Amri, A., Anane, M., Srasra, M., & Dridi, L. (2016). Mapping of vulnerability to pollution of Oued Laya phreatic aquifer. 2° *International Conference on Integrated Environmental Management for Sustainable Development (ICIEM)*.
- El Melki, T. (2008). Pluie annuelle et apports des flux atmosphériques. In L. Henia (Dir.), *Atlas de l'eau en Tunisie* (pp 16-17). Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT".
- El Melki, T., & Charabi, Y. (2008). Température annuelle moyenne (Normale 1961-1990). In L. Henia (Dir.), *Atlas de l'eau en Tunisie* (pp. 32-33). Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT".
- Ennabli, N. (1993). *Les aménagements hydrauliques et hydro-agricoles en Tunisie*. Institut National Agronomique de Tunisie.
- Fleskens, L., Stroosnijder, L., Ouessar, M., & De Graaff, J. (2005). Evaluation of the on-site impact of water harvesting in southern Tunisia. *Journal of Arid Environments*, 62(4), 613-630. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.01.013>

- Fourati, M., Majdoub, R., Khelifi, S., & Boujnah, D. (2016a). Inventory and characterization of the Meskat system as runoff harvesting practice in Tunisian Sahel. In *Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)* (pp. 616-621). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ATSIP.2016.7523155>
- Fourati, M., Lahmar R., Khelifi, S., & Majdoub, R. (2016b). Inventaire et diagnostic des aménagements antiérosifs dans le bassin versant d'Oued laya el hammam. In *Journées scientifiques de la Medjerda*.
- Henia, L., & Omrane, M. (2008). Relief. In L. Henia (Dir.), *Atlas de l'eau en Tunisie* (pp. 14-15). Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales, Unité de Recherche "GREVACHOT".
- Hezzi, I. (2014). *Caractérisation géophysique de la plateforme de Sahel, Tunisie nord-orientale et ses conséquences géodynamiques* [Doctoral thesis]. Université Renne.
- Hlaoui, Z. (2008). Pluies journaliers maximales selon différentes périodes de retour. In L. Henia (Dir.), *Atlas de l'eau en Tunisie* (pp. 24-25). Université de Tunis, Fac. des Sciences Humaines et Sociales.
- Houimli, E. (2008). *Les facteurs de résistance et de fragilité de l'agriculture littorale face à l'urbanisation: Le cas de la région de Sousse Nord en Tunisie* [Thèse de Doctorat]. Ecole Nationale Supérieure du Paysage de Versailles, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (AgroParisTech).
- Jebari, S., Berndtsson, R., & Bahri, A. (2015). Challenges of traditional rainwater harvesting systems in Tunisia. *Middle East Critique*, 24(3), 289-306. <https://doi.org/10.1080/19436149.2015.1046707>
- Majdoub, R., Bouaziz, R., M'Sadak, Y., Fourati, M., & Lahmar, T. (2015). Contribution à la cartographie du milieu et des risques liés aux crues d'Oued El Maleh (Tunisie Orientale). *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 12(1), 218-227.
- Mehdouani, M. (2003). Note sur l'importance de l'érosion hydrique dans les collines des environs de Sousse. *Revue tunisienne de géographie*, 36, 89-99.
- Omrani, N., & Ouessar, M. (2008). Historical and contemporary perspectives of water culture in Tunisia. In M. El Moujabber, M., Shatanawi, G., Trisorio Liuzzi, M., Ouessar, P., Laureano, & R. Rodriguez (Eds.), *Water Culture and Water Conflict in the Mediterranean Area* (pp. 75-84). Options Méditerranéennes, Séminaires Méditerranéens, CIHEAM-IAMB.
- 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, n°5.
- Oweis, T.Y., Hachum, A., & Bruggeman, A. (2004). The role of indigenous knowledge in improving present water-harvesting practices. In T.Y. Oweis, A., Hachum, & A. Bruggeman (Eds.), *Indigenous Water-Harvesting Systems in West Asia and North Africa* (pp. 1-20). ICARDA.
- Oweis, T.Y., Prinz, D., & Hachum, A. (2001). *Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA).
- Oweis, T.Y., & Hachum, A.Y. (2003). Improving Water Productivity in the Dry Areas of West Asia and North Africa., In J.W. Kijne, R., Barker, & D. Molden (Eds.), *Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement*. In Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series n°1. International Water Management Institute. <https://doi.org/10.1079/9780851996691.0179>
- Oweis, T.Y., & Hachum, A. (2009). Water harvesting for improved rainfed agriculture in the dry environments. In S.P. Wani, J., Rockström, & T. Oweis, T. (Eds.), *Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential* (pp. 164-181). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781845933890.0164>
- Prinz, D. (1999). Water harvesting techniques in the Mediterranean region. In R. Berndtsson (Ed.), *Proceedings of the International Seminar Rainwater Harvesting and Management in Arid and Semiarid Areas* (pp. 151-163). Lund University Press.
- Prinz, D., & Malik, A.H. (2002). *Runoff farming*. Institute of Water Resources Management, Hydraulic and Rural Engineering, Department of Rural Engineering, University of Karlsruhe.
- Reij, C. (1991). *Indigenous soil and water conservation in africa*. Sustainable Agriculture Programme of the International Institute for Environment and Development.
- Reij, C., Mulder, P., & Begeman, L. (1988). *Water harvesting for plant production*. World Bank Technical paper, 91.
- Rutherford, R. (2000). *Water Harvesting: An Overview*.

- Sahtout, N., El Amri, A., Fourati, M., & Majdoub, R. (2015). Les facteurs de la pauvreté hydrique du grand sousse: Un déséquilibre en eau agricole en perspective? *European Journal of Scientific Research*, 136(3), 320-335.
- Tobbi, B. (1994). Water Harvesting: Historic, Existing and Potentials in Tunisia. In *Water Harvesting For Improved Agricultural Production* (pp. 189-201). FAO, Expert Consultation.
- Yazar, A., & Ali, A. (2016). Water harvesting in dry environments. In M. Farooq, & K. Siddique (Eds.), *Innovations in Dryland Agriculture* (pp. 49-98). Springer International Publishing. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-47928-6_3